UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley Nro. 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

TESIS

Electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos a nivel del laboratorio para la remoción de contaminantes del efluente del Camal Municipal de Huancavelica

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

TECNOLOGÍA AMBIENTAL Y/O SANITARIA

PRESENTADO POR:

Lourdes Tania, Inga Rojas

Alizan Milagros, Trujillo Flores

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

HUANCAVELICA, PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el Auditórium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 16 días del mes de diciembre del año 2022, a horas 11:00 a.m., se reunieron los miembros del jurado calificador conformado de la siguiente manera:

PRESIDENTE : **Ing. Jerson CASTRO OLARTE**
https://orcid.org/0000-0002-3288-3819
DNI N° 73499160

SECRETARIO : **Dr. Pedro Antonio PALOMINO PASTRANA**
https://orcid.org/0000-0001-7833-6805
DNI N° 23275655

ASESOR : **Dr. Víctor Guillermo SÁNCHEZ ARAUJO**
https://orcid.org/0000-0002-7702-0881
DNI N° 40446828

Reestructurados con la Resolución de Decano Nº 286-2022-FCI-UNH, de fecha 27 de octubre del 2022, a fin de proceder el acto académico de evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "ELECTROCOAGULACIÓN MEDIANTE PANELES FOTOVOLTAICOS A NIVEL DEL LABORATORIO PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL EFLUENTE DEL CAMAL MUNICIPAL DE HUANCAVELICA", presentada por las Bachilleres **Lourdes Tania INGA ROJAS con DNI N° 71202617 y Alizan Milagros TRUJILLO FLORES con DNI N° 75440267,** a fin de optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitario**; Finalizado la evaluación a horas 12:30 pm.; se invitó al público presente y a las sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los jurados, se llegó al siguiente resultado:

Bach. Lourdes Tania INGA ROJAS

APROBADO [X] POR... UNANIMIDAD

DESAPROBADO [ ] POR.....

Bach. Alizan Milagros TRUJILLO FLORES

APROBADO [X] POR... UNANIMIDAD

DESAPROBADO [ ] POR.....

En señal de conformidad, firmamos a continuación:

Presidente

Secretario

Asesor

V° B° Decano

Título

Electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos a nivel del laboratorio para la remoción de contaminantes del efluente del Camal Municipal de Huancavelica

Autores

Lourdes Tania, Inga Rojas

Alizan Milagros, Trujillo Flores

Asesor

Víctor Guillermo, Sánchez Araujo
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7702-0881
DNI Nº: 40446828

Dedicatoria

A Dios por guiarme en cada paso que doy y por fortalecer mi corazón.
A mis padres Fidencio y Juana, por su amor y apoyo incondicional que me ha permitido lograr este paso importante en mi vida.
A mis hermanos, por compartir momentos significativos conmigo y por ser mis ejemplos de superación.

Lourdes

A Dios por guiar y encaminar mi camino día a día.
A mis padres por darme la vida.
A mi tío Rubén, tío José, a mi tía Susana, a mi hermano José, por el apoyo incondicional, moral y económico.
Al ing. César Augusto Roca Vílchez, uno de los apoyos que me forjo como la persona que soy en la actualidad.
Muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas, normas, y algunas libertades, pero al final de cuentas me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.
Gracias.

Alizan

Agradecimiento

En Primer lugar, A Dios, por la salud, fortaleza y perseverancia que impartió en nosotras para poder culminar con nuestro proyecto de investigación y seguir siempre adelante.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria y a los docentes que gracias a los conocimientos impartidos nos ayudó con el planteamiento del trabajo de investigación.

A nuestro asesor de tesis, el Dr. Víctor Guillermo Sánchez Araujo, que nos acogió, motivó y absolvió las dudas en el desarrollo de nuestro trabajo investigación, brindándonos las facilidades para desenvolvernos. Le agradecemos su confianza y tiempo, ya que sin su orientación y apoyo esta tesis no hubiera sido posible.

Al ing. Daniel por habernos brindado el apoyo constante en las instalaciones del laboratorio Central – en el área de Microbiología y Parasitología para poder desarrollar la parte experimental de nuestro trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional de Huancavelica cursado por el Vicerrector de Investigación que aprobó nuestro proyecto de tesis como ganadoras para el Financiamiento de Tesis de Pregrado 2020 del programa 0066.

Son muchas las personas que han formado parte de nuestra vida profesional y sobre todo han aportado su apoyo para este logro, gracias por su amistad, apoyo, ánimo y compañía en cada momento.

Tabla de contenido

Portada……...i

Acta de sustentaciòn ii

Título.....iii

Autores.....iv

Asesor v

Dedicatoria.....vi

Agradecimiento.....vii

Tabla de contenido.....viii

Tabla de contenido de figuras.....xiii

Tabla de contenido de tablas.....xviii

Resumen..... xx

Abstract.....xxi

Introducción xxii

CAPÍTULO I 24

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 24

1.1. Descripción del problema..... 24

1.2. Formulación del problema..... 26

1.2.1. Problema general..... 26

1.2.2. Problemas específicos 26

1.3. Objetivo: General y Específicos. 27
1.3.1. Objetivo general 27
1.3.2. Objetivos específicos 27
1.4. Justificación. 28
1.5. Limitaciones 30
CAPÍTULO II 31
MARCO TEÓRICO 31
2.1. Antecedentes. 31
2.1.1. Antecedentes internacionales 31
2.1.2. Antecedentes nacionales 33
2.1.3. Antecedentes locales 39
2.2. Bases Teóricas. 40
2.2.1. El agua 40
2.2.2. Calidad de agua 41
2.2.3. Parámetros de calidad del agua 41
2.2.4. Contaminación del agua 47
2.2.5. Aguas residuales 48
2.2.6. Contaminantes de las aguas residuales 49
2.2.7. Establecimientos de matanza 49
2.2.8. Contaminación generada por el establecimiento de matadero. 52
2.2.9. Tratamiento de aguas residuales de matadero 53

2.2.10. Sistemas de tratamiento del agua residual en mataderos 53
2.2.11. Electrocoagulación 54
2.2.12. Factores que afectan la electrocoagulación 56
2.2.13. Ventajas y desventajas del método de electrocoagulación 57
2.2.14. Energía y desarrollo sostenible 59
2.3. Definición de términos. 61
2.4. Hipótesis 62
2.5. Variables. 63
2.6. Operacionalización de variables. 63
CAPÍTULO III 65
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 65
3.1. Ámbito temporal y espacial 65
3.1.1. Ámbito temporal 65
3.1.2. Ámbito espacial 65
3.2. Tipo de investigación 66
3.3. Nivel de investigación 66
3.4. Métodos de investigación 67
3.5. Diseño de investigación 67
3.6. Población, muestra y muestreo 69
3.6.1. Población 69
3.6.2. Muestra 69

3.6.3. Muestreo 69

3.7. Técnicas e Instrumentos para recolección de datos 70

3.7.1. Técnicas 70

3.7.2. Instrumentos 70

3.7.3. Técnicas para las pruebas experimentales 70

3.7.4. Materiales y metodología experimental 71

3.7.4.1. Diagnóstico del Camal Municipal de Huancavelica 71

3.7.4.2. Equipos y materiales para el Sistema de Electrocoagulación a Nivel de Laboratorio 72

3.7.4.3. Dimensionamiento, Cantidad y Adquisición de los Placas de Aluminio y Hierro 75

3.7.4.4. Dimensionamiento y Construcción de Soportes de las Placas de Aluminio y Hierro. 77

3.7.4.5. Dimensionamiento y Construcción de los Soportes para los Paneles Fotovoltaicos. 78

3.7.4.6. Diseño y construcción de la celda de electrocoagulación. 80

3.7.4.7. Procedimiento del montaje de la celda para el proceso de electrocoagulación. 82

3.7.4.8. Procedimiento de instalación de equipos para el proceso de electrocoagulación 85

3.7.4.9. Ensayos pre experimentales 92

3.7.4.10. Toma de Muestra 96

3.7.4.11. Procedimiento experimental para el proceso de electrocoagulación 100

3.7.4.12. Análisis microbiológico de las muestras (Coliformes Fecales) 107

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos 109

CAPITULO IV 110

DISCUSIÒN DE RESULTADOS 110

4.1. Análisis de información 110

4.1.1. Caracterización fisicoquímico y microbiológico de la muestra del efluente del Camal Municipal de Huancavelica. 111

4.1.2. Resultados obtenidos por parámetro de cada tratamiento realizado. 112

4.1.3. Porcentaje de remoción de las muestras del agua residual industrial del efluente del camal municipal de Huancavelica obtenidos por cada tratamiento realizado 128

4.2. Prueba de hipótesis 129

4.2.1. Principios de la investigación 130

4.2.2. Pasos de la prueba de hipótesis 131

4.3. Discusión de los resultados 143

Conclusiones 145

Recomendaciones 147

Referencias bibliográficas 148

Anexos 153

Tabla de contenido de figuras

Figura 1. Escala de pH 45

Figura 2. Sistema de electrocoagulación con ánodo de aluminio y cátodo de hierro. 55

Figura 3 Vista satelital de la ubicación del Camal Municipal de Huancavelica 66

Figura 4 Esquema de diseño de investigación. 68

Figura 5. Inspección de campo para la evaluación del problema. 71

Figura 6. Paneles solares mono cristalinos 12 V – 50W. 72

Figura 7. Controlador de carga de 10 A – 25V. 73

Figura 8. Baterías de 12V – 18 A. 73

Figura 9. Fuente reguladora de corriente de 10 A – 26V. 74

Figura 10. Cables con pinzas cocodrilo color rojo y negro 75

Figura 11. Placas de aluminio y hierro de forma rectangular. 76

Figura 12. Dimensión de las placas de aluminio y hierro. 77

Figura 13. Construcción de soportes de madera para las placas (Al y Fe) 78

Figura 14. Soportes de madera para las placas de aluminio y hierro. 78

Figura 15. Dimensionamiento de los paneles solares fotovoltaicos. 79

Figura 16. Soportes de madera para los paneles solares fotovoltaicos. 79

Figura 17. Dimensiones de la celda para el proceso de electrocoagulación. 80

Figura 18. Celda de electrocoagulación. 82

Figura 19. Acomodamiento del soporte de madera dentada para los electrodos de aluminio y hierro. 83

Figura 20. Acomodamiento de los electrodos de hierro y aluminio intercaladamente y en paralelo. 84

Figura 21. Conexión de las pinzas cocodrilo a los electrodos de aluminio y hierro. . 84

Figura 22. Conexión en paralelo de los paneles solares mono cristalino. 86
Figura 23. Conexión del controlador de carga a las baterías 86
Figura 24. Instalación de los equipos para el proceso de electrocoagulación. 87
Figura 25. Conexión de la fuente reguladora de corriente hacia las baterías 87
Figura 26. Ubicación de los soportes para los paneles solares mono cristalino. 88
Figura 27. Ubicación de los paneles solares mono cristalino en soportes. 89
Figura 28. Los paneles solares mono cristalinos ubicados en paralelo. 89
Figura 29. Instalación de sistema de electrocoagulación a escala laboratorio. 90
Figura 30. Vista del sistema del proceso de electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos. 91
Figura 31. Ensayo con agua de caño 92
Figura 32. Ensayo de transferencia de corriente 93
Figura 33. Burbujas de hidrogeno (H2) 93
Figura 34. Tratamiento a (I=1.5 Amperios y t= 25 minutos). 94
Figura 35. Generación de espuma. 95
Figura 36. Resultados de las pruebas preliminares. 95
Figura 37. Resultados de tratamientos de 3A, 4A y 5A, en tiempo de 30 y 50min cada amperaje. 96
Figura 38. Recolección de muestra de caja de paso del Camal Municipal de Huancavelica. 98
Figura 39. Recolección de 30l de muestra del efluente del Camal Municipal De Huancavelica. 99
Figura 40. Análisis del pH, temperatura y conductividad eléctrica. 99
Figura 41. Incorporación de 4.5L de muestra de agua a la celda de vidrio. 100
Figura 42. Tratamiento con intensidad y corriente de I=3 Amperios y t= 30 minutos. 101

Figura 43. Tratamiento con intensidad y corriente de I=3 Amperios y t= 50 minutos. 102

Figura 44. Tratamiento con intensidad y corriente de I=4 Amperios y t= 30 minutos. 102

Figura 45. Tratamiento con intensidad y corriente de I=4 Amperios y t= 50 minutos. 103

Figura 46. Tratamiento con intensidad y corriente de I=5 Amperios y t= 30 minuto). 103

Figura 47. Tratamiento con intensidad y corriente de I=5 Amperios y t= 50 minutos. 104

Figura 48. Análisis del pH, temperatura (Cº) y conductividad eléctrica (C.E.) con el multiparàmetro. 105

Figura 49. Muestras preservadas, envasados, etiquetados y rotulados para su envió. 105

Figura 50. Llenado de la cadena de custodia para él envió al laboratorio CERTIMIN. 106

Figura 51. Empaquetado y envió de los Cooler al laboratorio CERTIMIN 106

Figura 52. Tubos con diluciones incubados por 24 horas a 37 °C. 109

Figura 53. Resultado del parámetro pH indicando el ingreso (caracterización) y salida (tratamientos). 113

Figura 54. Resultado de la Temperatura (C°) indicando el ingreso (caracterización) y salida (tratamientos). 115

Figura 55. Resultado de la conductividad eléctrica (uS/cm) indicando el ingreso (caracterización) y salida (tratamientos). 117

Figura 56. Concentración de los sólidos totales (mg/L) indicando el ingreso (caracterización) y salida (tratamientos). 119

Figura 57. Resultado de aceites y grasas (mg/L) indicando el ingreso (caracterización) y salida (tratamientos). 121

Figura 58. Resultado de la Demanda Bioquímica de Oxigeno – DBO5 (mg/L) indicando el ingreso (caracterización) y salida (tratamientos). 123

Figura 59. Resultado de la Demanda Química de Oxigeno – DQO (mg/L) indicando el ingreso (caracterización) y salida (tratamientos). 125

Figura 60. Resultado de Coliformes fecales (NMP/ml*100) indicando el ingreso (caracterización) y salida (tratamientos). 127

Figura 61. Grafica del valor crítico y el valor de fisher 135

Figura 62. Grafica del valor crítico y el valor de fisher 136

Figura 63. Grafica del valor crítico y el valor de fisher. 137

Figura 64. Grafica del valor crítico y el valor de fisher. 138

Figura 65. Grafica del valor crítico y el valor de fisher. 139

Figura 66. Construcción de los soportes para las placas de aluminio y hierro. 163

Figura 67. Instalación de los paneles fotovoltaicos mono cristalinos. 163

Figura 68. Instalación de los equipos para el sistema de electrocoagulación. 164

Figura 69. Punto de toma de muestra coordenadas UTM: 495934.78 m E y 8586037.05 m S. 164

Figura 70. Toma de muestra para la caracterización del efluente del Camal Municipal de Huancavelica. 165

Figura 71. Recolección de muestras de agua residual del Camal Municipal de Huancavelica. 165

Figura 72. Medición de los parámetros de conductividad eléctrica, pH y temperatura 166

Figura 73. Instalación de soportes de las placas de aluminio y hierro. 166

Figura 74. Conexión de las pinzas cocodrilo hacia las placas de aluminio e hierro. 167

Figura 75. Instalación de los paneles con grado de inclinación para la captación de los rayos solares. 167

Figura 76. Colocación de las placas de aluminio y hierro dentro de la celda. 168

Figura 77 .Conexión de las pinzas cocodrilo hacia la fuente reguladora de corriente (26V – 10 A) 168

Figura 78.Sistema de electrocoagulación listo e instalado..... 168

Figura 79.Colocando la muestra de agua residual de camal 4.5 litros en la celda para el proceso de electrocoagulación. 168

Figura 80.Primera etapa de electrocoagulación. 168

Figura 81. Segunda etapa fase de sedimentación fase espumosa y fase de remoción 168

Figura 83. Final del proceso de electrocoagulación en el tratamiento 6 (I=5 Amperios Y T= 50 Minutos) 168

Figura 82. Vista Lateral de la Celda de Electrocoagulación..... 168

Figura 84. Proceso de colección de muestra tratada de agua ya tratada a través del proceso de electrocoagulación. 168

Figura 85. Recojo de muestra para análisis de grasa. 168

Figura 86. Recojo de muestra para análisis de DBO_5 y DQO 168

Figura 87. Control de temperatura en las muestras. 168

Figura 88. Comparando los distintos niveles de tratamiento en la muestra..... 168

Figura 89. Muestra por cada tratamiento con intensidades de 3A, 4A Y 5A en un Tiempo de 30 y 50 Minutos. 168

Figura 90. Traslado de las muestras de agua electrocoagulada en sus respectivos envases al Laboratorio CERTIMIN acreditado por INACAL para sus respectivos análisis de los parámetros de DBO_5,DQO,STS y Aceites y Grasas..... 168

Figura 91. Análisis microbiológico de Coliformes Fecales 168

Figura 92. Proceso de incubación de las muestras. 168

Figura 93.Sistema completa de la técnica de Electrocoagulación realizado en el Laboratorio Central – Laboratorio de Microbiología Y Parasitología. 168

Tabla de contenido de tablas

Tabla 1. Contaminantes en las aguas residuales 49

Tabla 2. Matriz de Operacionalización de variables 64

Tabla 3 Tabla de Numero Más Probable (NMP) tubos por dilución. 108

Tabla 4 Resultado de la caracterización fisicoquímica y microbiológico del agua residual industrial del efluente del Camal Municipal de Huancavelica. 111

Tabla 5. Resultados experimentales del pH de las muestras de agua residual industrial del efluente del Camal Municipal de Huancavelica por cada tratamiento aplicado. 112

Tabla 6. Resultados experimentales de Temperatura. 114

Tabla 7. Resultados experimentales de la conductividad eléctrica. 116

Tabla 8. Resultados experimentales de solidos totales suspendidos. 118

Tabla 9. Eficiencia de remoción de solidos totales suspendidos por cada tratamiento. 120

Tabla 10. Resultados experimentales de aceites y grasas 120

Tabla 11. Eficiencia de remoción de aceites y grasas por cada tratamiento. 122

Tabla 12. Resultados experimentales de demanda bioquímica de oxígeno. 122

Tabla 13. Eficiencia de remoción de demanda bioquímica de oxigeno por cada tratamiento 124

Tabla 14. Resultados de demanda química de oxígeno. 124

Tabla 15. Remoción del porcentaje de demanda química de oxigeno por cada tratamiento 126

Tabla 16. Resultados experimentales de coliformes fecales 126

Tabla 17. Eficiencia de remoción de coliformes fecales por cada tratamiento. 128

Tabla 18. Valores de porcentaje de remoción de los contaminantes del agua residual industrial del efluente del camal Tratadas en los 06 Tratamientos Aplicados. 128

Tabla 19. Test de Normalidad con Shapiro-Wilk 130
Tabla 20. Test de homogeneidad de varianzas con Levene. 131
Tabla 21 Análisis de varianza (ANOVA) para sólidos totales suspendidos 135
Tabla 22 Análisis de varianza (ANOVA) para aceites y grasas. 136
Tabla 23 Análisis de varianza (ANOVA) para Demanda Bioquímica de Oxigeno 137
Tabla 24 Análisis de varianza (ANOVA) para demanda química de oxigeno 138
Tabla 25 Análisis de varianza (ANOVA) para coliformes fecales 139
Tabla 26 Parámetros para el cálculo de energía consumida. 141

Resumen

La ciudad de Huancavelica cuenta con el Camal Municipal de Huancavelica, que se encuentra adyacente al rio de Huancavelica “rio Ichu”. La actividad de sacrificio de animales dentro del camal genera efluentes líquidos, resultado de la mezcla de agua de lavado, residuos de sangre, pelos, estiércol y vísceras, generando problemas ambientales en el ecosistema acuático, como la contaminación del rio y generación de malos olores, ya que son descargados al rio Ichu mediante la incorporación directa o indirecta (infiltraciones, escorrentía, etc.) siendo un foco de contaminación para el agua. Por lo argumentado se propuso como solución la presente tesis, con el objetivo de evaluar el efecto de la electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos como reductor de contaminantes del efluente del Camal Municipal de Huancavelica a nivel de Laboratorio. El sistema de electrocoagulación, conto con dos paneles fotovoltaicos para generar energía eléctrica a través del sol, esta alimenta a una fuente reguladora de corriente e induce a una celda de vidrio con electrodos de Aluminio(ánodo) y Hierro(cátodo) en donde se encuentra la muestra de agua residual (efluente de Camal) a tratar, en la cual se trabajó con variaciones de intensidades de: 3, 4, y 5 Amperios y cada intensidad en dos tiempos diferentes: 30 y 50 minutos, obteniéndose un total de seis tratamientos. Donde se logró una remoción de DBO_5 de un 95,46 %, DQO de un 94,38 %, STS de un 93,42 %, Coliformes fecales de un 99,64 % y aceites y grasas de un 92,31 %; con la mayor intensidad de corriente de 5 Amperios en un tiempo de 50 minutos de operación. Lográndose una remoción mayor al 70% de contaminantes como mínimo en comparación con la muestra inicial, pudiéndose ver que la técnica de electrocoagulación es una opción más de tratamiento de este efluente.

Palabras clave: Amperios, Camal, efluente, electrocoagulación, panel fotovoltaico, remoción.

Abstract

The city of Huancavelica has the Huancavelica Municipal Farm, which is located adjacent to the Huancavelica river "Ichu River". The animal slaughter activity inside the slaughterhouse generates liquid effluents, resulting from the mixture of washing water, blood residues, hair, manure and viscera, generating environmental problems in the aquatic ecosystem, such as river pollution and generation of bad odors. , since they are discharged into the Ichu River through direct or indirect incorporation (infiltration, runoff, etc.) being a source of contamination for the water. Therefore, the present thesis was proposed as a solution, with the objective of evaluating the effect of electrocoagulation by means of photovoltaic panels as a pollutant reducer of the effluent of the Huancavelica Municipal Farm at the Laboratory level. The electrocoagulation system, had two photovoltaic panels to generate electrical energy through the sun, this feeds a current regulating source and induces a glass cell with electrodes of Aluminum (anode) and Iron (cathode) where it is the sample of residual water (effluent from Camal) to be treated, in which we worked with variations of intensities of: 3, 4, and 5 Amps and each intensity in two different times: 30 and 50 minutes, obtaining a total of six treatments. Where a removal of BOD5 of 95.46%, COD of 94.38%, STS of 93.42%, fecal coliforms of 99.64% and oils and fats of 92.31% was achieved; with the highest intensity of current of 5 Amps in a time of 50 minutes of operation. Achieving a removal greater than 70% of contaminants as a minimum compared to the initial sample, being able to see that the electrocoagulation technique is one more treatment option for this effluent.

Keywords: Amps, camal, effluent, electrocoagulation, photovoltaic panel, removal.

Introducción

El agua es el recurso importante para la subsistencia de la vida y para el abastecimiento de las diversas actividades antropológicas en todo el mundo, entre estas destacando las actividades económicas para el desarrollo de un pueblo, ciudad y nación, sin embargo, estas producen enormes cantidades de agua residual o efluentes.

La contaminación de los recursos hídricos de agua como son los ríos, lagos, arroyos, entre otros, ha ido creciendo y posicionándose como uno de los principales problemas tanto ambientales como sanitarios, esto debido a que también generan problemas a la salud humana. Por ello, a lo largo de los años los recursos hídricos se vieron influenciada por las diversas actividades que el hombre realiza día a día, alterando sus funciones ecológicas y generando daño a los hábitats acuáticos.

De esta manera las diferentes industrias que hay a nivel nacional (mineras, textiles, entre otros) generan desechos, efluentes que en la mayoría de los casos son incorporados a cuerpos naturales de agua. La mayoría de los tipos de desechos, una vez introducidos en las aguas superficiales, no se pueden extraerse de él. Su destino está determinado por su composición química y por los procesos de transporte físico. La distancia que pueden alcanzar depende de esos procesos y de su velocidad de descomposición (Mostafa 2012).

En el Perú se tiene problemas a causa de los efluentes generados por las distintas actividades humanas, como son las industrias, por actividad minera, o en el caso de la presente investigación, los efluentes generados en los camales, encontrando en la mayoría de estos casos como fuente de vertimiento los ríos, generando la alteración del curso de la calidad de estas fuentes naturales de agua. Así el agua residual que proviene de la industria de carne procesada y del beneficiado de ganado vacuno, ovino y porcino en los mataderos municipales, es considerada como la principal fuente de contaminación de los sistemas acuáticos (FAO 2017).

Actualmente existen una serie de tecnologías emergentes para el tratamiento de efluentes que están basados en procesos electroquímicos, entre ellos encontramos la técnica de electrocoagulación, esta surge como una alternativa interesante para el tratamiento de aguas residuales de todo tipo, ya que actualmente se ha tratado diversas

aguas residuales y efluentes de industrias, aunque poco se ha tratado aguas residuales de camales, es por ello que nace la motivación de este proyecto. El desarrollo actual de estas aplicaciones en diversos campos, se debe principalmente por ser una tecnología limpia y esta característica hace que contribuya a la protección del medio ambiente, como el método de electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos, aprovechando el potencial que el Perú tiene en energía solar.

La energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio peruano, en la gran mayoría de localidades la disponibilidad de la energía solar es bastante grande y uniforme durante todo el año, haciendo más atractivo su uso en comparación a otros países (Tamayo 2011).

En el departamento de Huancavelica se cuenta con diversas actividades económicas, como la minería, el sacrificio de animales en los camales, entre otros, pero como principales fuentes generadoras de aguas residuales tenemos las minerías, viviendas y los camales. La ciudad de Huancavelica cuenta con el "Camal Municipal de Huancavelica", único proveedor de carnes rojas, que dispone sus aguas residuales directamente al río Ichu, alterando el ecosistema acuático. Por lo argumentado se propone como solución a este problema la aplicación de la técnica de la electrocoagulación, tecnología de poca o nula aplicación en aguas residuales de camal en nuestro país.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema.

En todo el mundo se tiene empresas, industrias, explotaciones mineras, agrícolas, ganaderas, alimentarias, entre otras, que transforman los recursos naturales para la fabricación de otros productos para el uso o consumo humano.

La mayoría de estas actividades humanas generan aguas residuales, efluentes y más del 80% de las aguas residuales de todo el mundo se liberan en el medio ambiente sin tratamiento (UNESCO 2017)

Las industrias donde se realizan actividades generan aguas residuales, por ende, efluentes, que, al no ser tratados eficientemente, y se descarga directamente a un recurso natural (suelo o agua), ocasiona efectos negativos al ambiente y a la salud, contaminando a la zona de influencia ya sea por la incorporación de efluentes con alta carga contaminante mediante infiltraciones o escorrentía, generando vectores y transmitiendo alguna enfermedad a la población cercana.

Los efluentes industriales provenientes de camales son unos de los más complejos debido a su tratamiento en lo que se refiere a su composición y al origen de los contaminantes produciendo descargas de efluentes con alta carga contaminante, ello constituye un gran problema ambiental y sanitario, ya que contribuyen en el deterioro de la calidad del agua.

A lo largo de los años, de acuerdo con el avance tecnológico de cada país, se ha ido implementando distintas tecnologías que mejoren el tratamiento

de dichos efluentes generados por las distintas actividades humanas, con la finalidad de reducir su carga contaminante para la reincorporación de la conservación del medio acuático, o reutilización de los residuos sólidos y líquidos para el reaprovechamiento de manera sostenible.

En el Perú se encuentra la problemática relacionada con la Industrias alimentarias, como son los camales, que pueden ser empresas pequeñas, medianas y grandes, en el cual se realizan actividades para el sacrificio de los animales, generando una cantidad de efluentes contaminados con altos niveles de carga contaminante como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), sólidos en suspensión y entre otros parámetros.

El sacrificio de animales es una de las actividades que genera efluentes líquidos, resultado de la mezcla de agua de lavado y los residuos de sangre, pelos, estiércol y vísceras, generando graves problemas ambientales en el ecosistema acuático debido a la alta carga orgánica que acarrea (Nolasco, 2018). Esto genera problemas ambientales como la contaminación de los cuerpos de agua y la generación de malos olores que causan conflictos con la población (OEFA 2014).

A nivel local, se cuenta con el Camal Municipal de Huancavelica, que se encuentra en funcionamiento y esta adyacente al río Ichu. Se tiene en cuenta la actividad de sacrificio de animales dentro del Camal que genera efluentes que contienen contaminantes, como materia orgánica, sólidos, etc., y esta altera al río Ichu mediante la incorporación directa o indirecta (infiltraciones, escorrentía, etc.), ya que el sistema de tratamiento de agua residual con el que cuenta es ineficiente. Por lo que se propone investigar el tratamiento del efluente generado por el Camal Municipal de Huancavelica mediante el método de electrocoagulación a través de paneles fotovoltaicos para la remoción de los siguientes parámetros como son: La Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Aceites y Grasas y Coliformes Fecales, así también la influencia que tiene en pH, Temperatura y Conductividad Eléctrica, reduciendo los impactos ambientales y buscando otra alternativa de tratamiento.

1.2. Formulación del problema.

1.2.1. Problema general

- ✓ ¿Será posible la remoción de la carga contaminante del efluente del Camal Municipal de Huancavelica, aplicando la técnica de electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos?

1.2.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Cuál es la influencia de la intensidad de corriente y tiempo en el Potencial de Hidrógeno (pH), Temperatura (T°) y Conductividad Eléctrica (CE) en la remoción de la carga contaminante del efluente del Camal Municipal de Huancavelica?
- ✓ ¿Cuál es la eficiencia de la técnica de electrocoagulación en la remoción de Sólidos Totales Suspendidos (STS) en suspensión del efluente del Camal Municipal de Huancavelica?
- ✓ ¿Cuál es la eficiencia de la técnica de electrocoagulación en la remoción de Aceites y Grasas (AG) en suspensión del efluente del Camal Municipal de Huancavelica?
- ✓ ¿Cuál es la eficiencia de la técnica de electrocoagulación en la remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) del efluente del Camal Municipal de Huancavelica?
- ✓ ¿Cuál es la eficiencia de la técnica de electrocoagulación en la remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) del efluente del Camal Municipal de Huancavelica?
- ✓ ¿Cuál es la eficiencia de la técnica de electrocoagulación en la remoción de Coliformes Fecales del efluente del Camal Municipal de Huancavelica?

1.3. Objetivo: General y Específicos.

1.3.1. Objetivo general

- ✓ Evaluar la eficiencia de la técnica de la electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos a nivel de laboratorio como reductor de contaminantes del efluente del Camal Municipal de Huancavelica.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar el efluente del Camal Municipal de Huancavelica
- ✓ Determinar los parámetros de pH, Temperatura y Conductividad Eléctrica.
- ✓ Evaluar la concentración de los parámetros físicos: Solidos Totales Suspendidos (STS) y Aceite y grasas(AG) del efluente del camal aplicando la técnica de electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos a nivel de laboratorio.
- ✓ Evaluar la concentración de los parámetros químicos: Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) del efluente del camal aplicando la técnica de electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos a nivel de laboratorio.
- ✓ Evaluar la concentración del parámetro microbiológico: Coliformes Fecales del efluente del camal aplicando la técnica de electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos a nivel de laboratorio.
- ✓ Determinar el porcentaje de remoción de contaminantes del efluente del Camal Municipal de Huancavelica mediante la aplicación de la técnica de electrocoagulación.

1.4. Justificación.

La descarga de aguas contaminadas a los cuerpos de agua es generada por distintas empresas, de alimentos. de bebidas, de mineras, entre otros. Actualmente la contaminación de los ríos se incrementa a través de los años siendo una de las causas, un manejo inadecuado, y falta del correcto funcionamiento de los componentes que se encargan de las aguas generadas en los camales, siendo en la mayoría de los casos los ríos o alguna fuente de agua natural cercana a los camales, fuente de contaminación de estas, y todo ello generado por la acción y necesidad del ser humano, ya que de los camales se exporta los animales sacrificados a los distintos mercados como productos de alimentación. Por ende, es importante mencionar que los camales tienen alta incidencia en la descarga de aguas contaminadas a los cuerpos de agua y con ello generan graves impactos en el entorno.

En ese sentido el desarrollo de la investigación surge de la necesidad de poner a prueba la técnica de electrocoagulación, que se ha venido usando para el tratamiento de distintos efluentes generados en las empresas, como efluente minero, de aguas residuales, lácteos, entre otros, y todos dando resultados óptimos. Aunque en su minoría se aplicó en efluentes de camales, por lo cual se plantea esta investigación con el fin de ver resultados óptimos, ya que en altos niveles de concentración de sus parámetros se genera el mal aspecto, olores desagradables, eutrofización, generación de vectores, entre otros problemas, afectando directamente al ecosistema que en su mayoría es el recurso hídrico cercano a los camales.

El proyecto de investigación surge de la necesidad de evaluar los parámetros de los efluentes del Camal Municipal de Huancavelica antes y después de la aplicación del método de electrocoagulación mediante el uso de los paneles fotovoltaicos, para determinar su eficiencia y de esta manera plantear otra alternativa de tratamiento más eficiente y que no genere daño al ecosistema cercano (aire, agua y suelo) ni a la población, ya

que este se encuentra adyacente al río Ichu, y atraviesa por muchas zonas de riego, comunidades, distritos, etc., que hacen utilidad de sus aguas para las actividades de agricultura, ganadería, etc.

El proyecto permitirá tener como base los resultados que se generará en los efluentes del Camal Municipal de Huancavelica, aplicando la técnica de electrocoagulación mediante el uso de los paneles fotovoltaicos y esto permitirá diseñar futuras tecnologías o propuestas, para la gestión del problema o incidencia que generan los camales en las distintas fuentes superficiales de agua cercanos.

Por otra parte, permitirá la estimulación de realización de proyectos ambientales y de emprendimiento que involucren metodologías de investigación-acción.

Así el proyecto que aquí se presenta, aborda el problema tanto ambiental y sanitario de los efluentes generados en los procesos de sacrificio de animales, vertidas de manera directa o indirecta al cuerpo de agua, mediante la aplicación de distintas tecnologías para el proceso de descontaminación de la carga orgánica, para la creación en el futuro a manera de escala.

De esta manera haciendo reconocer en la adquisición de conocimientos ambientales y aplicación de nuevas técnicas por parte de los estudiantes de la Universidad Nacional de Huancavelica en el departamento de Huancavelica, ya que este tipo de investigación no fue aplicada con anterioridad, promoviendo la participación en la solución de sus problemáticas ambientales.

1.5. Limitaciones

1.5.1. Limitante teórica

La limitación del presente tema de investigación radico principalmente en la poca información sobre el diseño de sistemas continuos de electrocoagulación. Otra en cuanto del uso, de sistema continuos de electrocoagulación para el tratamiento de efluentes industriales.

1.5.2. Limitante temporal

La limitante de carácter temporal, es que no es posible desarrollar toda la investigación completa como inicialmente la propusimos para desarrollarla durante un año, se nos limitó para que solo aplicáramos once meses para el presente trabajo, tiempo que limito la investigación solo en el desarrollo del diseño y construcción y montaje de un prototipo para el tratamiento de los efluentes industriales.

1.5.3. Limitante espacial.

El trabajo de investigación se realizó en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica, específicamente en el Laboratorio Central de Microbiología y Parasitología, el espacio casi suficiente para ubicar el prototipo del electrocoagulador para el tratamiento de los efluentes. Este sistema de tratamiento dependiendo del éxito de la investigación podría ser replicado en las ciudades del país que tengan las deficiencias similares o mayores, su réplica permitirá implementar un nuevo nicho de actividades de producción y tecnología para el tratamiento de diversos efluentes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes.

2.1.1. Antecedentes internacionales

Hernández y Mejía (2019), en su trabajo de investigación titulado "Evaluación del sistema de electrocoagulación para disminuir la carga contaminante a escala de laboratorio", realizado en la Fundación Universidad de América – Bogotá, en donde su objetivo fue evaluar el método de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la empresa PMP, donde se realizó el diagnóstico de los vertimientos, posterior al diagnóstico se definieron las variables del método de electrocoagulación: pH, densidad de corriente, temperatura, material de los electrodos y tiempo de reacción. Se realizó dos experimentaciones, la primera experimentación se realizó en un tiempo de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 horas, con un voltaje de 2V y electrodos de hierro y aluminio, como resultado se obtuvo que el tiempo adecuado para la remoción de contamines de la empresa es 4 horas obteniendo una remoción mayor al 80%. Y la segunda experimentación se realizó 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, solidos suspendidos, solidos sedimentables y grasas y aceites.

Robles y López (2017), en su tesis titulado “Diseño de un prototipo para el tratamiento de aguas residuales domésticas, basado en electrocoagulación, realizado en Universidad de la Salle” - Bogotá, en la investigación se desarrollaron diferentes pruebas de laboratorio a fin de analizar la eficiencia del sistema, mediante el tratamiento de agua residual no convencional basado en electrocoagulación, con el cual se mejoró la calidad del agua, medida en función de diferentes parámetros fisicoquímicos como: sólidos, pH, turbidez, color, DQO, temperatura, DBO, densidad relativa y oxígeno disuelto. Se llevó a cabo el diseño y construcción de dos reactores de vidrio a escala de laboratorio, cada uno con capacidad para tratar 9 litros. Se realizaron diferentes tipos de pruebas que permitieron la identificación de las variables determinantes dentro del proceso y las condiciones óptimas de operación dentro de las cuales están: tiempos de exposición, material de electrodos, separación de electrodos y tipo e intensidad de corriente. Con la experimentación realizada se obtuvieron eficiencias de remoción de DQO (75- 83%), DBO5 (89-100%), sólidos totales disueltos (51-54%), turbidez (93-97%), color (82-95%), conductividad (5152%), Coliformes (99.9%), al igual que el aumento del porcentaje de oxígeno disuelto (349 – 578%) con respecto al agua residual cruda.

(Ruiz 2017), en su tesis titulado “Prototipo de una celda de electrocoagulación abastecida con energía fotovoltaica para tratamiento de aguas residuales en la industria minera realizado en la Corporación Universitaria Minuto de Dios- Bogotá”.Se planteó como objetivo desarrollar un prototipo a escala de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de las minas de carbón en el municipio de Cucunubá, Cundinamarca. Se empleó electrodos de Aluminio y Hierro, suministro 5 voltios y 1 amperio por un tiempo de 15 minutos. Alcanzaron unos resultados excelentes para el tratamiento de las aguas residuales de la mina de carbón, la reducción del 15% en los niveles de DQO, indica una

disminución en la contaminación del agua, aunque el pH supone un inconveniente para esta técnica. Por lo cual concluye que un tiempo de 15 minutos a una potencia de 5 W es suficiente para que la electrocoagulación resulte ser un proceso eficaz para el tratamiento de aguas residuales de las minas de carbón.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Ramon (2021) en su investigación titulado "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 – Huancayo". Se planteó como objetivo determinar si la electrocoagulación representa ser una alternativa para la remoción de los sólidos suspendidos totales de las aguas residuales, el método que se empleo fue método científico, de corte general hipotético-deductivo y de enfoque específico observacional y experimental, en su metodología menciona que se realizó este estudio empleando electrodos de Al y Fe, con voltaje de (2, 2,5 y 3 A) y en un tiempo de contacto de (10, 15 y 20 minutos). Concluye finalmente que 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 ya que la eficiencia de remoción fue alta (superior al 80 %), alcanzando hasta el 89,43 % de remoción máxima (r = 0,990, sig. = 0,000).

Chacon y Huampotupa (2021), en su tesis titulado "Electrocoagulación de aguas residuales en la industria Láctea Ramírez – Anta – Compone" realizado en la universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Se planteó como objetivo general determinar el porcentaje de remoción de materia orgánica en el proceso del efluente industrial por electrocoagulación en un reactor monopolar de la industria láctea RAMIREZ. En el proceso de electrocoagulación se trabajó con electrodos

de Aluminio y Acero inoxidable, con un volumen de 2500 ml de muestra compuesta de lactosuero. Se concluye que los parámetros en la electrocoagulación de lactosuero se determinaron a una densidad de corriente de 56.7 A/m2, y en un tiempo de 50 minutos se obtienen los mejores porcentajes de remoción de la DQO de 86.96%, DBO5 de 71.94 %, aceites y grasas de 74.81% y SST de 55.31 % en un tiempo de 30 minutos.

Cueva y Pereda (2020), en su tesis titulado "Efecto del amperaje y tiempo del proceso de la electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales del camal de José Leonardo Ortíz- Lambayeque". Se aplicó un total de 27 muestras de agua residual provenientes del Camal Municipal de José Leonardo Ortiz, utilizando celda electrolítica tipo Bach con electrodos de acero 304 (cátodo) y aluminio (ánodo), con variaciones de intensidad de corriente eléctrica de 8, 10 y 12 Amperios con tiempos de 20, 25 y 30 minutos. Obteniendo un tiempo y amperaje óptimo de 30 min a 12 Amperios, donde se logró una remoción de DQO de un 94.27%, DBO5 de un 87.78 %, SDT de un 88.45%, Grasas y aceites de un 88.22% y Turbidez de un 90.06%, confirmando que el proceso de electrocoagulación disminuye notoriamente los parámetros de contaminación orgánicos.

Arana y Peña (2019), en su tesis titulado "Efecto del tiempo y número de placas en la remoción de DQO y turbidez en agua residual del proceso de curtido por electrocoagulación realizado en la Universidad Cesar Vallejo –Trujillo". Se planteó como objetivo determinar el efecto del tiempo y el número de placas en la remoción de DQO y turbidez en el proceso de curtido por electrocoagulación, en donde se empleó electrodos de aluminio y fierro, con una variación de placas de 6 y 8 intercaladamente, con una muestra de agua residual de curtido de 1.5 Lts, suministrada a una Fuente de poder con 20 Voltios 10 Amperios, para ello se empleó tiempos de 30 y 50 minutos con un tiempo de residencia de 60 minutos.

Concluyendo finalmente que el tratamiento de electrocoagulación presentado mejoró los niveles de remoción a los 50 minutos, aplicando 6 y 8 placas con un nivel de 81% y 80.88% en porcentajes de remoción, siendo 915 mg/L y 920 mg/L en DQO, disminuyendo considerablemente el nivel de DQO. Finalmente hubo un nivel de remoción de turbidez de 79% aplicando 6 placas y un nivel de remoción de 81% aplicando 8 placas, después de 50 minutos de tratamiento.

Diego (2019), en su tesis titulado " Influencia de la densidad de corriente y pH, para evaluar la remoción de Cr+3 y DQO en efluente de etapa de curtido, mediante electrocoagulación fotovoltaica desarrollado en la Universidad Nacional de Trujillo" Donde tuvo como objetivo general determinar la influencia de la densidad de corriente y pH, sobre el porcentaje de remoción de Cr+3 y DQO mediante el método de electrocoagulación alimentado con energía fotovoltaica. El estudio demostró que con electrocoagulación a pH 8 y densidad de corriente de 28.51. mA/cm2 es posible alcanzar valores de remoción de 99.17% para Cr+3 y 71.48 % para DQO.

Apaza (2018), en su tesis titulado "Sistema combinado electrocoagulación-filtro biológico para la remoción de carga orgánica de los efluentes lácteos realizado en la universidad Nacional Agraria la Molina – Lima". Se planteó como objetivo, el estudió de la capacidad de remoción de la carga orgánica del efluente de la planta piloto de leche - UNALM, mediante la aplicación de un sistema combinado de electrocoagulación y filtro biológico. El proceso de electrocoagulación se trabajó en régimen batch con un volumen de 4L de muestra compuesta de lactosuero y efluente lácteo en relación 1:6 respectivamente, se empleó electrodos de aluminio y hierro. Se concluye que la mejor combinación de factores para la remoción de DQO de los efluentes lácteos de la planta piloto de leche fueron con pH 6.8, densidad de corriente de 44.39 A/m2 y tiempo de reacción de 45

minutos, con esos factores se logró reducir la carga contaminante en 84.96 % y la temperatura no presento un aumento significativo.

Paitan y Sifuentes (2018), en su tesis titulado " Remoción de contaminantes de aguas residuales de un matadero de equinos por el método de electrocoagulación a nivel de laboratorio, realizado en la Universidad Nacional del Centro del Perú", en donde la investigación tuvo por objetivo, evaluar la influencia de la densidad de corriente y el tiempo de exposición, en las características fisicoquímicas del agua residual tratada de un matadero de equinos por electrocoagulación. En donde realizaron experimentos preliminares para seleccionar el material de electrodos a utilizar y como resultados se determinó utilizar tres placas de aluminio como ánodo y tres placas de aluminio como cátodos arreglados en serie. Se trabajó con un volumen de 1,5 L de muestra para todos los tratamientos para 2 repeticiones. la densidad de corriente y el tiempo de exposición influenciaron en las características fisicoquímicas del agua residual de matadero (DBO, DQO, sólidos suspendidos, aceites y grasas, turbidez, nitrógeno), alcanzando el mayor porcentaje promedio de reducción de contaminantes trabajando a una densidad de corriente de 33,88 A / m2 y un tiempo de 30 minutos. Concluyendo así que a medida que aumenta la densidad de corriente y el tiempo de operación, aumenta el porcentaje de reducción de contaminantes en la muestra. Cumpliendo con los parámetros de Límites Máximos Permisibles (LMP) para aguas residuales provenientes de mataderos.

De la cruz et al. (2017), en su tesis titulado "Tratamiento de aguas residuales de la industria de curtiembre mediante el método de electrocoagulación para la reducción de la Demanda Química de Oxigeno y Cromo, realizado en la Universidad Nacional del Callao", esta investigación se realizó mediante la aplicación de la corriente eléctrica

usando electrodo ánodo de sacrificio el aluminio y electrodo cátodo de hierro. La reducción de la demanda química de oxígeno y el cromo se realizó en cuatro etapas: la primera etapa es la sedimentación del agua residual industrial, la segunda etapa es el proceso de filtración (con bomba de succión al vacío), la tercera etapa es el método de electrocoagulación y la última etapa es el filtro de arena y carbón activado. Se realizó 8 experiencias en el laboratorio obteniendo los siguientes parámetros de operación óptimos: intensidad de corriente 20 amperios, caída de tensión 30 voltios y tiempo de trabajo 35 minutos obteniéndose una remoción de la Demanda Química de Oxigeno 90.1% y una remoción del Cromo del 99.99%. Con las condiciones óptimas trabajadas experimentalmente la Demanda Química de Oxígeno y el Cromo, obtenido cumple con los estándares de calidad de la norma D.S N° 021-2009-VIVIENDA.

Tamani (2017), en su tesis titulado “ Electrocoagulación para la remoción de carga contaminante del efluente del matadero municipal de Tingo María, realizado en la Universidad Nacional Agraria de la Selva”, donde la investigación tuvo como objetivo, evaluar la técnica en mención para reducir la carga contaminante del efluente del matadero municipal, en donde se realizaron 27 experimentos. Se construyó una celda de electrocoagulación tipo batch (lotes), con 5 electrodos de aluminio y 5 de acero galvanizado; los experimentos constaron de tres intensidades de corriente, tres tiempos de operación, cada una con 3 repeticiones. Los resultados obtenidos son alentadores, al aplicar la técnica de electrocoagulación; en 30 minutos y con una intensidad de corriente de 2 A se logró reducir el DBO5 hasta en un 86%, sólidos totales en 86%, sólidos suspendidos en 96%, Coliformes totales en 100% y Coliformes fecales (E. coli) en 100%.

Velásquez (2017), en su tesis titulado “Reducción de carga orgánica en el tratamiento avanzado de aguas residuales del Camal Municipal de Chupaca mediante el método de electrocoagulación – Junín”, realizado en la Universidad Alas Peruanas, el presente trabajo se planteó para la reducción de materia orgánica con el uso del método de la electrocoagulación, tomando en cuenta en este tratamiento parámetros como el tiempo de retención, el pH, y el voltaje administrado. Se inició con la toma de muestras para realizar la caracterización de las aguas residuales, donde se encontró valores más altos alcanzados de DQO 9962,6 mg/L, DBO5 de 6822,5 mg/L, Conductividad eléctrica igual a 3620,0 µSm/cm, Solidos totales 4297,0 mg/L, valores que sirvieron como referencia para iniciar el trabajo. En base a los resultados obtenidos al realizar el tratamiento con electrocoagulación, se determinó una eficiencia de hasta 91 % de la DQO y un 94 % en la DBO5, trabajando con pH 8 y tensión de corriente de 20 V e iniciando con un pH neutro en la muestra. Debemos tener en cuenta no se tienen LMP para aguas efluentes de camales, por lo que al comparar con los LMP para efluentes de PTAR, los resultados obtenidos no se encuentran dentro de los parámetros permitidos por lo cual se debe realizar un tratamiento adicional complementario.

Riccio (2015), en su tesis titulada “Remoción de contaminantes de aguas residuales urbanas del colector agua de las vírgenes por electrocoagulación, a nivel de laboratorio”, utilizando como fuente energética un panel fotovoltaico desarrollado en la Universidad Nacional del Centro del Perú. Se planteó como objetivo remover los contaminantes de las aguas residuales urbanas, específicamente del colector “Agua de las Vírgenes” de El Tambo, Huancayo, variando la densidad de corriente y el tiempo de residencia por el método de electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos, a nivel de laboratorio. En donde trató un volumen de 1,8 L de agua residual, utilizando electrodos de aluminio y fierro con una separación de 1 cm, se determinó una densidad de corriente de 32,72 A/m2

y un tiempo de tratamiento de 20 minutos, obteniendo a estas condiciones los mayores porcentajes de remoción los cuales fueron: 86,33% de DBO5, 78,89% de DQO, 92,94% de turbiedad, 96,32% de aceites y grasas, 50,44% de conductividad eléctrica, 52,91% de sólidos totales, 88,62% de sólidos suspendidos, 86,65% de dureza total, 83,04% de dureza cálcica, 99,92% de coliformes totales y 99,98% de escherichia coli.

2.1.3. Antecedentes locales

Ayuque y Esteban (2021), en su tesis titulado “Eficiencia de una cámara de electrocoagulación a escala de laboratorio para tratamiento de aguas residuales del camal municipal distrito de Huancavelica”. Se planteó como objetivo general 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, para lo cual se empleó la siguiente metodología: la investigación fue de tipo aplicada, nivel explicativo, el método de investigación fue científico, diseño pretest y postest con un solo grupo, la técnica fue la observación experimental, la muestra se conformó por 2 litros de agua residual, se empleó electrodos de Aluminio con densidad de corriente (10,30 y 50 Amp/m2) y aun tiempo de (5, 10 y 30 min). 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 y de acuerdo al parámetro pH se logró incrementar los H+ de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles de ácido a neutro.

Ayuque (2022), en su tesis titulado “Tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras por el método de electrocoagulación en la cuidad de Huancavelica”. Se planteó como objetivo general evaluar el grado de

influencia del método de electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras en la ciudad de Huancavelica, para lo cual se empleó la siguiente metodología, la investigación fue de tipo aplicada, nivel explicativo, el método de investigación fue científico, diseño pretest y postest con un solo grupo, la técnica fue la observación experimental la muestra se conformó por 3 litros de agua residual por tratamiento por cada lavandería. Se trabajó con intensidad de (15 y 30 Amp/m2) en un tiempo de (15 y 40 min.) Según los resultados el tiempo de retención y la intensidad de corriente en la cámara de electrocoagulación influyen significativamente en la reducción de la demanda química de oxígeno, teniendo un valor inicial de DQO de 1308.00 mg/l y se redujo hasta 366.50 mg/l en la lavandería 1. En la lavandería 2 se obtuvo un valor inicial de DQO de 1333.50 mg/l reduciendo hasta 348.50 mg/l cumpliendo con los VMA acorde al Decreto Supremo N° 010-2019- VIVIENDA. En los parámetros pH y temperatura las variables tiempo de retención e intensidad de corriente no tienen un nivel de significancia relevante.

2.2. Bases Teóricas.

2.2.1. El agua

El agua es uno de los compuestos más abundantes en la naturaleza ya que cubre aproximadamente tres cuartas partes de la superficie total de la tierra. Sin embargo, a pesar de esta aparente abundancia, existen diferentes factores que limitan la cantidad de agua disponible para el consumo humano (Arellano y Guzmán 2011).

Cerca del 97% del total de agua disponible se encuentra en los océanos y otros cuerpos de agua salina y no se puede utilizar para diversos propósitos. Del 3% restante, casi el 2 se encuentra distribuida en los témpanos de hielo, glaciares, en la atmosfera o mezclada con el suelo, por lo que no es accesible. De tal forma que, para el desarrollo y sostenimiento

de la vida humana, con sus diversas actividades industriales y agrícolas, se dispone aproximadamente de 0.62% del agua restante, que se encuentra en lagos de agua fresca, ríos y mantos freáticos (Arellano y Guzmán 2011).

2.2.2. Calidad de agua

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria (Barrenechea 2004)

El término de calidad de agua es complejo, pues encierra una serie de factores interrelacionados. Además, el concepto de calidad de agua ha ido evolucionando, debido al aumento en los usos del agua y a la facilidad de medir e interpretar las características del agua (Campos y Gómez 2003)

Teniendo presente el hecho de que calidad y contaminación del agua son dos caras de la misma moneda, podemos entonces describir la calidad del agua, mediante mediciones cuantitativas, como las mediciones fisico–químicas o pruebas bioquímicas, así como descripciones semicuantitativas o cualitativas, como índices bióticos, aspectos visuales, inventarios de especies, olor, etc. Estos parámetros son determinados en el laboratorio o en el campo, y sus resultados son, a su vez, utilizados por diferentes técnicas de interpretación (Campos y Gómez 2003)

2.2.3. Parámetros de calidad del agua

Se determina la calidad del agua en función de una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan el agua en su estado natural y que nos resultan fáciles de comparar cuando necesitamos determinar la calidad de cierto cuerpo de agua (Campos y Gómez 2003)

Los instintos nos permiten, de manera cualitativa, determinar principalmente parámetros físicos, no así químicos o biológicos. Por ello se utilizan una serie de pruebas de ensayos de laboratorio con los que se establece, de manera cuantitativa y estandarizada, la calidad del agua (Campos y Gómez 2003)

2.2.3.1. Parámetros físicos

Los parámetros físicos son aquellos parámetros del agua que responden a los sentidos del tacto, olor y sabor. Los más utilizados son: solidos suspendidos, turbiedad, color, olor, sabor y temperatura (Campos y Gómez 2003)

a. Temperatura (T)

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles. Por ejemplo, el aumento de la temperatura del agua puede provocar cambios en las especies piscícolas (Tchobanoglous and Burton 1991)

En nuestro medio, el agua se entrega a los consumidores con la temperatura que se encuentra en la fuente. Solamente en algunos procesos industriales es necesario entregar el agua a una determinada temperatura. Si se requiere a una temperatura mayor se calienta en las calderas y si se quiere rebajar se utilizan torres de enfriamiento (Sierra 2011)

Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente (Barrenechea 2004)

b. Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad es un indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de Ca, Mg, Na, P, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Se mide en micromhos/cm o Siemens/cm. La conductividad es una medida indirecta de los sólidos disueltos.

Las aguas que contienen altas concentraciones de conductividad son corrosivas (Sierra 2011)

c. Solidos totales suspendidos (STS)

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta (Tchobanoglous and Burton 1991)

- ✓ **Sólidos Suspendidos (SS)**

Los sólidos suspendidos (SS) se determinan restando los sólidos disueltos de los sólidos totales. Los SS son, tal vez, el tipo de sólidos más importantes de determinar en los estudios de calidad del agua en nuestro medio, principalmente porque se utilizan para el cobro de las tasas retributivas y el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales (Sierra 2011)

- ✓ **Sólidos Disueltos (SSD)**

La cantidad y naturaleza de los sólidos presentes en el agua varía ampliamente. En el agua la mayoría de los sólidos se hayan disueltos (SD) y consisten principalmente en sales y gases.

Los sólidos disueltos se calculan pasando la muestra por un papel de filtro y luego determinando los sólidos totales del

filtrado. Si se somete la muestra filtrada a evaporación en una mufla a aproximadamente 60 C° (Sierra 2011)

2.2.3.2. Parámetros químicos

Los parámetros químicos están relacionados con la capacidad de solvencia del agua, por lo que no resultan ser fáciles de determinar cómo los parámetros físicos. Para la determinación de los parámetros químicos, se necesita de un laboratorio que realice pruebas específicas. Los parámetros químicos más importantes para determinar la calidad del agua son: solidos disueltos, alcalinidad, dureza, metales, sustancias orgánicas y nutrientes (Campos y Gómez 2003)

a. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

El parámetro más ampliamente utilizado para determinar el contenido de materia orgánica de una muestra de agua es la demanda bioquímica de oxígeno. Se mide determinando la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos (bacterias principalmente) para degradar, oxidar, estabilizar, etc. La prueba de DBO más conocida es la DBO5 , esta prueba se realiza incubando la muestra de agua en el laboratorio y al cabo de cinco días se mide el consumo de oxígeno por parte de los microorganismos, y los resultados se reportan en mg/L de oxígeno consumido (Sierra 2011)

a. Demanda Química de Oxigeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno por litro mg/L (Sierra 2011).

b. pH

Es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso aguas naturales como residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico (Tchobanoglous and Burton 1991)

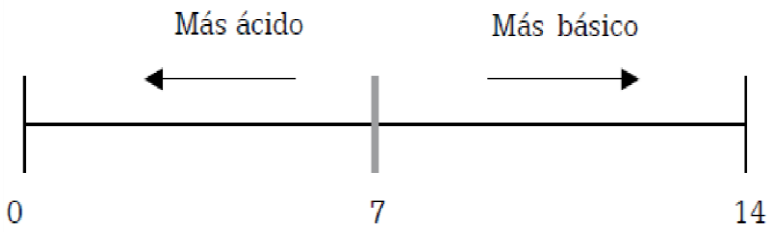
El pH es el término utilizado para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua. Por convención está definido como:

$pH = -\log [H^+]$

Por análisis químicos se sabe que el pH siempre se encuentra en una escala de 0 a 14.

Figura 1.

Escala de pH



Fuente: (Sierra, 2011).

Es importante decir que el pH mide el grado de acidez o de alcalinidad, pero no determina el valor de la acidez ni de la alcalinidad. El pH se puede medir en el campo o en el laboratorio por medio de instrumentos electrónicos (pHchímetro) (Sierra 2011).

2.2.3.3. Parámetros biológicos

Se han desarrollado índices biológicos en los cuales, determinan la calidad del cuerpo de agua analizado. Tradicionalmente se han utilizado los llamados indicadores patógenos. Los patógenos son microorganismos que causan infecciones o transmiten enfermedades, y se encuentran en diferentes cuerpos de agua (río, quebrada, lago) (Campos y Gómez 2003)

De allí surgieron los indicadores del grupo de los coliformes fecales, especialmente el Escherichia coli. Dicho organismo se encuentra en el tracto intestinal de los organismos de sangre caliente y son excretados en grandes cantidades (Campos y Gómez 2003)

a. Coliformes Totales

La presencia de Coliformes totales indica que el cuerpo de agua ha sido o está contaminado con materia orgánica de origen fecal, ya sea por humanos o animales (Sierra 2011)

b. Coliformes Fecales

Es un indicador indirecto del riesgo potencial de contaminación con bacterias o virus de carácter patógeno, ya que las Coliformes fecales siempre están presentes en las heces humanas y de los animales. Los métodos bacteriológicos para detectar Coliformes son: la técnica de los tubos múltiples de fermentación y la técnica del filtro membrana (Sierra 2011)

2.2.4. Contaminación del agua

El agua es un medio en el cual viven muchos seres vivos, como algas, peces, corales, moluscos, anfibios, etc. Por ello, si el agua es contaminada por el vertido de un contaminante, los organismos que viven en ella se verían expuestos a este contaminante (Casas et al. 2008)

El origen de la contaminación es muy variado, pero se pueden citar como causantes a los desechos urbanos e industriales (accidentales o intencionales), los efluentes de plantas depuradoras, los subproductos de los procesos de depuración, ruptura de drenajes, entre otros (Jiménez 2001)

Se define como la presencia de sustancias u organismos extraños en un cuerpo de agua en tal cantidad y con tales características que impiden su utilización para un propósito determinado. La contaminación puede ser natural o antropogénica (Arellano and Guzmán 2011)

La contaminación del agua es un cambio químico, físico o biológico en la calidad del agua que tiene un efecto dañino en cualquier cosa viva que consuma esa agua. Así mismo también se define como la acumulación de una o más sustancias ajenas al agua que se han recolectado hasta tal magnitud que van generando una gran cantidad de consecuencias; entre las cuales se incluye el desequilibrio en la vida de seres vivos como animales, plantas e incluso personas susceptibles de distintas enfermedades (Sierra 2011)

Los cuerpos de agua, lagos, ríos y océanos sufren de diferentes tipos de contaminación, causados, en su mayoría, por las actividades del ser humano y, en menor grado, por fenómenos naturales (Camposano 2019)

Por otro lado, el concepto de contaminación del agua está muy relacionado con su calidad, pues las alteraciones negativas de sus características del agua causan su desmejoramiento, en otras palabras, su contaminación (Camposano 2019)

2.2.5. Aguas residuales

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA 2014)

Aquella que ha sido utilizada en cualquier uso benéfico. El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental para el diseño, operación y control de los sistemas de aguas residuales (recolección y tratamiento) (Sierra 2011)

Generalmente los generadores de aguas residuales se pueden agrupar en aguas residuales domésticas, industriales (caracterizadas o medidas y no medidas) y comerciales (Sierra 2011)

2.2.5.1. Clasificación de aguas residuales

* **Aguas residuales domésticas:**

  Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente (OEFA 2014)

* **Aguas residuales industriales:**

  Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras (OEFA 2014)

* **Aguas residuales municipales:**

  Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para

ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (OEFA 2014)

2.2.6. Contaminantes de las aguas residuales

Los contaminantes presentes en las aguas residuales se pueden dividir en diferentes categorías como se puede observar en la Tabla. La contribución de cada contaminante puede variar de manera significativa (López et al. 2017).

Tabla 1.

Contaminantes en las aguas residuales

Microorganismos	**Organismos patógenos como bacteria, virus y huevos de helminto**	**Riesgo para actividades acuáticas, baños y el consumo de mariscos**
Materia orgánica biodegradable	Disminución del oxígeno disuelto en ríos, lagos	Muerte de peces, olor.
Otros compuestos orgánicos	Detergentes, plaguicidas, grasas y aceites, colorantes, solventes, fenoles, cianuro	Efectos tóxicos, inconvenientes estéticos, bio-acumulación en la cadena alimenticia
Nutrientes	Nitrógeno, fósforo, amoniaco	Eutrofización, agotamiento del oxígeno disuelto, efectos tóxicos
Metales	Hg, Pb,Cd,Cr,Cu,Ni	Efectos tóxicos
Olor(y gusto)	Sulfuro de hidrógeno	Inconvenientes estéticos, efectos tóxicos

Fuente: Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño (López et al., 2017).

2.2.7. Establecimientos de matanza

Los establecimientos que realizan la matanza de animales de abasto generan, en las diferentes etapas del proceso de obtención de carne, un importante volumen de aguas residuales que son vertidas directamente a los cuerpos de agua (ríos, arroyos, lagunas) o al drenaje municipal,

recibiendo tratamiento posterior un pequeño porcentaje del total de las aguas vertidas.

Las principales fuentes de residuos líquidos en los mataderos son las aguas de lavado y las corrientes provenientes de los procesos de desangrado y evisceración. Estas aportan gran cantidad de carga orgánica, por lo que se estima conveniente la segregación de dichas corrientes y el consiguiente tratamiento individualizado. Estos efluentes contienen sangre, estiércol, pelos, plumas, grasas, huesos y otros contaminantes solubles. En general, los efluentes de los rastros tienen altas temperaturas y contienen microorganismos patógenos, además de altas concentraciones de compuestos orgánicos y nitrógeno, donde la sangre es el principal contaminante. Las proteínas y grasas son el principal componente de la carga orgánica presente en las aguas residuales de rastros y mataderos, encontrándose otras sustancias como heparina y sales biliares.

También contienen hidratos de carbono como glucosa y celulosa y, generalmente, detergentes y desinfectantes (Signorini et al. 2006).

2.2.7.1. Camales o mataderos

Los mataderos son importantes en la sociedad debido a que el uso de ellos contribuye a la salubridad de las personas, evitando la transmisión vectorial de agentes patógenos de los animales de abastos a las personas. Asimismo, contribuye a reducir la contaminación en el medio ambiente ocasionada por los vertimientos producidos en estas instalaciones. Es por ello que los mataderos dentro de una política sanitaria preventiva son de prioridad en las ciudades con gran población (Veall 1993)

Las funciones concretas de los mataderos municipales están principalmente determinadas por la necesidad del control y de la higiene de la carne. La principal función consiste en

proceder (por un precio fijo) al sacrificio de los animales, la preparación de carne y otros servicios prestados a los carniceros en relación con la elaboración de la carne. Frecuentemente están subvencionados con cargo a los ingresos locales al no poder llevar a cabo plenamente las operaciones adicionales que los mataderos privados están destinados a realizar (Veall 1993)

Un matadero se ocupa de la transformación de una o varias clases de ganado en carne para el consumo humano. Las operaciones subsidiarias consisten en dividir los cortes primarios de la carne en pedazos más pequeños y en la separación y el tratamiento de diversos subproductos (Veall 1993)

La finalidad de un matadero es producir carne preparada de manera higiénica mediante la manipulación humana de los animales en lo que respecta al empleo de técnicas higiénicas para el sacrificio de los animales. Y al mismo tiempo facilitar la inspección adecuada de la carne y el manejo apropiado de los desechos resultantes, para eliminar todo peligro potencial de que carne infectada puede llegar al público o contaminar a medio ambiente (Veall 1993)

2.2.7.2. Origen a las aguas residuales en los mataderos

Las actividades que dan origen a las aguas residuales en los mataderos y plantas de elaboración son:

Lavazas del suelo y del equipo, Preparación de subproductos, Preparación de las canales, Eliminación de las cerdas de los porcinos, almacenamiento de los cueros, Limpieza de las entrañas, Cuarto de las tripas y de Lavandería.

La naturaleza de los desechos de matadero varía considerablemente, según que existan o no canales de

captación. Cuando no se respeta las prácticas de limpieza, se aumenta el número de Coliformes y la carga orgánica en las aguas residuales descargadas (Muñoz 2005).

2.2.8. Contaminación generada por el establecimiento de matadero.

La composición de las aguas residuales de un rastro o matadero depende, fundamentalmente, de la especie que se procesa. En general, contiene sangre, excremento, contenido ruminal o estomacal, grasa, plumas y huesos.

Cuando el agua residual contiene una cantidad alta de materia orgánica, es propicia para el desarrollo de microorganismos patógenos normalmente presentes en dicha materia (Salmonella spp., Shigella spp.), además de contener, entre otros elementos, huevos de parásitos y quistes de amibas, así como residuos de plaguicidas (presentes en el alimento de los animales), cloro (limpieza de instalaciones), salmuera, etc.; resultando ser un contaminante potencial del suelo y el agua, en el que proliferan los malos olores por la descomposición de la materia orgánica.

Este tipo de residuos, por su humedad y capacidad de descomposición rápida, desprenden gases como el metano, involucrado en el cambio climático global, así como malos olores; atraen a moscas, cucarachas, ratas y otras especies de fauna nociva transmisora de enfermedades; provocan la formación de lixiviados que arrastran contaminantes hacia los cuerpos de agua superficiales o se infiltran hacia los acuíferos, deteriorando las fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano e irrigación de campos agrícolas, amenazando, además, los ecosistemas acuáticos.

Estas aguas residuales, vertidas directamente en mantos de agua, generan un ambiente propicio para el desarrollo de moscas y mosquitos capaces de incubar y multiplicar en su cuerpo microorganismos que, posteriormente, podrían ser la causa de enfermedades en el humano, siendo, así, vectores biológicos. Asimismo, actúan como vectores

mecánicos al transportar patógenos que se desarrollan en este medio contaminado (Signorini et al. 2006)

2.2.9. Tratamiento de aguas residuales de matadero

El tratamiento de los desechos y eliminación de las aguas residuales provenientes de mataderos y plantas procesadoras de carne es una necesidad económica y de higiene pública. La principal fuente de contaminación de las aguas residuales de los mataderos se origina de las heces y orina, sangre, pelusa, lavazas y residuos de la carne y grasas de las canales, los suelos, los utensilios, alimentos no digeridos por los intestinos, las tripas de los animales sacrificados y de vapor condensado procedente del tratamiento de los despojos (Muñoz 2005)

2.2.10. Sistemas de tratamiento del agua residual en mataderos

En general el tratamiento de aguas residuales tiene en cuenta aspectos como la retención de las sustancias contaminantes, tóxicas y reutilizables; el tratamiento del agua como tal y el tratamiento del lodo. Los contaminantes de importancia son sólidos en suspensión, materia orgánica biodegradable, patógenos, nutrientes, contaminantes prioritarios, materia orgánica refractaria, metales pesados y sólidos inorgánicos disueltos.

Los requerimientos de tratamiento para un agua residual especifican puede determinarse mediante la comparación entre la carga de residuos permitida y la contaminación de las aguas residuales municipales y de ciertos tipos de industrias. La purificación requerida determina la selección del método acorde con la estructura comunal e industrial. El objetivo principal de las aguas residuales industriales es la recuperación y reutilización de materias primas, los métodos de tratamientos son similares al de las aguas residuales municipales.

La carga de contaminante en aguas residuales de matadero se puede reducir: reteniendo los residuos del proceso de evisceración y de la

recolección de estiércol, recuperando las grasas en separadores y procesando mejor la sangre, las cerdas y el pelo (Muñoz 2005).

2.2.11. Electrocoagulación

2.2.11.1. Fundamentos teóricos

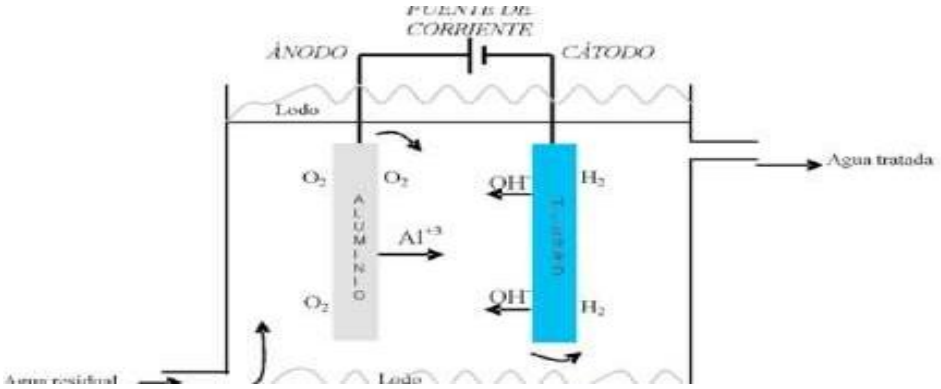
La electrocoagulación ha sido una tecnología emergente desde 1906, con la primera patente concedida en Estados Unidos. Problemas de tipo financiero o de regulación de incentivos generaron tropiezos para que la industria adoptara esta técnica, pero se conocen desarrollos anteriores.

La electrocoagulación es una técnica utilizada para el tratamiento de las aguas residuales. Los contaminantes de muy diversos efluentes son removidos aplicando el principio de coagulación, pero en este caso no se hace uso de un coagulante químico cuya función es llevada a cabo por corriente eléctrica que es aplicada al medio líquido contaminado.

Podemos entonces definir la electrocoagulación como un proceso en el cual son desestabilizadas las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, siendo el hierro y el aluminio los más utilizados. La corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca una serie de reacciones químicas, cuyo resultado final es la estabilidad de las moléculas contaminantes. Por lo general este estado estable produce partículas sólidas menos coloidales y menos emulsionadas o solubles. Cuando esto ocurre, los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan o flotan, facilitando su remoción por algún método de separación secundario. Los iones metálicos se liberan y dispersan en el medio líquido y tienden a formar óxidos metálicos que atraen eléctricamente a los contaminantes que han sido desestabilizados (Restrepo et al. 2006)

Figura 2.

Sistema de electrocoagulación con ánodo de aluminio y cátodo de hierro.



Fuente: Restrepo et al., 2006

Es importante aclarar que en las diferentes publicaciones que se han venido haciendo sobre el tema se encuentran una serie de diseños a escalas de laboratorio y piloto.

En los últimos años, y debido a la imperante necesidad de investigar, adaptar e implementar tecnologías eficientes en la remoción de contaminantes de diversas aguas residuales, se ha vuelto a considerar la electrocoagulación como alternativa viable en el tratamiento de los efluentes líquidos, cobrando un importante interés científico e industrial. Es así como nos enfrentamos al reto de investigar los parámetros que controlan el proceso de electrocoagulación de manera organizada y sistemática, de una forma que permita diseñar el proceso en su totalidad, desde su requerimiento de energía hasta su reactor para así optimizarlo, adaptarlo y aplicarlo, ubicando dicho proceso como una tecnología de punta que brinde sus ventajas en la protección y conservación del recurso hídrico. Aplicaciones de la electrocoagulación: Se ha aplicado la electrocoagulación para la remoción de diversas aguas residuales (Restrepo et al. 2006)

2.2.12. Factores que afectan la electrocoagulación

Son muchos los factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación y algunos de estos factores tienen mayor influencia sobre el proceso.

a. pH

El pH influye sobre la eficiencia de la corriente en el proceso de solubilidad del metal para formar hidróxido. Se ha observado en diferentes investigaciones que el pH varía durante el proceso de electrocoagulación y esta variación es dependiente del material de los electrodos y del pH inicial del agua a tratar. El pH durante el proceso puede incrementarse para aguas residuales ácidas, efecto atribuido a la generación de hidrógeno molecular que se origina en el cátodo. En contraposición, en aguas residuales alcalinas el pH puede decrecer y, dependiendo de la naturaleza del contaminante, el pH influye sobre la eficiencia del proceso. Se ha determinado en algunos casos que la mayor eficiencia en la remoción de un contaminante se da dentro de un rango específico de pH, e incluso este rango puede ser amplio. En términos generales las mejores remociones se han obtenido para valores de pH cercanos a 7 (Restrepo et al. 2006)

b. Densidad de corriente

Como las variables eléctricas en el proceso de electrocoagulación son los parámetros que más influyen en la remoción del contaminante de un agua residual y están ligados a factores económicos, se debe prestar mayor atención a su estudio. La eficiencia en la remoción y el consumo de energía se incrementan con el aumento en la densidad de corriente. Para algunas conductividades del medio acuoso el consumo de energía se incrementa proporcionalmente con los aumentos de conductividad, lo que conlleva a un consumo mayor de energía. Para altos consumos de energía se presentan pérdidas por la transformación de energía eléctrica en calórica, produciéndose un aumento en la temperatura del medio acuoso. El suministro de corriente al sistema de electrocoagulación determina la

cantidad de iones de aluminio o hierro, liberados por los respectivos electrodos. En general un aumento de la densidad de corriente genera un aumento en la remoción de contaminante. Una densidad de corriente demasiado grande produciría una disminución significativa en la eficacia. La selección de la densidad de corriente podría realizarse teniendo en cuenta otros parámetros de operación, como pH y temperatura. La energía eléctrica que se suministra a la celda electroquímica puede ser mediante corriente alterna (CA) o bien como corriente directa (CD) (Restrepo et al. 2006)

c. Conductividad

Un incremento en la conductividad eléctrica genera a su vez un incremento en la densidad de corriente. Cuando se mantiene constante el voltaje alimentado a la celda de electrocoagulación y adicionalmente el incremento de la conductividad, manteniendo la densidad de corriente constante, se produce una disminución del voltaje aplicado. La adición de algunos electrólitos tales como NaCl generan un aumento en la conductividad del agua residual (Restrepo et al. 2006)

d. Temperatura

Los efectos de la temperatura sobre la electrocoagulación no han sido muy investigados, pero se ha encontrado que la eficiencia en la corriente se incrementa inicialmente hasta llegar a 60º C, punto donde se hace máxima para luego decrecer. El incremento de la eficiencia con la temperatura es atribuido al incremento en la actividad de destrucción de la película de óxido de aluminio de la superficie del electrodo (Restrepo et al. 2006)

2.2.13. Ventajas y desventajas del método de electrocoagulación

a. Ventajas

- ✓ Requiere de equipos simples y de fácil operación.

- ✓ Elimina requerimientos de almacenamiento y uso de productos químicos.
- ✓ Genera lodos más compactos y en menor cantidad, lo que involucra menor problemática de disposición de estos lodos.
- ✓ Produce flóculos más grandes que aquellos formados en la coagulación química y contienen menos agua ligada.
- ✓ Alta efectividad en la remoción de un amplio rango de contaminantes.
- ✓ Purifica el agua y permite su reciclaje.
- ✓ El paso de la corriente eléctrica favorece el movimiento de las partículas de contaminante más pequeñas, incrementando la coagulación.
- ✓ Reduce la contaminación en los cuerpos de agua.
- ✓ El agua tratada por electrocoagulación contiene menor cantidad de sólidos disueltos que aquellas tratadas con productos químicos, situación que disminuye los costos de tratamiento de estos efluentes en el caso de ser reusados.
- ✓ Puede generar aguas potables, incoloras e inodoras.
- ✓ Los contaminantes son arrastrados por las burbujas a la superficie del agua tratada, donde pueden ser removidos con mayor facilidad (Restrepo et al., 2006).

b. Desventajas

- ✓ Es necesario reponer los electrodos de sacrificio.
- ✓ Los lodos contienen altas concentraciones de hierro y aluminio, dependiendo del material del electrodo de sacrificio utilizado.
- ✓ Puede ser un tratamiento costoso en regiones en las cuales el costo de la energía eléctrica sea alto.
- ✓ 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 (Restrepo et al. 2006)

2.2.14. Energía y desarrollo sostenible

En nuestro país y en todo el mundo se realizan importantes esfuerzos para incrementar la integración de las diferentes formas de energía renovable como parte de la generación de energía eléctrica, con el objetivo de satisfacer el constante aumento de las necesidades energéticas, disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y reducir las emisiones de CO2 a la atmósfera. Entre las energías renovables aprovechables para convertir en energía eléctrica se encuentran la hidráulica, geotérmica, oceánica, bioenergía, eólica y solar (Gonzales Castro et al. 2011)

2.2.14.1. Energía y los sistemas fotovoltaicos en el Perú

La energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio peruano. De acuerdo al Atlas solar peruano la gran mayoría de localidades del Perú, cuentan con disponibilidad de la energía solar bastante grande y uniforme durante todo el año, comparado con otros países, lo que hace atractivo su uso. En términos generales, se dispone, en promedio anual, de 4-5 kWh/m2 día en la costa y selva y de 5-6 kWh/m2 día, aumentando de norte a sur. Esto implica que la energía solar incidente en pocos metros cuadrados es, en principio, suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de una familia a un costo razonable mediante sistemas fotovoltaicos y térmicos (Cruz 2012)

A. Energía solar fotovoltaica.

Se denomina energía solar fotovoltaica a la energía radiante del sol que se transforma en energía eléctrica mediante el empleo de celdas fotovoltaicas; este método clasifica como una forma de aprovechamiento directo de la energía solar. El efecto fotovoltaico genera una fuerza electro motriz, en un dispositivo semiconductor, debida a la absorción de la radiación electromagnética al conectarse a un circuito eléctrico (Debrayan 2015)

B. Efecto fotovoltaico

De las tecnologías solares, la fotovoltaica es en la actualidad la que tiene el más rápido crecimiento a nivel mundial. Esta tecnología está basada en las celdas solares. Como se sabe, la forma más común de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia del fotovoltaje o del potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de ´ modo de producir trabajo útil (Estrada 2013)

C. Los paneles fotovoltaicos

Un panel Fotovoltaico es una placa rectangular, formada por un conjunto de células Fotovoltaico protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizados. La función principal de un panel Fotovoltaico es la de soportar mecánicamente a las células Fotovoltaico y de protegerlas de los efectos degradables de la intemperie. La vida útil de un panel Fotovoltaico puede llegar a los 30 años, aunque los fabricantes otorgan garantías de 20 años. El mantenimiento típico consiste de una limpieza del vidrio para prevenir que las células Fotovoltaicos no puedan capturar la radiación solar (Pilco y Jaramillo 2010)

2.2.14.2. La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica

En estos momentos claves cuando más requerimos del ahorro y de la austeridad en el consumo de combustible y la generación de energía eléctrica, deberíamos pensar en alternativas para optimizar los sistemas de alumbrados con técnicas de paneles solares, que además permiten obtener energía eléctrica para otros usos. La energía solar fotovoltaica (ESFV) constituye una fuente de energía renovable, la cual puede usarse en la generación de electricidad mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos (PSFV) que convierten la radiación solar en electricidad, haciéndola aplicables a múltiples actividades de la vida.

Así teniendo al sol como principal fuente de energía de nuestro planeta, que dicha energía se utiliza por la naturaleza en todos sus procesos, es lógico se apliquen soluciones con la colocación de los paneles solares constituidos por celdas fotovoltaicas, para de manera eficiente transformar la radiación solar en energía electricidad.

Los paneles solares se fabrican hoy en formato de módulos independientes grandes y pequeños, lo cual hace altamente aplicables su uso, según el caso sea en campos abiertos, azoteas o pequeños techos de industrias o edificios de oficinas incluso, y con un mantenimiento mínimo y poco exigente es además tecnología limpia no contamina, no emite humo, no emite CO2, no emite gases de efecto negativos (Arencibia 2016).

2.3. Definición de términos.

Contaminación: Es la presencia en el ambiente de una o más sustancias que perjudiquen o resulten nocivos a la vida y el bienestar humano, la flora, la fauna o que degrade la calidad del ambiente causando cambios indeseables en el ecosistema.

Cuerpo receptor: Es el recurso que recibe o al que se arrojan directa o indirectamente los residuos de cualquier actividad humana. Es decir, son los lagos, ríos, acequias, pozos, suelos, aire, etc.

Efluente: Liquido o agua residual previamente tratada proveniente de actividades antropogénicas que pueden ser vertidas a un recurso hídrico.

Muestra de agua: Es una o más porciones de un volumen de agua, colectadas en cuerpos receptores, descargas, efluentes o vertimientos industriales, redes de abastecimiento público, etc. Con el fin de determinar sus características físicas, químicas, físico químicas o biológicas.

Muestra simple o puntual: Es aquella muestra que representa la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó su colección. En tales circunstancias, un cuerpo de agua puede estar adecuadamente representado por muestras simples.

Paneles Fotovoltaicos: Un panel Fotovoltaico es una placa rectangular, formada por un conjunto de células Fotovoltaico protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizados.

Protocolo: Es un documento guía que contiene pautas, instrucciones, directivas y procedimientos establecidos para desarrollar una actividad específica.

Punto de monitoreo: Es la ubicación geográfica de un punto, donde se realiza la evaluación de la calidad y cantidad en un cuerpo natural de agua en forma periódica, en el marco de las actividades de vigilancia.

2.4. Hipótesis

Hipótesis General:

- La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración de los contaminantes del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.

Hipótesis Específica:

- La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración de Solidos Totales Suspendidos del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.
- La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración de Aceite y grasas (AG) del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.
- La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5) del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.
- La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración de Demanda Química de Oxígeno (DQO) del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.

- La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración de Coliformes Fecales del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.

2.5. Variables.

- **Variable Independiente (X):** Electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos (intensidad de corriente y tiempo).
- **Variable Dependiente (Y):** Remoción de contaminantes del efluente del Camal Municipal de Huancavelica.

2.6. Operacionalización de variables.

Tabla 2.

Matriz de Operacionalización de variables

Matriz de Operacionalización de Variables							
	Variables	**Definición Conceptual**	**Definición Operacional**	**Dimensión**	**Indicadores**	**Instrumento**	**Unidad de Medida**
Dependiente	Remoción de contaminantes del efluente del Camal Municipal de Huancavelica	. La concentración de los contaminantes del efluente del Camal Municipal de Huancavelica dependerá de las características físicas, químicas y microbiológicas presentes.	El proceso se realizará mediante la metodología de observación y análisis en el laboratorio por diferentes técnicas	Parámetros Físicos	Conductividad Eléctrica	Multiparámetro	uS/cm
					Temperatura		°C
				Parámetros Químicos	Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO_5)	Análisis en laboratorio certificado	mg/L
					Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Análisis en laboratorio certificado	mg/L
					Solidos Totales/Aceites y grasas		
					Potencial de Hidrógeno (pH)	Multiparámetro	Unidad de pH
				Parámetros Microbiológicos	Coliformes Fecales	Método de Número más Probable (NMP)	UFC/100ml
Independiente	Electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos(intensidad de corriente y tiempo)	Proceso de desestabilización de partículas contaminantes que se encuentran suspendidas, en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica generada por energía solar en el agua a través de placas metálicas de hierro y el aluminio.	Se usará una celda de vidrio, donde se colocarán los electrodos conectados a una fuente de energía externa	Factores eléctricos	Intensidad del corriente	Amperímetro	Amperios (A)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito temporal y espacial

3.1.1. Ámbito temporal

El proyecto inició en el mes de marzo del 2021, tuvo una duración de 10 meses, culminando en el mes de diciembre del 2021.

3.1.2. Ámbito espacial

Trabajo de campo

Las muestras de agua residual industrial fueron obtenidas del Camal Municipal de Huancavelica en las coordenadas UTM: 495934.78 m E y 8586037.05 m S a una altitud de 3710.00 m.s.n.m ubicado en el centro poblado de Chuñuranra, distrito, provincia y departamento de Huancavelica.

Trabajo de laboratorio (parte experimental)

La investigación se ejecutó en los ambientes del laboratorio central de la Universidad Nacional de Huancavelica en el área de Microbiología y Parasitología.

Figura 3

Vista satelital de la ubicación del Camal Municipal de Huancavelica

Fuente: Google Earth.

3.2. Tipo de investigación

Aplicada

Según (Gonzales Castro et al. 2011), la investigación Aplicada o Tecnológica, busca la aplicación sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de teorías. Esta investigación busca conocer para hacer y para actuar.

Por lo tanto, la presente investigación tiene un tipo de investigación Aplicada.

3.3. Nivel de investigación

Explicativa

Según (Gonzales Castro et al. 2011), la investigación Explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto.

Por lo tanto, la presente investigación tiene un nivel de investigación Explicativa, porque tiene como propósito analizar la efectividad de la técnica de electrocoagulación con paneles fotovoltaicos en la remoción de contaminantes del efluente del Camal Municipal de Huancavelica.

3.4. Métodos de investigación

Científico

Según (Tamayo Tamayo 2000), la ciencia tiene como cualidades el ser metódica, reflexiva, formal y crítica. Se vale del método científico para su progreso, el cual tiene la particularidad de usar técnicas específicas para cada área del conocimiento que son acordadas y reconocidas por cada comunidad científica para su uso.

El tipo de investigación del proyecto, es netamente experimental en tanto que la variable independiente incidió sobre la variable dependiente, hubo que reproducir artificialmente el fenómeno para conocer sus causas y consecuencias, por lo que requirió de la experimentación para comprobar la hipótesis, para ello se sometió la muestra problema (efluentes residuales) al proceso de electrocoagulación , en la que la variable independiente hipotéticamente fue una de las causas del cambio de las variables dependientes en este caso la remoción de los contaminantes.

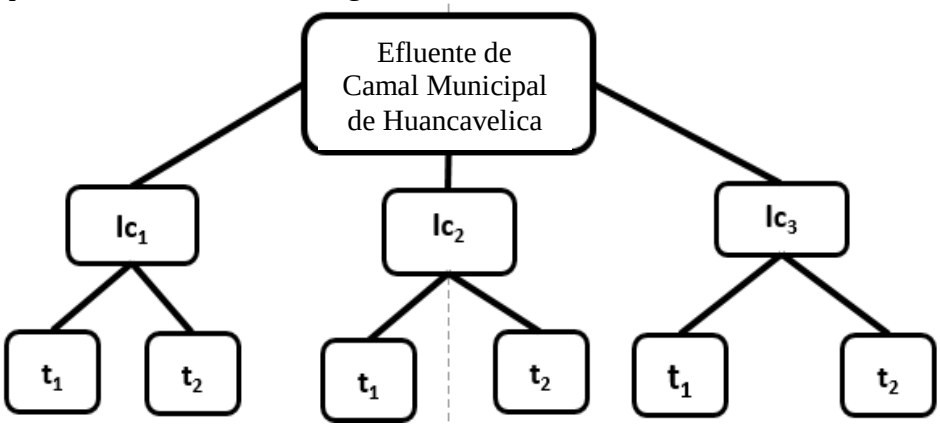
3.5. Diseño de investigación

Experimental

La presente investigación es de diseño experimental con enfoque cuantitativo, ya que se manipula la variable.

Figura 4

Esquema de diseño de investigación.



Fuente: Elaboración propia

Ic1: Intensidad de corriente (3A)

Ic2: Intensidad de corriente (4A)

Ic3: Intensidad de corriente (5A)

t1: Tiempo 30 minutos

t2: Tiempo 50 minutos

En el cual se trabajó con las intensidades de corriente (3A, 4A y 5 Amperios), con muestreos en dos tiempos de operación (30 y 50 minutos), evaluándose los parámetros de Sólidos Totales Suspendidos, Aceites y grasas, Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Coliformes Fecales, para determinar la eficiencia de la técnica de electrocoagulación. Asimismo, se midió también los siguientes parámetros: pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica como referencia para observar su comportamiento.

3.6. Población, muestra y muestreo

3.6.1. Población

Según Gonzales Castro et al.(2011), la población es el conjunto de objetos que comparten por lo menos una característica en común.

Para la investigación, la población fue el efluente del beneficio de animales del Camal Municipal de Huancavelica, lo cual presenta un caudal promedio de 19500 l/día.

3.6.2. Muestra

Según Gonzales Castro et al. (2011), la muestra es una parte pequeña de la población o un subconjunto de esta, que sin embargo posee las principales características de aquella. Esta es la principal propiedad de la muestra (poseer las principales características de la población) la que hace posible que el investigador que trabaja con la muestra, generalice sus resultados a la población.

Las muestras para el tratamiento por la técnica de electrocoagulación, fueron tomadas de caja de paso. Se requirieron 4.5 litros de muestra para cada tratamiento debido a las dimensiones de la celda de electrocoagulación a nivel de laboratorio en donde se realizó 6 tratamientos, por lo cual la muestra fue de 35 L.

3.6.3. Muestreo

Según (Hernadez Sampieri et al. 2010), la técnica de muestreo no probabilístico, es en donde el procedimiento no es mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo de investigadores.

Por lo tanto, esta investigación tiene la técnica de muestreo no probabilístico ya que se selecciona las muestras en base a un conocimiento y juicio profesional.

Esto debido a que el horario donde realizan las actividades donde generan mayor cantidad de aguas residuales en el camal municipal es desde las 8:00 am a 10:00 am.

3.7. Técnicas e Instrumentos para recolección de datos

3.7.1. Técnicas

Se usó la técnica de la observación que se realiza en la investigación experimental, mediante el uso del método experimental, consistió en examinar atentamente el efecto que produce la manipulación de la variable independiente (celda de electrocoagulación) sobre la variable dependiente (aguas residuales del camal municipal). Además, se examinan las características del comportamiento de los fenómenos y efectos de los indicadores de las variables (tiempo y intensidad de corriente eléctrica), en el experimento.

3.7.2. Instrumentos

- Ficha de registro de campo (Fuente: Laboratorio CERTIMIN)
- Cadena de Custodia (Fuente: Laboratorio CERTIMIN)

3.7.3. Técnicas para las pruebas experimentales

Con el fin de efectuar las pruebas experimentales necesarias para demostrar la hipótesis planteada se instaló el sistema completo para el proceso de electrocoagulación mediante paneles fotovoltaico en los ambientes del laboratorio central de la Universidad Nacional de Huancavelica en el área de Microbiología y Parasitología.

3.7.4. Materiales y metodología experimental

3.7.4.1. Diagnóstico del Camal Municipal de Huancavelica

Para la identificación del problema, se realizó la visita técnica al Camal Municipal de Huancavelica, esta visita técnica se realizó en 4 semanas en días intercalados, donde se hizo la observación y el diagnostico tanto a los alrededores como al interior del Camal Municipal de Huancavelica. De esta manera se elevó la información mediante la observación, en cuanto al efluente generado por el sacrificio de los animales (Volumen, Cantidad, los animales que son sacrificados, los días de mayor generación de efluente, la contaminación generada, ecosistemas afectados, entre otros datos).

Figura 5.

Inspección de campo para la evaluación del problema.

3.7.4.2. Equipos y materiales para el Sistema de Electrocoagulación a Nivel de Laboratorio

Para la adquisición de los equipos se realizó el viaje a la ciudad de Lima, buscando que los equipos sean de garantía, para la obtención de óptimos resultados.

Así también se menciona que algunos equipos y materiales fueron diseñados en base al estudio con fines de tratamiento para los resultados de la presente tesis.

A. 02 Paneles Solares 12V - 50 W

Descripción

Se adquirió 02 Paneles Fotovoltaicos Mono Cristalinos, estos se alimentan de la energía de la radiación solar y la convierten en electricidad. Y están formados por una multitud de celdas, también llamadas células fotovoltaicas, que son las que hacen posible esa transformación. Y la elección de este tipo de paneles fue por ser mencionada como la más ligeramente eficiente en comparación con otros tipos de paneles, y es recomendada en climas fríos con tendencias a tormentas o niebla, como es la ciudad de Huancavelica.

Figura 6.

Paneles solares mono cristalinos 12 V – 50W.

Figura 7.

Controlador de carga de 10 A – 25V.

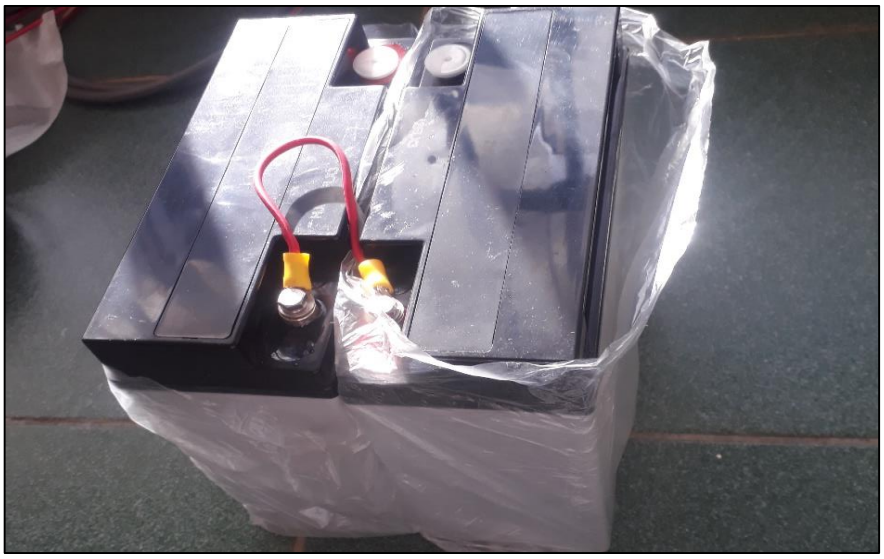
C. 02 Baterías 12V 18A

Descripción

Estas baterías nos permiten almacenar la energía generada por los paneles solares fotovoltaicos, para poder utilizarla en cualquier momento.

Figura 8.

Baterías de 12V – 18 A.



Estos tres equipos mencionados fueron adquiridos en conjunto para el correcto funcionamiento, ya que van conectados y deben coincidir en sus capacidades para el momento a realizar la instalación a escala laboratorio.

D. 01 Fuente Reguladora de Corriente de 10A – 26 V

Para el sistema de electrocoagulación se diseñó la fuente y se mandó a construir con una capacidad de 10A - 26V con la ayuda de un técnico en **TECNOLOGIA Y ELECTRICIDAD**, y fue la adecuada para el sistema ya que viene con cables para la conexión a las baterías, y este pueda funcionar con energía solar.

Figura 9.

Fuente reguladora de corriente de 10 A – 26V.

E. Pinzas Cocodrilo con Cables de Color Rojo y Negro

Cantidad: 10

Longitud: 50 cm de largo.

Descripción: Las pinzas de cocodrilo se usaron para crear la conexión eléctrica.

Figura 10.

Cables con pinzas cocodrilo color rojo y negro

3.7.4.3. Dimensionamiento, Cantidad y Adquisición de los Placas de Aluminio y Hierro

a. Dimensión de las placas metálicas (electrodos)

Se dispuso el uso electrodos de Aluminio y Hierro, por presentar buenos resultados en investigaciones anteriores; así mismo son de fácil acceso en el mercado local. Fueron diseñados y adquiridos como placas rectangulares de 11 cm de altura y 16 cm de ancho, con un espesor de 0.2 cm, en medida comercial.

El área de cada placa (Electrodo) se definió mediante la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Ar = L \times A}$$

Dónde:

L = Altura de la placa (cm)

A = Ancho de la placa (cm)

Entonces: Ar = 176 cm^2 (Área de la placa)

b. Cantidad de placas metálicas (Electrodos)

La cantidad de electrodos que se empleó, fue determinada según la metodología de ARANGO Y GARCÉS (2007), y está dado por la siguiente expresión:

$$\mathbf{Nº} = \frac{(\mathbf{ancho\ de\ celda}) - \mathbf{2x}(\mathbf{distancia\ electrodo\ a\ cara\ lateral})}{(\mathbf{distancia\ maxima\ entre\ electrodos} + \mathbf{espesor\ de\ placa})}$$

Se estableció una distancia de 2 cm desde las placas hasta las caras laterales, para permitir el flujo del agua residual durante la reacción. La distancia de placa a placa fue de 1.40 cm y se instalaron de forma paralela e intercalada. Estos dimensionados de acuerdo a la zona de reacción de la celda.

$$\mathbf{Nº\ de\ electrodos} = \frac{(\mathbf{200mm}) - \mathbf{2x}(\mathbf{20mm})}{(\mathbf{14mm} + \mathbf{2mm})}$$

$$\mathbf{Nº\ de\ electrodos} = \mathbf{10\ electrodos}.$$

Para el tratamiento del efluente de Camal Municipal de Huancavelica, se utilizaron un total de 10 placas metálicas como electrodos, 5 de Aluminio(Al) y 5 de Hierro(Fe), tomando al Aluminio como ánodo (electrodo de sacrificio) y el Hierro como cátodo, colocados de manera intercalada y paralela en la celda de electrocoagulación.

Figura 11.

Placas de aluminio y hierro de forma rectangular.

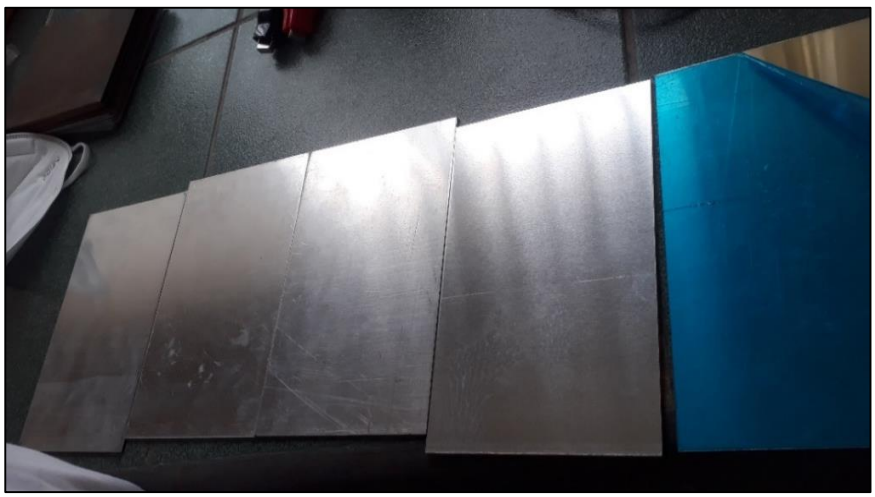


Figura 12.

Dimensión de las placas de aluminio y hierro.

3.7.4.4. Dimensionamiento y Construcción de Soportes de las Placas de Aluminio y Hierro.

Se elaboraron soportes de madera de tal manera que fueron separadas en distancias de 1.40 cm de placa a placa, para permitir de esta forma el flujo de agua residual industrial durante el proceso de electrocoagulación.

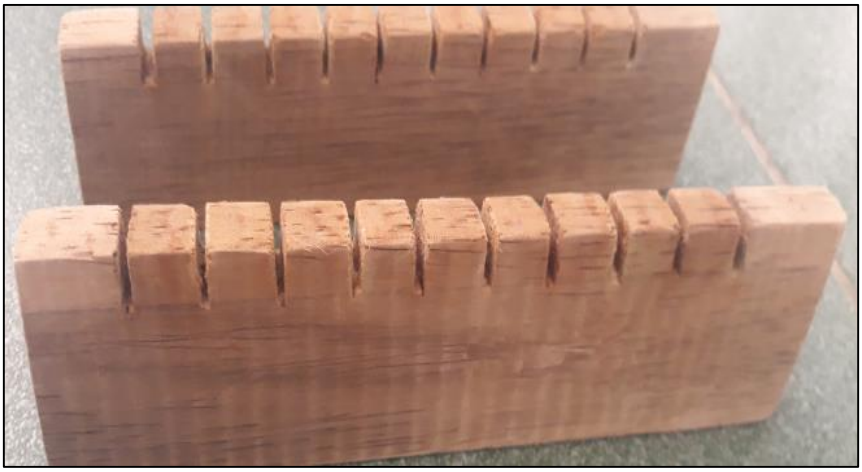
Antes de usar estos soportes, fueron lavados y limpiados para no alterar la remoción de la muestra.

Figura 13.

Construcción de soportes de madera para las placas (Al y Fe)

Figura 14.

Soportes de madera para las placas de aluminio y hierro.



3.7.4.5. Dimensionamiento y Construcción de los Soportes para los Paneles Fotovoltaicos.

Se hizo soportes de madera de acuerdo al dimensionamiento de los paneles, estos soportes contaron con un grado de inclinación para la captación de los rayos solares.

Figura 15.

Dimensionamiento de los paneles solares fotovoltaicos.

Figura 16.

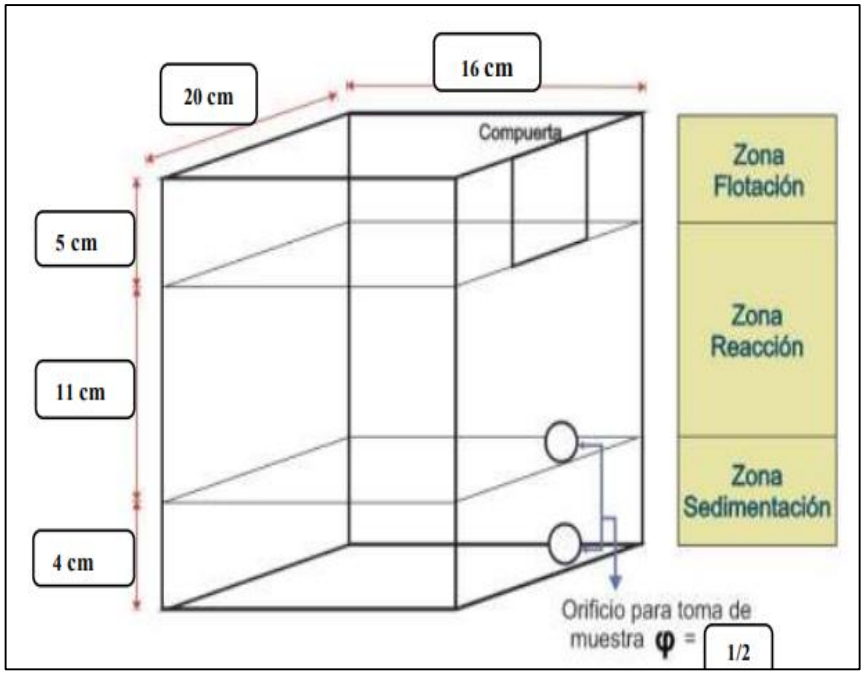
Soportes de madera para los paneles solares fotovoltaicos.

3.7.4.6. Diseño y construcción de la celda de electrocoagulación.

- Se hizo el diseño de la celda de electrocoagulación, esto consistió ver las dimensiones, el diámetro de los orificios, el material y su espesor.
- El material usado para la fabricación de la celda fue vidrio transparente de 6 mm de espesor, de tal manera que nos permitió apreciar con claridad las reacciones de los procesos físicos, químicos de agua que se presentó en el proceso de electrocoagulación.

Figura 17.

Dimensiones de la celda para el proceso de electrocoagulación.



- El dimensionamiento de la celda es basado en un sistema que opera como un reactor tipo Bach a escala laboratorio, diseñada para tratar 4.5L de agua residual (efluente del Camal Municipal de Huancavelica).

- La celda fue de forma de un paralelepípedo rectangular con las siguientes dimensiones interiores:

  Ancho = 20 cm

  Largo = 16 cm

  Altura = 20 cm

- Cuenta con 03 zonas principales, divididas de la siguiente manera:

  Zona de Flotación: Donde se acumulan los lodos productos de la flotación.

  Zona de reacción: Donde están sumergidos los electrodos y se produce el proceso de electrocoagulación.

  Zona de Sedimentación: Donde precipitan los lodos sedimentables.

- Adicionalmente, en los orificios de la celda se instaló dos llaves para tomar las muestras a ser analizadas y para la evacuación de los sedimentos, para esto se prefirió usar caños de plástico.

Figura 18.

Celda de electrocoagulación.

3.7.4.7. Procedimiento del montaje de la celda para el proceso de electrocoagulación.

- **Materiales de bioseguridad**
  - ✓ Guantes de látex desechables calidad, talla Smoll
  - ✓ Mascarillas KN 95
  - ✓ Cofia redonda de tela de Propileno
  - ✓ Alcohol de 96°
- **Materiales**
  - ✓ 05 Placas de Hierro
  - ✓ 05 Placas de Aluminio
  - ✓ 10 Cables con Pinzas Cocodrilo
  - ✓ 1 L Ron de quemar
  - ✓ Algodón

- **<u>Metodología</u>**
  - ✓ Los materiales antes de ser colocados en la celda fueron desinfectados.
  - ✓ Se colocó el soporte de madera dentada para los electrodos de Aluminio y Hierro al interior de la celda.
  - ✓ El acomodamiento de los electrodos en la celda se realizó de un modo que estos se encuentren separados en paralelo e intercalados con un espaciamiento de 1.40 cm entre las combinaciones de electrodos (Aluminio - Hierro).
  - ✓ Se instaló un circuito con 10 pinzas tipo cocodrilo, conectados a la Fuente Reguladora de Corriente de 10A – 26 V. El parámetro eléctrico que fue monitoreado fue la Intensidad de corriente eléctrica (A).

Figura 19.

Acomodamiento del soporte de madera dentada para los electrodos de aluminio y hierro.

Figura 20.

Acomodamiento de los electrodos de hierro y aluminio intercaladamente y en paralelo.

Figura 21.

Conexión de las pinzas cocodrilo a los electrodos de aluminio y hierro.

3.7.4.8. Procedimiento de instalación de equipos para el proceso de electrocoagulación

Equipos y materiales

- **Equipos**
  - ✓ 02 paneles solares fotovoltaicos mono cristalinos 12V – 50 W
  - ✓ 01 Controlador de carga 10 A – 25V
  - ✓ 02 Baterías 12V 18A
  - ✓ 01 Fuente reguladora de corriente de 10A – 26 V
- **Materiales**
  - ✓ Soporte de madera para los paneles solares mono cristalinos
- **Potencial Humano**
  - ✓ Apoyo de un técnico.
- **<u>Metodología</u>**
  - ✓ Los paneles solares mono cristalinos fueron conectados en paralelo. La conexión en paralelo hace que la corriente que posee cada panel solar dé como resultado una mayor corriente, es decir cada panel cuenta con 4A esto al realizar la conexión en paralelo, se tendría una salida de 8A por parte de los dos paneles solares, la corriente necesaria y suficiente para la capacidad de la fuente reguladora de corriente de 10A- 26V.

Figura 22.

Conexión en paralelo de los paneles solares mono cristalino.

- ✓ De igual manera junto con el apoyo técnico, se realizó la conexión del Controlador de carga 10 A – 25V a las dos baterías 12V 18A.
- ✓ Para finalizar la conexión de los equipos se conecta las pinzas de la fuente reguladora de corriente a las baterías.

Figura 23.

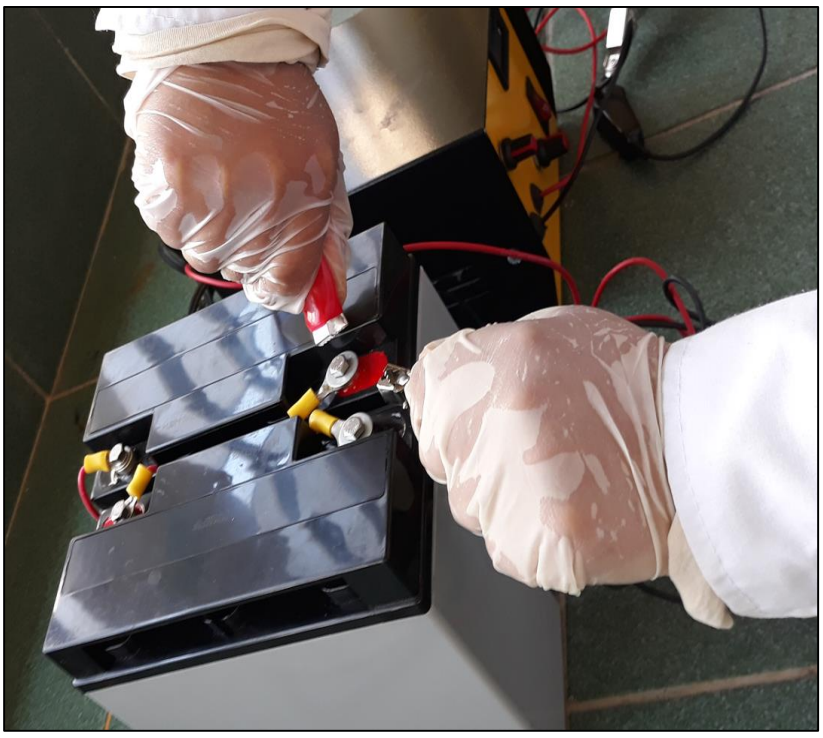
Conexión del controlador de carga a las baterías

Figura 24.

Instalación de los equipos para el proceso de electrocoagulación.

Figura 25.

Conexión de la fuente reguladora de corriente hacia las baterías.



- ✓ Se realizó la ubicación de los paneles solares mono cristalino, para la conexión al controlador de carga de 10A - 26V, para ello se escogió el lugar donde los rayos solares fueran captadas en el mayor tiempo posible del día.
- ✓ Para su instalación de los paneles se utilizó soportes de madera para la inclinación o mejor ángulo en la cual pueda captar los rayos de sol (para la generación de energía eléctrica).

Figura 26.

Ubicación de los soportes para los paneles solares mono cristalino.

Figura 27.

Ubicación de los paneles solares mono cristalino en soportes.

Figura 28.

Los paneles solares mono cristalinos ubicados en paralelo.

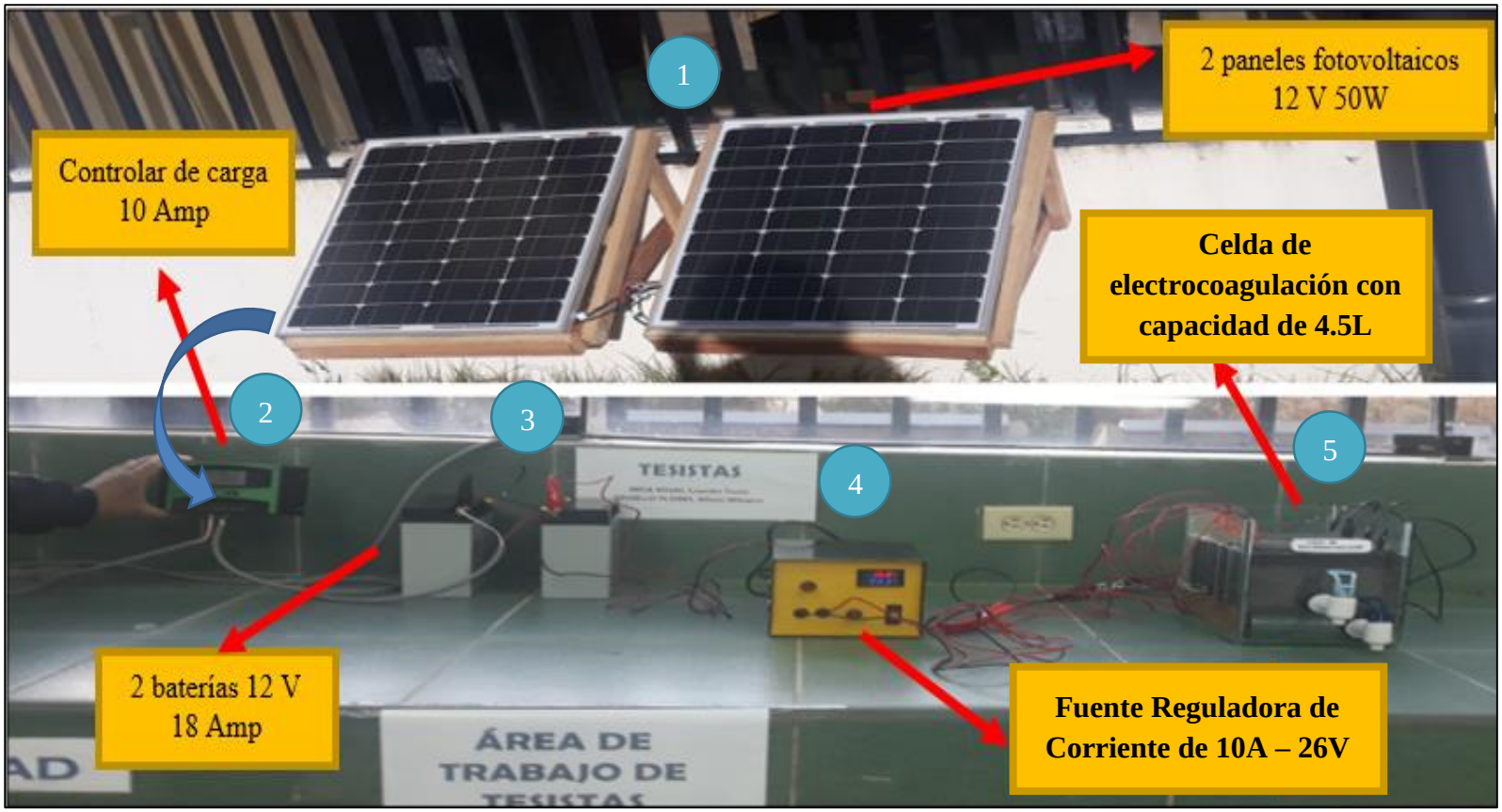
- ✓ Se realizó la conexión de los paneles al controlador de carga 10A - 25V, de este se conectó hacia las baterías y, por último, se realizó la conexión a la fuente reguladora de corriente, y de esta manera se culminó con la instalación de los equipos.

Figura 29.

Instalación de sistema de electrocoagulación a escala laboratorio.

Figura 30.

Vista del sistema del proceso de electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos.



Nota: 1, 2, 3, 4 y 5 = Orden en la cual se realiza el procedimiento desde la captación de energía hasta la celda de electrocoagulación.

3.7.4.9. Ensayos pre experimentales

Basado en estudios anteriores, el proceso de electrocoagulación depende de variables como la intensidad de corriente, pH, conductividad, tiempo de tratamiento, así como el material de los electrodos y espaciamiento entre las placas. Optimizar estas variables nos permite tener una mejor eficiencia en el tratamiento del agua residual, por lo cual se realizaron unas pruebas preliminares con agua de caño y agua del efluente de camal.

Ensayo preliminar con agua del caño

Una vez construida la celda de electrocoagulación se realizaron pruebas con agua de caño de la red pública para observar el comportamiento hidráulico de la celda, permitiendo revisar si se presentan fugas de agua al momento de llenar, así como verificar el buen funcionamiento del sistema completo.

Figura 31.

Ensayo con agua de caño

Otro aspecto muy importante es la buena transferencia de corriente de fuente reguladora de corriente a los electrodos de Aluminio y Hierro, esto se ve reflejado en la formación de burbujas de

hidrógeno, así como la aparición los hidróxidos de aluminio en el ánodo.

Figura 32.

Ensayo de transferencia de corriente

Figura 33.

Burbujas de hidrogeno (H_2)

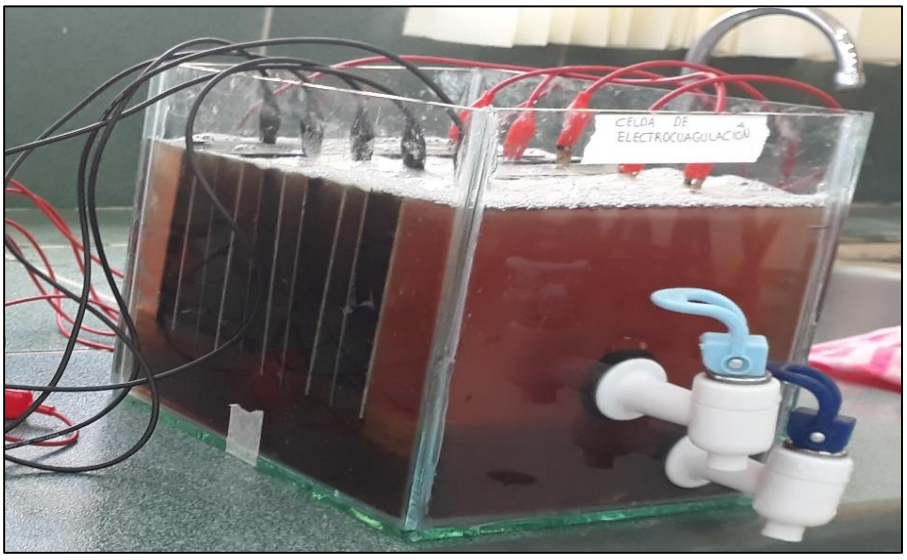
Ensayo preliminar con agua residual del efluente del Camal

Luego de realizar prueba para verificar y optimizar las mejores condiciones de funcionamiento de la celda de electrocoagulación, se hizo la prueba con agua proveniente del camal.

Inicialmente se tomó una muestra de 4 litros de agua proveniente de caja de paso y se vertió en la celda que cuenta con 5 electrodos de Aluminio y 5 electrodos de Hierro los cuales se conectaron con la fuente reguladora de corriente (por medio de cables con pinzas de cocodrilo). Se realizó el proceso de electrocoagulación con un tiempo de residencia de 25 min y 1.5A.

Figura 34.

Tratamiento a (I=1.5 Amperios y t= 25 minutos).



Al transcurrir los minutos se evidencia que hay reacción, pero el tiempo de esta no es el suficiente, se observó poca generación de espuma y no hay cambio de color notable. Indica que es necesario aumentar el tiempo y el amperaje para que se remueva los contaminantes del agua, por esta razón se realiza el proceso con un tiempo de residencia de 50 min y 3A.

Figura 35.

Generación de espuma.

Al transcurrir el tiempo de proceso se evidencia formación de espuma, hay un cambio de color notable, sin embargo, el agua continua con un color oscuro lo que indica que para obtener mejores resultados es necesario realizar la experimentación con tiempo y amperaje mayores a este.

Figura 36.

Resultados de las pruebas preliminares.

Se realizó varias combinaciones posibles de intensidad de corriente y tiempo así permitiéndonos identificar que combinación es que tiene mejor eficiencia en remoción de contaminantes.

Concluyendo que en base a los ensayos pre experimentales obtenidos y así observándose mejor resultado con la mayor corriente utilizada que fue de 3A, se optó por usar este como la intensidad de corriente de inicio y un intervalo de 1A, así se consideró 3A, 4A y 5A en un tiempo de 30 y 50min cada amperaje.

Figura 37.

Resultados de tratamientos de 3A, 4A y 5A, en tiempo de 30 y 50min cada amperaje.

3.7.4.10. Toma de Muestra

La muestra recolectada para la parte experimental a realizar en el laboratorio, fue del efluente del Camal Municipal de Huancavelica.

- **Materiales de Bioseguridad**
  - ✓ Guantes de látex desechables calidad, talla smoll
  - ✓ Mascarillas KN 95
  - ✓ Cofia redonda de tela de propileno
  - ✓ Alcohol de 96°

- **Materiales para toma de muestra**
  - ✓ Envases de polietileno y vidrio ámbar.
  - ✓ Preservante HCl (1:1)
  - ✓ Cooler
  - ✓ Refrigerante – ICE PACK
  - ✓ Cadena de Custodia
  - ✓ Hoja de Campo
  - ✓ Etiquetas para los envases.
  - ✓ Hilo pabilo
- **Equipos**
  - ✓ Multiparámetro HACH
  - ✓ GPS
- **<u>Metodología</u>**
  - ✓ Para la toma de muestra se eligió el día de la semana donde hay mayor sacrificio de animales.
  - ✓ EL punto escogido para la toma de muestras fue caja de paso del Camal Municipal de Huancavelica.
  - ✓ Se colocó el GPS en el punto de muestreo para la ubicación de coordenadas geográficas.
  - ✓ Se realizó el muestreo con la ayuda de recipientes de plástico, que se enjuago 3 veces con el agua a muestrear para la homogenización de los recipientes.

Figura 38.

Recolección de muestra de caja de paso del Camal Municipal de Huancavelica.

- ✓ Se recolectó 35 L (de los cuales 5L fueron preservados, envasados, rotulados, etiquetados y enviados para su análisis al laboratorio CERTIMIN acreditado por INACAL a Lima para su respectivo análisis de caracterización) y los restantes se trasladaron al laboratorio Central de la Universidad Nacional de Huancavelica al área de Microbiología y Parasitología para su respectivo tratamiento por la técnica de electrocoagulación y posteriormente enviados al laboratorio para su respectivo análisis.

Figura 39.

Recolección de 30l de muestra del efluente del Camal Municipal De Huancavelica.

✓ Durante la toma de muestra, se midió el pH, Temperatura y Conductividad Eléctrica como parámetros de campo, y estos fueron anotados en la hoja de campo y en la cadena de custodia.

Figura 40.

Análisis del pH, temperatura y conductividad eléctrica.

3.7.4.11. Procedimiento experimental para el proceso de electrocoagulación

Materiales

- ✓ Guantes de látex desechables calidad, talla smoll
- ✓ Mascarillas KN 95
- ✓ Cofia redonda de tela de propileno
- ✓ Alcohol de 96°
- ✓ Papel Kraf
- ✓ Ron de quemar
- ✓ Algodón
- ✓ Hilo pabilo

Metodología

- ✓ Se tiene en cuenta el diseño experimental para 06 tratamientos.
- ✓ Se vierte 4.5L de agua residual (efluente) a la celda de electrocoagulación y se enciende el sistema de generación eléctrica para realizar el proceso de electrocoagulación, a las condiciones establecidas en el diseño experimental.

Figura 41.

Incorporación de 4.5L de muestra de agua a la celda de vidrio.

- ✓ Una vez terminado el tiempo establecido para la electrocoagulación, se procedió al apagado del equipo.
- ✓ Luego se pasó a retirar los electrodos con los que se trabajó, y seguidamente se retiran las espumas que se generaron en la superficie.
- ✓ Una vez retirada la capa de espuma se dejó reposar hasta que los sólidos suspendidos se sedimenten.
- ✓ Se repitió este procedimiento para intensidades de 3A, 4A y 5 Amperios en un tiempo de 30 y 50 minutos cada intensidad, para ver el efecto que tiene esta técnica de electrocoagulación como reductor de contaminantes del efluente del Camal Municipal de Huancavelica.

Figura 42.

Tratamiento con intensidad y corriente de I=3 Amperios y t= 30 minutos.

Figura 43.

Tratamiento con intensidad y corriente de I=3 Amperios y t= 50 minutos.

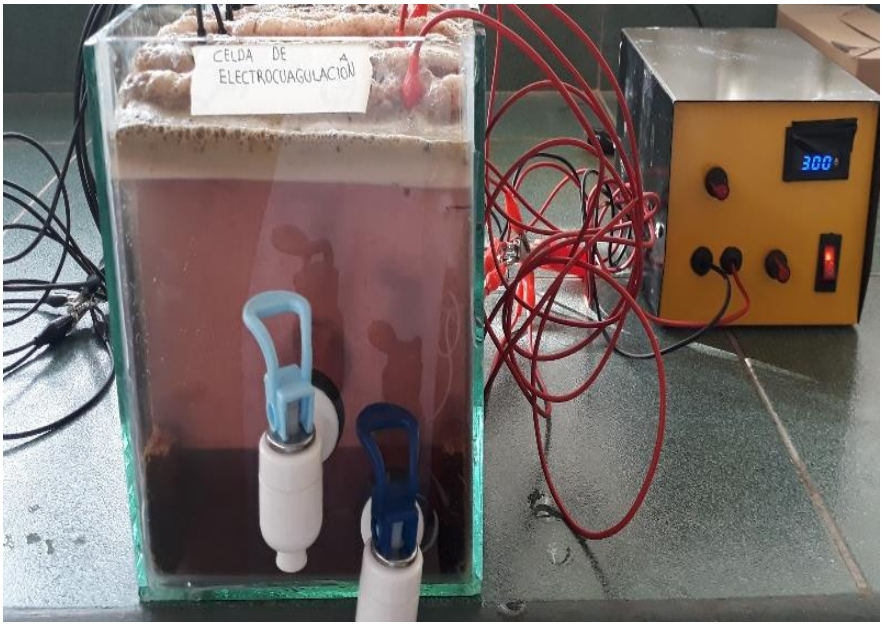


Figura 44.

Tratamiento con intensidad y corriente de I=4 Amperios y t= 30 minutos.

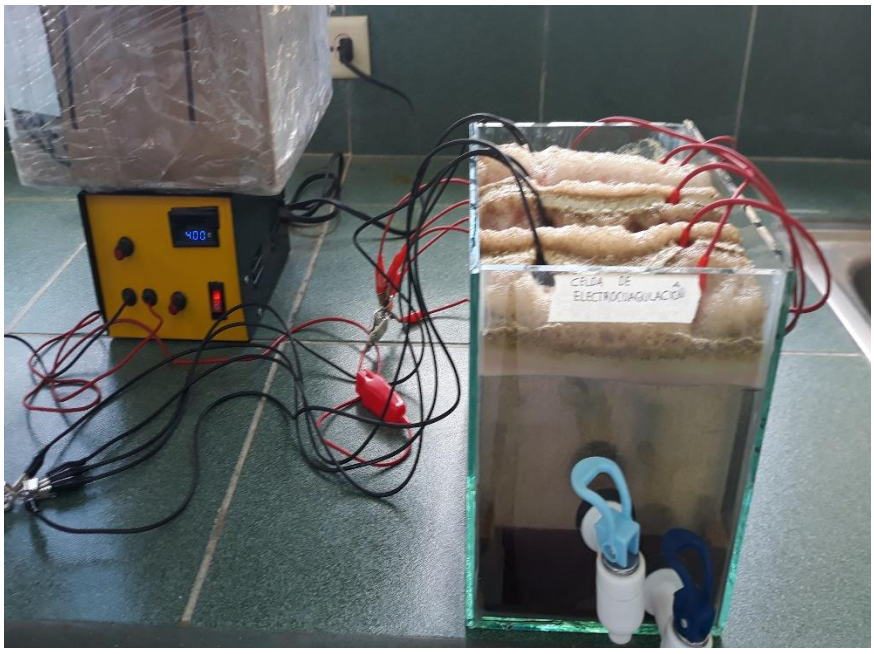


Figura 45.

Tratamiento con intensidad y corriente de I=4 Amperios y t= 50 minutos.

Figura 46.

Tratamiento con intensidad y corriente de I=5 Amperios y t= 30 minuto).

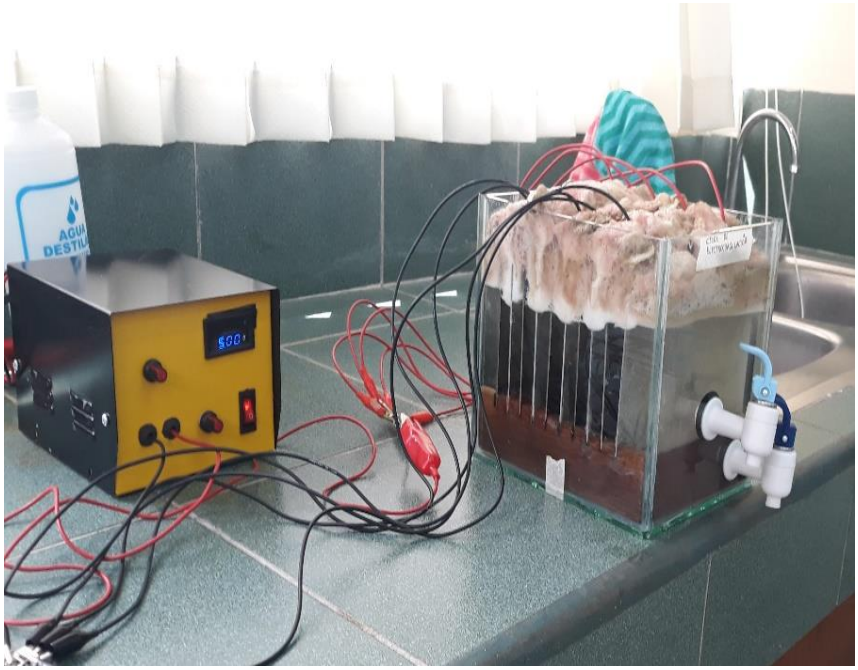
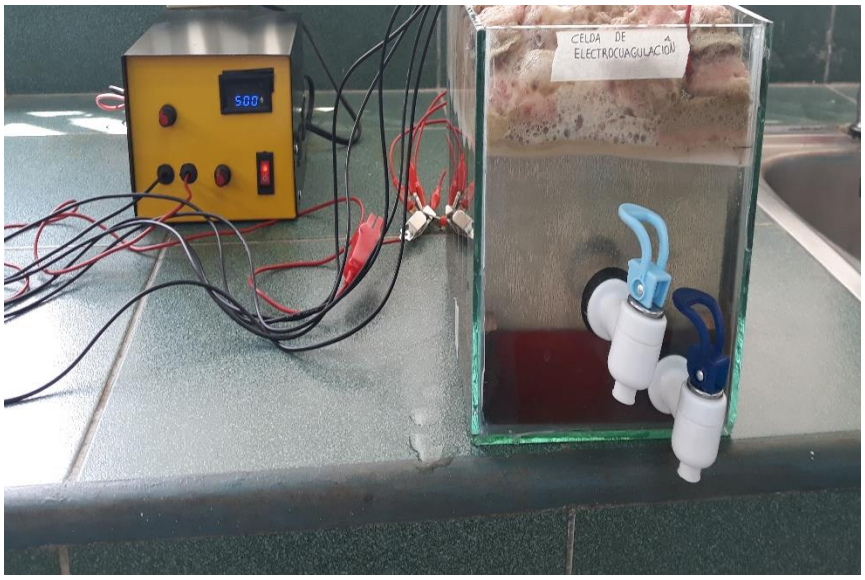


Figura 47.

Tratamiento con intensidad y corriente de I=5 Amperios y t= 50 minutos.



- ✓ Y por último se tomaron muestras de cada tratamiento del agua electrocoagulada para realizar sus respectivos análisis, sin antes midiendo el pH, la Temperatura (C^{o}) y la Conductividad Eléctrica (CE) y estas muestras fueron envasadas en los recipientes correspondientes y enviados al laboratorio de CERTIMIN acreditado por INACAL.
- ✓ Los parámetros enviados a ser analizados en el laboratorio Certificado por el Inacal **"CERTIMIN"** fueron los siguientes:
- Solidos Totales Suspendidos(STS)
- Aceites y grasas
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- ✓ El parámetro analizado en el laboratorio Central de la Universidad Nacional de Huancavelica al área de Microbiología y Parasitología fue lo siguiente:
- Coliformes Fecales

Figura 48.

Análisis del pH, temperatura (Cº) y conductividad eléctrica (C.E.) con el multiparàmetro.

Figura 49.

Muestras preservadas, envasados, etiquetados y rotulados para su envió.

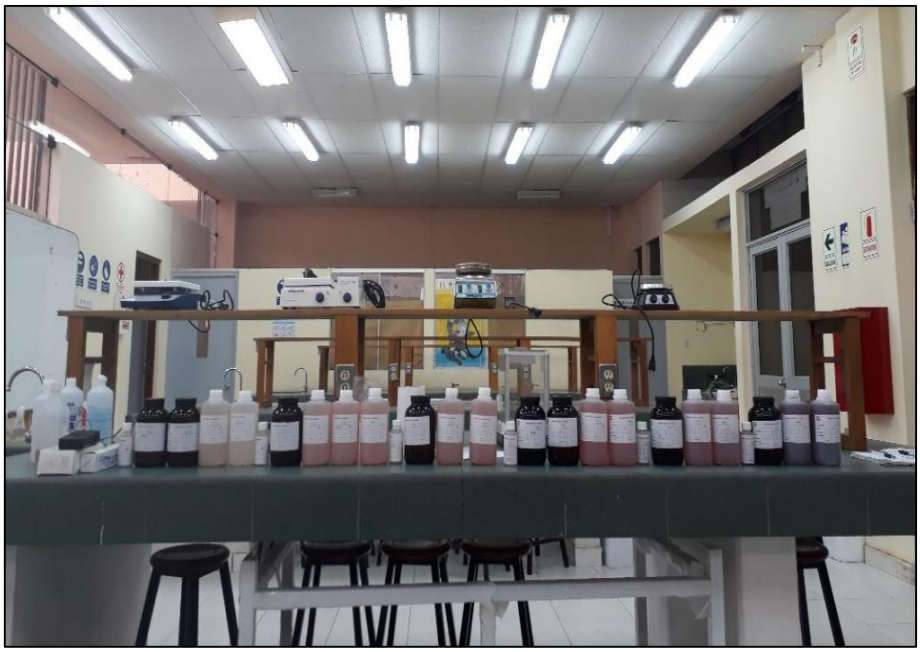


Figura 50.

Llenado de la cadena de custodia para él envió al laboratorio CERTIMIN.

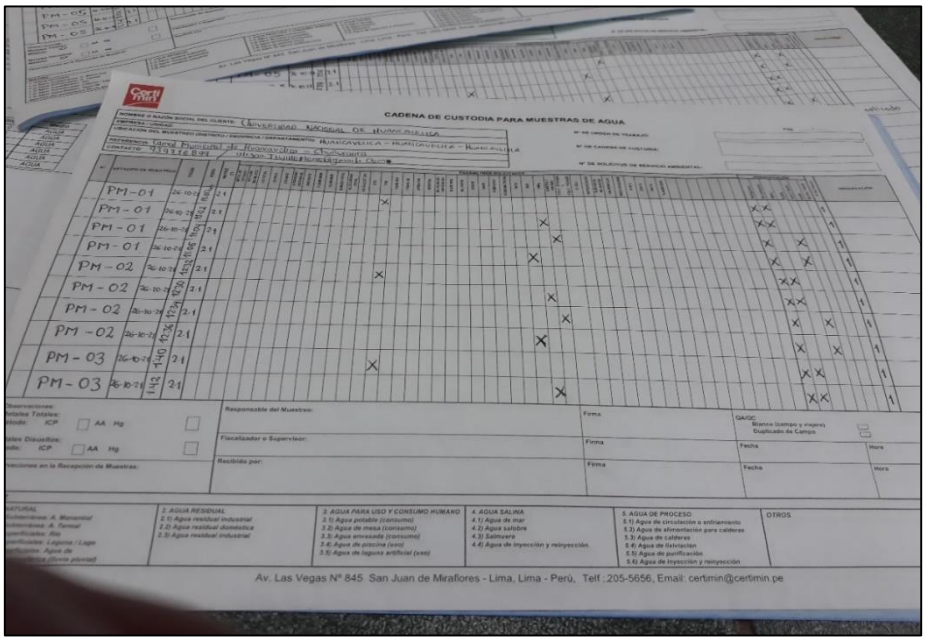


Figura 51.

Empaquetado y envió de los Cooler al laboratorio CERTIMIN.

3.7.4.12. Análisis microbiológico de las muestras (Coliformes Fecales)

Materiales

- ✓ Placas Petri
- ✓ Tubos de ensayo
- ✓ Pipetas
- ✓ Matraz Erlenmeyer
- ✓ Pipetas
- ✓ Pizeta
- ✓ Campanas Durham

Insumos

- ✓ Caldo brilla (Verde brillante)

Equipos

- ✓ Incubadora
- ✓ Autoclave
- ✓ Horno para esterilización

Procedimiento

- ✓ Se esteriliza los materiales a usar como son los tubos de ensayo, matraz Erlenmeyer, pipetas, campanas de Durham etc. En el equipo de horno de esterilización a calor seco.
- ✓ Se formula y se pesa 40 gr de caldo verde brillante para disolver en 1 litro de agua destilada.
- ✓ Se disuelve 40 gr de caldo verde brillante en 1 litro de agua destilada llevando a ebullición hasta que desaparezca los grumos.
- ✓ Se vierte 9 ml de caldo verde brillante en los tubos de ensayo, añadida a eso una campana de Durham invertida (pequeños tubos de vidrio) completamente estériles.
- ✓ Y llevamos a esterilizar en autoclave por 15 minutos a 121 °C.
- ✓ Una vez sacado de la autoclave se deja enfriar moderadamente por unos minutos. Y se procede preparar las diluciones correspondientes.

- ✓ A partir de las diluciones preparadas se tomó con una pipeta estéril 1 ml de cada dilución y se agregó por triplicado en los tubos que contienen 9 ml de caldo verde brillante.
- ✓ Luego se lleva los tubos al equipo de INCUBADORA a incubación por 24 horas a 37 °C.
- ✓ Pasado ese tiempo se anota los tubos que presentaron producción de gas, y se reincuva los tubos que no presentan producción de gas otras 24 horas a 45 °C para asegurarse.
- ✓ Y por último los tubos que hayan presentado producción de gas en las primeras 24 horas y en la adicionales se consideran para la determinación del número más probable de coliformes fecales.
- ✓ Se lee los resultados y se anota para cada serie de tubos el número de los considerados positivos y se va a la tabla de NMP.

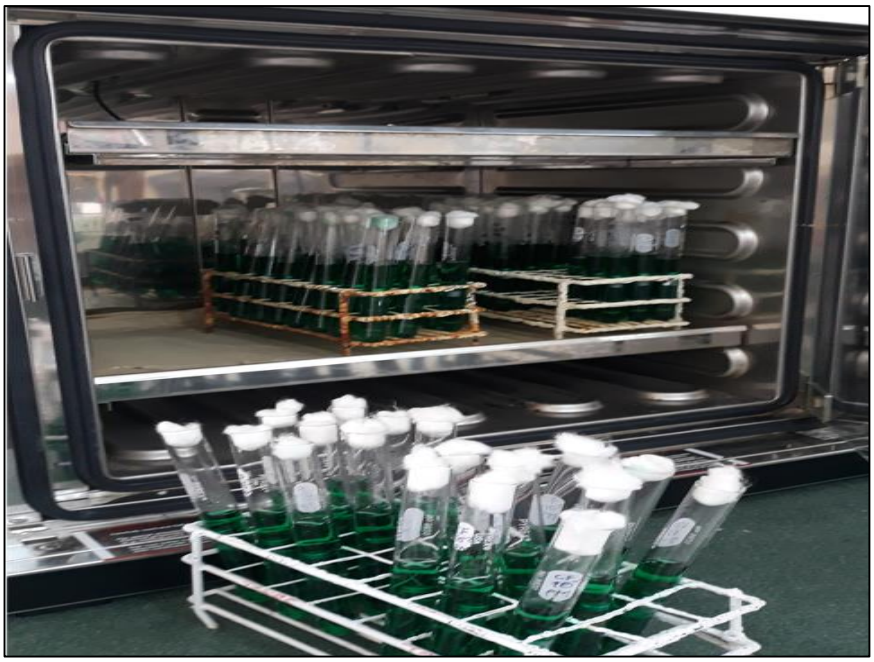
Tabla 3

Tabla de Numero Más Probable (NMP) tubos por dilución.

Número de tubos positivos en Cada nivel de dilución				limites de confianza			
Dilución 10^{-1}	Dilución 10^{-2}	Dilución 10^{-3}	NMP Por gr.	99%		95%	
0	1	0	3	1	23	1	17
1	0	0	4	1	28	1	21
1	0	1	7	1	35	2	27
1	1	0	7	1	36	2	28
1	2	0	11	2	44	4	35
2	0	0	9	1	50	2	38
2	0	1	14	3	62	5	48
2	1	0	15	3	65	5	50
2	1	1	20	5	77	8	61
2	2	0	21	5	80	8	63
3	0	0	23	4	177	7	129
3	0	1	40	10	230	10	180
3	1	0	40	10	290	20	210
3	1	1	70	20	370	20	280
3	2	0	90	20	520	30	290
3	2	1	150	30	660	50	510
3	2	2	210	50	820	80	640
3	3	0	200	<100	1900	100	1400
3	3	1	500	100	3200	200	2400
3	3	2	> 1100	200	6400	300	4300

Figura 52.

Tubos con diluciones incubados por 24 horas a 37 °C.



3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

La información resultante de los análisis físico-químicos y microbiológico se procesó en hojas de cálculos tales como Microsoft Excel 2016, de manera que el procesamiento de la información resulto lo más sencillo posible y quede disponible para los requerimientos del presente trabajo.

Se realizó el análisis de prueba de normalidad de datos con el test estadístico de Shapiro -Wilk.

Se utilizó el programa estadístico SAS (Statistical Analisys System), versión 9.4 para la contrastación de hipótesis propuesta en la presente investigación.

La prueba de hipótesis se efectuó mediante el análisis paramétrico prueba de ANOVA y prueba de rango de medias Tuckey.

CAPITULO IV

DISCUSIÒN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de información

Se presentan los resultados obtenidos de las mediciones de los parámetros de pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Solidos Totales Suspendidos (STS), Aceite y grasas(AG), Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Coliformes Fecales de la caracterización del efluente y después de la aplicación de la técnica de electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos a nivel de laboratorio del efluente del Camal Municipal de Huancavelica.

La ejecución experimental fue de 90 días calendarios en el cual se ejecutó entre los meses de agosto a noviembre del año 2021.

En el proceso de electrocoagulación se trabajó con 3 intensidades de corriente (3A, 4A y 5 Amperios), con dos tiempos de operación cada intensidad (30 y 50 minutos), evaluándose los parámetros ya mencionados. A continuación, se presentan los resultados en función a los objetivos de esta investigación.

4.1.1. Caracterización fisicoquímico y microbiológico de la muestra del efluente del Camal Municipal de Huancavelica.

Tabla 4

Resultado de la caracterización fisicoquímica y microbiológico del agua residual industrial del efluente del Camal Municipal de Huancavelica.

Fecha de monitoreo: 27/10/21		
		Valores
Parámetros	**Unidad**	**Muestra M-01**
*Unidad de pH	unidad	6,45
*Temperatura	°C	9,90
*Conductividad eléctrica	us/cm	1117
-Solidos totales suspendidos	mg/L	471
-Aceite y grasas	mg/L	30,69
-Demanda bioquímica de oxigeno(DBO_5)	mg/L	821,1
-Demanda química de oxigeno (DQO)	mg/L	1209
*Coliformes fecales	NMP/ml*100	1100

Nota: [-]Analizados por el laboratorio CERTIMIN certificado por INACAL [*]Analizados en el laboratorio de UNH

En la Tabla 4, se muestran los resultados de la caracterización del efluente mostrando los parámetros de DBO_5, DQO, STS y Aceites y grasas emitidos por el laboratorio CERTIMIN S.A; así como los parámetros de pH, Temperatura, Conductividad eléctrica y Coliformes fecales analizados en el laboratorio central de la Universidad Nacional de Huancavelica en el área de Microbiología y Parasitología. Los cuales indican su contaminación del agua industrial, que se vierte a consecuencia del faenado de beneficio de ovinos y vacunos en el camal.

El efluente presento a simple vista un color rojo proveniente de la sangre, con una DBO5 de 821,1 mg/L evidenciando su alto grado de contaminación, y así también con altas concentraciones de sólidos totales suspendidos de 471 mg/L, un DQO de 1209 mg/L, Aceite y grasas con 30,69 mg/L y Coliformes fecales con 1100 NMP/ml*100. Con respecto al pH, temperatura y

Conductividad eléctrica que son variables que influyen en el proceso de electrocoagulación están en valores normales, el pH con un valor de 6,45, la Temperatura con un valor de 9,90 °C y la Conductividad eléctrica con un valor de 1117 us/cm, que son aceptables para el proceso de electrocoagulación.

4.1.2. Resultados obtenidos por parámetro de cada tratamiento realizado.

Parámetros Evaluados

A) Potencial de hidrógeno (pH)

Tabla 5.

Resultados experimentales del pH de las muestras de agua residual industrial del efluente del Camal Municipal de Huancavelica por cada tratamiento aplicado.

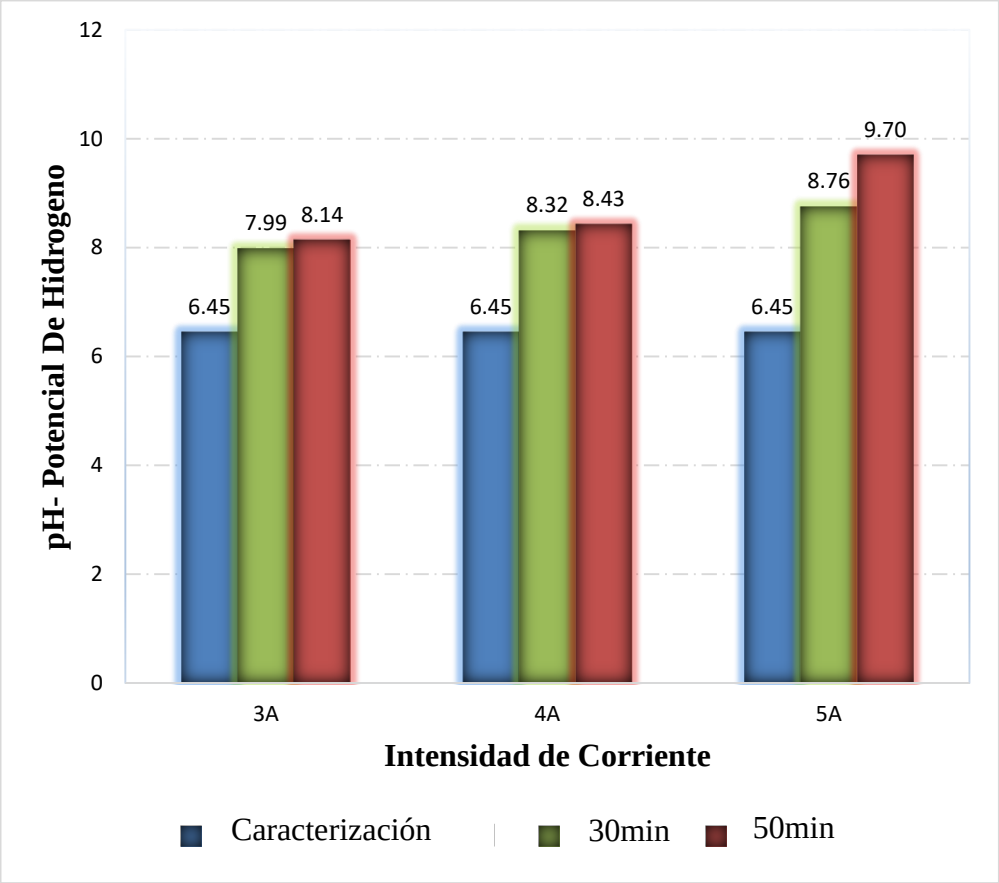
Fecha de monitoreo: 27/10/21			
Muestra	**Intensidad**	**Tiempo**	**Valores***
(Tratamiento)	(Amperios)	(Minutos)	Unidad de pH
M-02	3	30	7.99
M-03		50	8.14
M-04	4	30	8.32
M-05		50	8.43
M-06	5	30	8.76
M -07		50	9.70

Fuente: Analizados en el laboratorio de UNH

Nota: [M-02] Muestra de I=3A-30min.**, [M-03]:** Muestra de I=3A-50min.**, [M-04]:** Muestra con I=4A-30min.**, [M-05]:** Muestra de I=4A-50min.**, [M-06]:** Muestra de I=5A- 30min**, [M-07]:** Muestra con I=5A-50min.

Figura 53.

Resultado del parámetro pH indicando el ingreso (caracterización) y salida (tratamientos).



En la tabla N° 5 y Figura 53 se muestran los resultados experimentales del pH analizado de cada uno de los tratamientos aplicados en el proceso de electrocoagulación realizados al agua industrial del efluente del camal municipal de Huancavelica. En donde se trabajó con 3 intensidades de corriente de 3A, 4A y 5 Amperios en dos tiempos de operación cada intensidad de 30 y 50 minutos, así obteniendo 6 tratamientos en total. Se puede apreciar que a medida que se aumenta el amperaje como también el tiempo, incrementa el pH ya que presentaron una variación de **7,99** a **9,70**. Antes de iniciar los tratamientos la muestra del efluente reporto un pH de **6,45** por tanto se ve que después de los tratamientos de electrocoagulación hay un incremento de pH esto se debe al efecto atribuido a la generación de hidrógeno molecular que se origina

en el cátodo. El pH influye sobre la eficiencia del proceso. puesto que depende del tipo de material utilizado para dicho proceso (electrodos). Según (Restrepo et al. 2006) las mejores remociones se obtienen en valores de pH cercanos a 7, a pesar de que el valor de pH fue mayor a la teoría de Restrepo et al. 2006, el tratamiento que realizamos funcionó adecuadamente en valores de **7,99 - 9,70**.

B) Temperatura (C°)

Tabla 6.

Resultados experimentales de Temperatura.

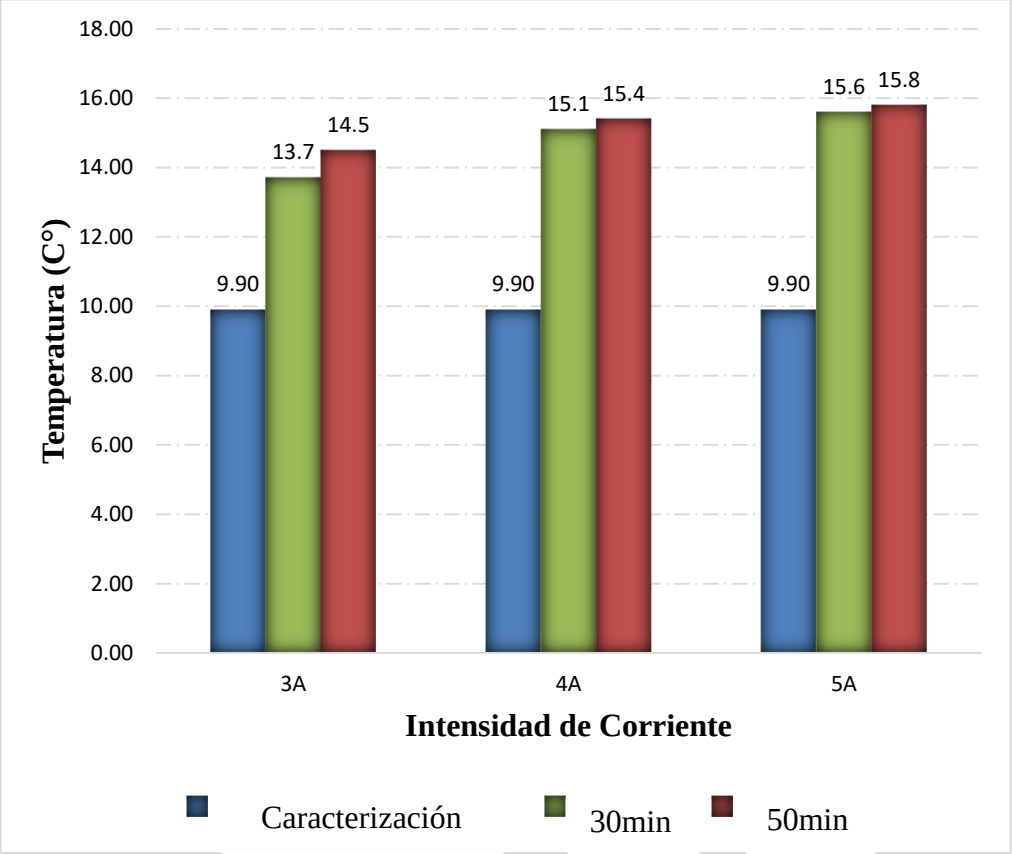
Fecha de monitoreo: 27/10/21			
Muestra	**Intensidad**	**Tiempo**	***Valores**
(Tratamiento)	(Amperios)	(Minutos)	°C
M-02	3	30	13.7
M-03		50	14.5
M-04	4	30	15.1
M-05		50	15.4
M-06	5	30	15.6
M -07		50	15.8

Fuente: Analizados en el laboratorio de UNH

Nota: [M-02] Muestra de I=3A-30min.**, [M-03]:** Muestra de I=3A-50min.**, [M-04]:** Muestra con I=4A-30min.**, [M-05]:** Muestra de I=4A-50min.**, [M-06]:** Muestra de I=5A-30min**, [M-07]:** Muestra con I=5A-50min.

Figura 54.

Resultado de la Temperatura (C°) indicando el ingreso (caracterización) y salida (tratamientos).



En la tabla N° 6 y Figura 54 muestran los resultados experimentales de la Temperatura analizado de cada uno de los tratamientos aplicados en el proceso de electrocoagulación realizados al agua industrial del efluente del camal municipal de Huancavelica. En donde se trabajó con 3 intensidades de corriente de 3A, 4A y 5 Amperios en dos tiempos de operación cada intensidad de 30 y 50 minutos, así obteniendo 6 tratamientos en total. Se puede apreciar que a medida que se aumenta el amperaje como también el tiempo, incrementa la temperatura ya que presentaron una variación de **13.7 °C** a **15,8** °C. Antes de iniciar los tratamientos la muestra del efluente reporto una temperatura de **9,90 °C.** Por tanto, se ve que después de los tratamientos de electrocoagulación hay un incremento de temperatura esto se debe al incremento en la actividad de

destrucción de la película de óxido de aluminio de la superficie del electrodo (Restrepo et al. 2006).

C) Conductividad Eléctrica (C.E.)

Tabla 7.

Resultados experimentales de la conductividad eléctrica.

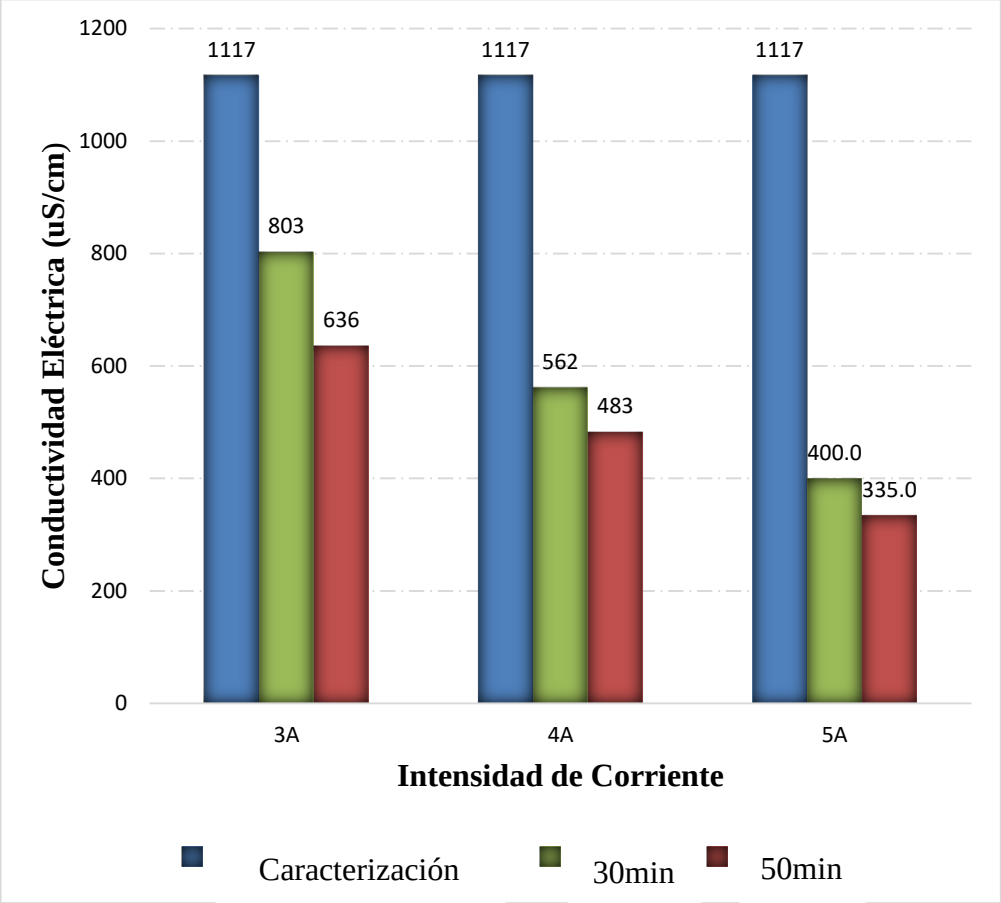
Fecha de monitoreo: 27/10/21			
Muestra	**Intensidad**	**Tiempo**	**Valores**
(Tratamiento)	(Amperios)	(Minutos)	us/cm
M-02	3	30	803
M-03		50	636
M-04	4	30	562
M-05		50	483
M-06	5	30	400
M -07		50	335

Fuente: Analizados en el laboratorio de UNH

Nota: [M-02] Muestra de I=3A-30min.**, [M-03]:** Muestra de I=3A-50min.**, [M-04]:** Muestra con I=4A-30min.**, [M-05]:** Muestra de I=4A-50min.**, [M-06]:** Muestra de I=5A- 30min**, [M-07]:** Muestra con I=5A-50min.

Figura 55.

Resultado de la conductividad eléctrica (uS/cm) indicando el ingreso (caracterización) y salida (tratamientos).



En la tabla N° 7 y Figura 55 se muestran los resultados experimentales de la Conductividad eléctrica analizado de cada uno de los tratamientos aplicados en el proceso de electrocoagulación realizados al agua industrial del efluente del camal municipal de Huancavelica. En donde se trabajó con 3 intensidades de corriente de 3A, 4A y 5 Amperios en dos tiempos de operación cada intensidad de 30 y 50 minutos, así obteniendo 6 tratamientos en total. Se puede apreciar que a medida que se aumenta el amperaje como también el tiempo, disminuye la conductividad ya que presenta un valor máximo de 803 us/cm y un valor mínimo de 335 us/cm.

D) Solidos Totales Suspendidos

Tabla 8.

Resultados experimentales de solidos totales suspendidos.

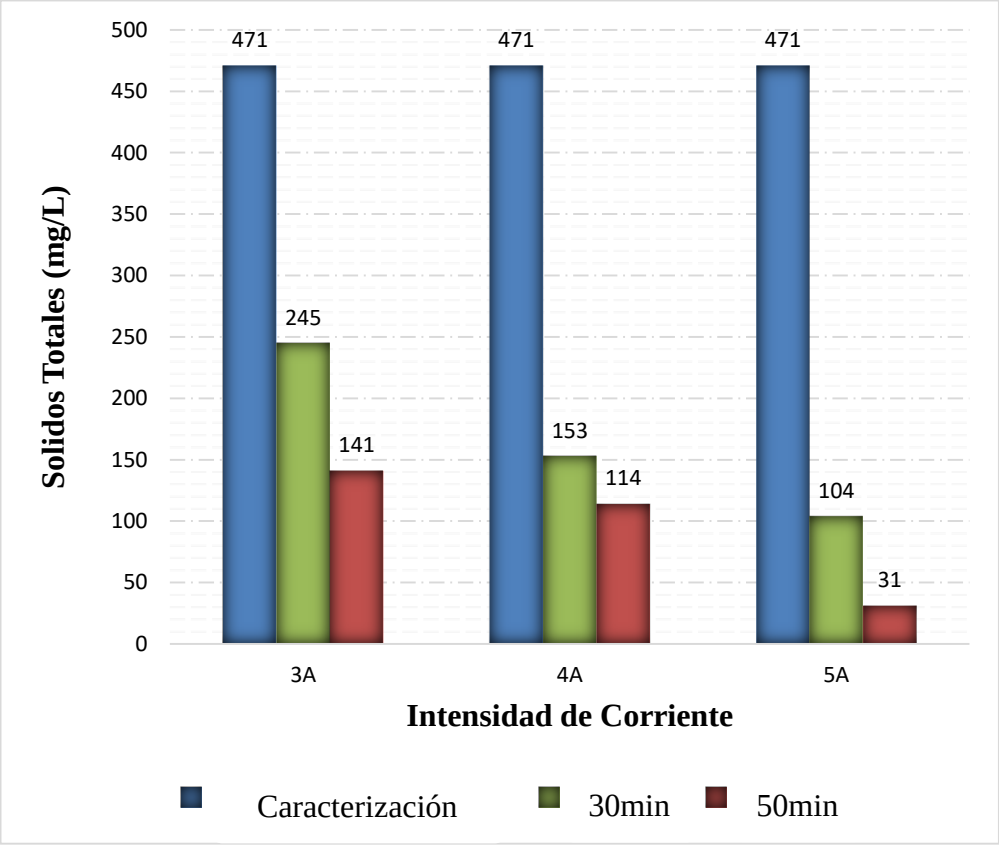
Fecha de monitoreo: 27/10/21			
Fecha de resultados: 04/11/21			
Muestra	**Intensidad**	**Tiempo**	**Valores***
(Tratamiento)	(Amperios)	(Minutos)	mg/L
M-02	3	30	245.00
M-03		50	141.00
M-04	4	30	153.00
M-05		50	114.00
M-06	5	30	104.00
M-07		50	31.00

Fuente: Analizados en el laboratorio CERTIMIN.

Nota: [M-02] Muestra de I=3A-30min.**, [M-03]:** Muestra de I=3A-50min.**, [M-04]:** Muestra con I=4A-30min.**, [M-05]:** Muestra de I=4A-50min.**, [M-06]:** Muestra de I=5A- 30min**, [M-07]:** Muestra con I=5A-50min.

Figura 56.

Concentración de los sólidos totales (mg/L) indicando el ingreso (caracterización) y salida (tratamientos).



En la tabla N° 8 y Figura 56 se muestran los resultados experimentales emitidos por el laboratorio CERTIMIN acreditado por INACAL, analizado de cada uno de los tratamientos aplicados en el proceso de electrocoagulación realizados al agua industrial del efluente del camal municipal de Huancavelica. En donde se trabajó con 3 intensidades de corriente de 3A, 4A y 5 Amperios en dos tiempos de operación cada intensidad de 30 y 50 minutos, así obteniendo 6 tratamientos en total. Se puede apreciar, que a medida que aumenta el amperaje como también el tiempo, se reduce la concentración de los sólidos ya que presenta un valor máximo de 245 mg/L y un valor mínimo de 31 mg/L. Por lo tanto, decimos que se logró remover considerablemente los Sólidos totales suspendidos en un 93.42% con la mayor intensidad que fue 5A - 50min. Estas muestras fueron tratadas en la fecha (27 de octubre del 2021).

Tabla 9.

Eficiencia de remoción de solidos totales suspendidos por cada tratamiento.

Muestra	Intensidad Amperio (A)	n	Tiempo Minutos (min)	Solidos totales suspendidos inicial (.)	Solidos totales suspendidos final (.)	Eficiencia de remoción (%)
M2	3	2	30 - 50	471.0	193.00	59.02[a]
M3	4	2	30 – 50	471.0	133.50	71.66[a]
M4	5	2	30 - 50	471.0	67.50	85.67[a]

Nota: [M2, M3, M4]: tratamientos [n]: Número de datos [a]: óptimo.

Aquí podemos mencionar que el valor de eficiencia de remoción de los Sólidos Totales Suspendidos se observa que los valores son iguales entre sí por lo que no existe diferencia estadística significativa dentro de los tratamientos (intensidad y tiempo).

E) Aceite y grasas(AG)

Tabla 10.

Resultados experimentales de aceites y grasas.

Fecha de monitoreo: 27/10/21 **Fecha de resultados: 04/11/21**			
Muestra	**Intensidad**	**Tiempo**	**Valores**
(Tratamiento)	(Amperios)	(Minutos)	mg/L
M-02	3	30	2.61
M-03		50	3.76
M-04	4	30	3.51
M-05		50	3.31
M-06	5	30	2.44
M-07		50	2.36

Fuente: Analizados en el laboratorio CERTIMIN.

Nota: [M-02] Muestra de I=3A-30min.**, [M-03]:** Muestra de I=3A-50min.**, [M-04]:** Muestra con I=4A-30min.**, [M-05]:** Muestra de I=4A-50min.**, [M-06]:** Muestra de I=5A-30min**, [M-07]:** Muestra con I=5A-50min.

En la tabla N° 10 se muestran los resultados experimentales emitidos por el laboratorio CERTIMIN acreditado por INACAL**,** analizado de cada uno de los tratamientos aplicados en el proceso de electrocoagulación realizados al agua industrial del efluente del camal municipal de Huancavelica. En donde se trabajó con 3 intensidades de corriente de 3A, 4A y 5 Amperios en dos tiempos de operación cada intensidad de 30 y 50 minutos, así obteniendo 6 tratamientos en total. Se puede apreciar, que a medida que aumenta el amperaje como también el tiempo, se reduce la concentración de Aceites y Grasas ya que presenta un valor máximo de 3,76 mg/L y un valor mínimo de 2,36 mg/L. Por lo tanto, decimos que se logró remover considerablemente los aceites y grasas en un 92.31% con la mayor intensidad que fue 5A - 50min.

Figura 57.

Resultado de aceites y grasas (mg/L) indicando el ingreso (caracterización) y salida (tratamientos).

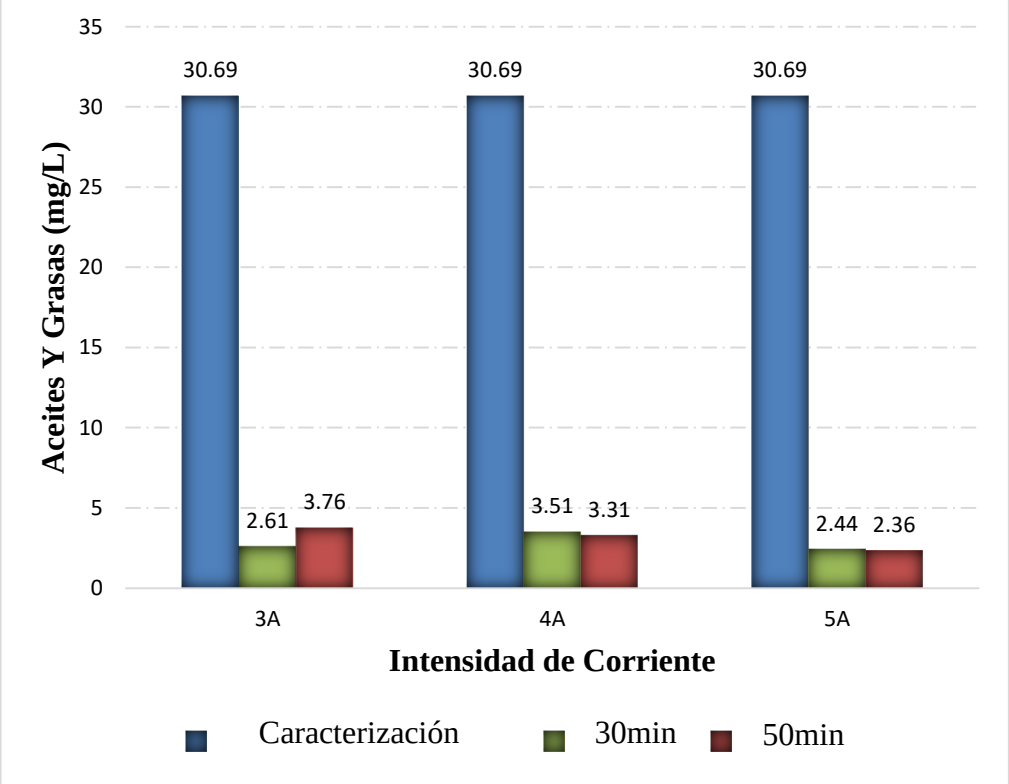


Tabla 11.

Eficiencia de remoción de aceites y grasas por cada tratamiento.

Muestra	Intensidad Amperio (A)	n	Tiempo Minutos (min)	Aceites y grasas inicial(.)	Aceites y grasas final(.)	Eficiencia de remoción (%)
M2	3	2	30 - 50	30.69	3.19	89.62[a]
M3	4	2	30 – 50	30.69	3.41	88.88[a]
M4	5	2	30 - 50	30.69	2.40	92.18[a]

Nota: [M2, M3, M4]: tratamientos [n]: Número de datos [a]: óptimo.

También podemos mencionar que los valores de eficiencia de remoción de los aceites y grasas, se observa que los valores son iguales entre sí por lo que no existe diferencia estadística significativa dentro de los tratamientos (intensidad y tiempo).

F) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)

Tabla 12.

Resultados experimentales de demanda bioquímica de oxígeno.

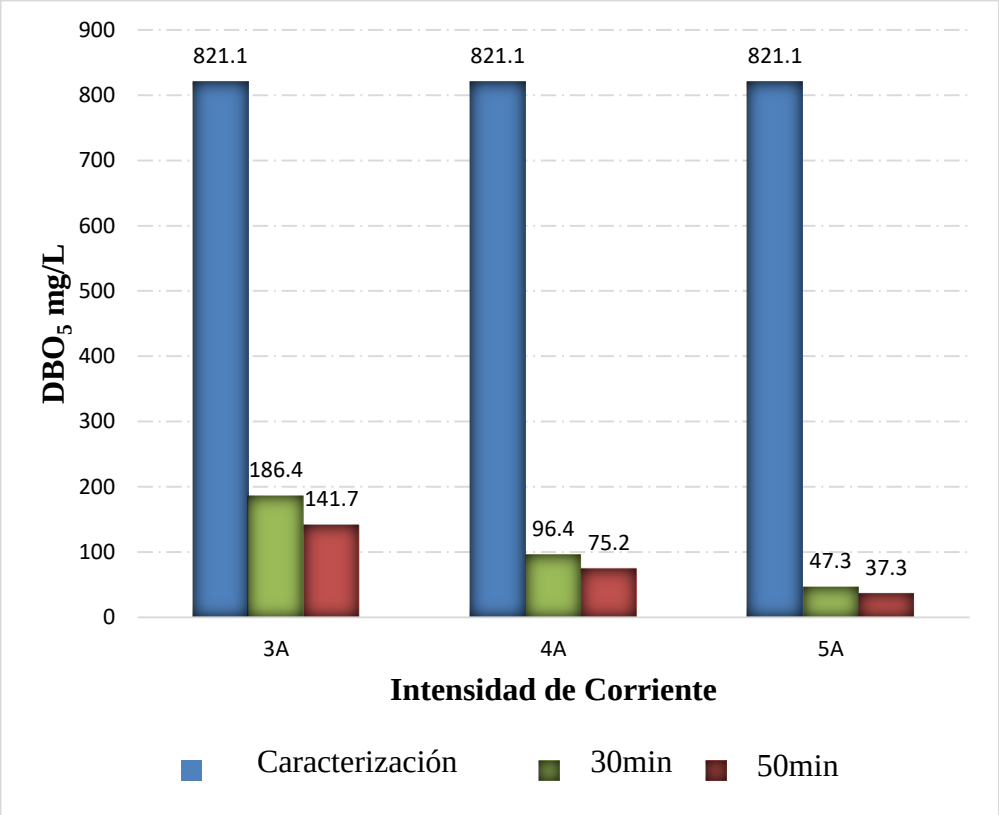
Fecha de monitoreo: 27/10/21 **Fecha de resultados: 04/11/21**			
Muestra	**Intensidad**	**Tiempo**	**Valores***
(Tratamiento)	(Amperios)	(Minutos)	mg/L
M-02	3	30	186.40
M-03		50	141.70
M-04	4	30	96.40
M-05		50	75.20
M-06	5	30	47.30
M-07		50	37.30

Fuente: Analizados en el laboratorio CERTIMIN.

Nota: [M-02] Muestra de I=3A-30min.**, [M-03]:** Muestra de I=3A-50min.**, [M-04]:** Muestra con I=4A-30min.**, [M-05]:** Muestra de I=4A-50min.**, [M-06]:** Muestra de I=5A-30min**, [M-07]:** Muestra con I=5A-50min.

Figura 58.

Resultado de la Demanda Bioquímica de Oxigeno – DBO_5 (mg/L) indicando el ingreso (caracterización) y salida (tratamientos).



En la tabla N° 12 y Figura 58 se muestran los resultados experimentales emitidos por el laboratorio CERTIMIN acreditado por INACAL, analizado de cada uno de los tratamientos aplicados en el proceso de electrocoagulación realizados al agua industrial del efluente del camal municipal de Huancavelica. En donde se trabajó con 3 intensidades de corriente de 3A, 4A y 5 Amperios en dos tiempos de operación cada intensidad de 30 y 50 minutos, así obteniendo 6 tratamientos en total. Se puede apreciar, que a medida que aumenta el amperaje como también el tiempo, se reduce la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) ya que presenta un valor máximo de 186,40 mg/L y un valor mínimo de 37,30 mg/L. Por lo tanto, decimos que se logró remover considerablemente la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) en un 95.46%

con la mayor intensidad que fue 5A - 50min. Estas muestras fueron tratadas en la fecha (27 de octubre del 2021).

Tabla 13.

Eficiencia de remoción de demanda bioquímica de oxigeno por cada tratamiento.

Muestra	Intensidad Amperio (A)	n	Tiempo Minutos (min)	Demanda bioquímica de oxigeno inicial (.)	Demanda bioquímica de oxigeno final (.)	Eficiencia de remoción (%)
M2	3	2	30 - 50	821.10	164.05	80.02[b]
M3	4	2	30 – 50	821.10	85.80	89.55[ab]
M4	5	2	30 - 50	821.10	42.30	94.85[a]

Nota: [M2, M3, M4]: tratamientos [n]: Número total de datos [a]: óptimo [ab]: medio [b]: bajo.

También podemos mencionar que los valores de eficiencia de remoción de los aceites y grasas, se observa que los valores son diferentes entre sí por lo que existe diferencia estadística significativa dentro de los tratamientos (intensidad y tiempo).

G) Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Tabla 14.

Resultados de demanda química de oxígeno.

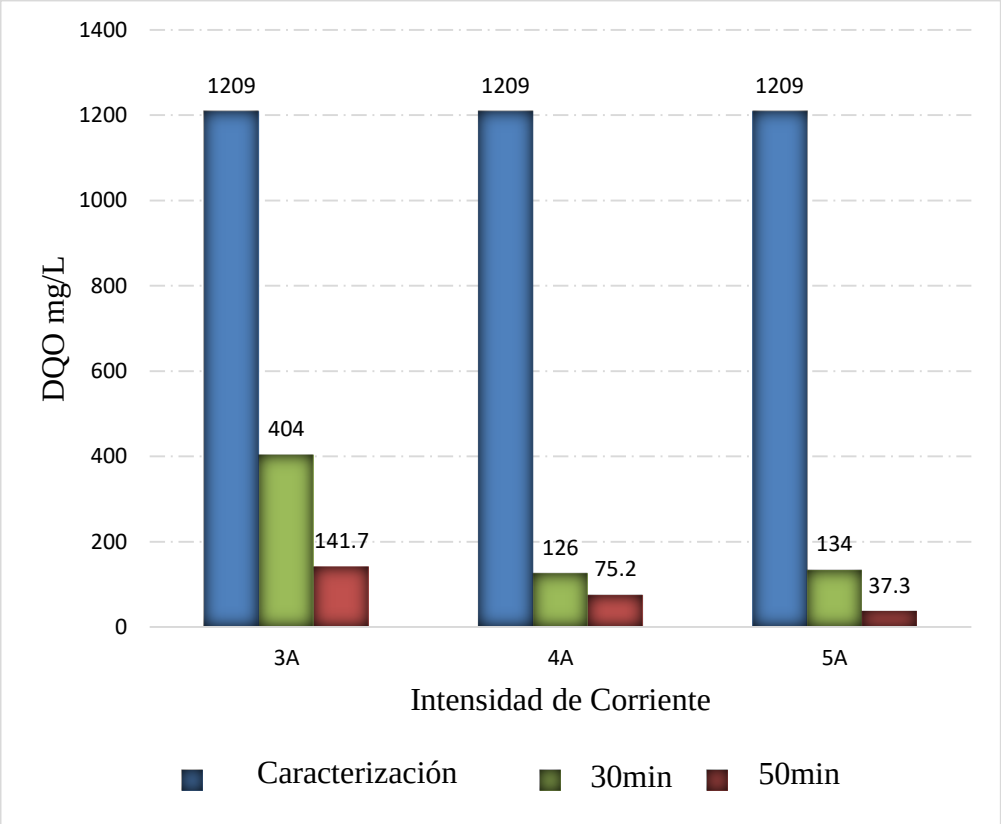
Fecha de monitoreo: 27/10/21 **Fecha de resultados: 04/11/21**			
Muestra	**Intensidad**	**Tiempo**	**Valores**
(Tratamiento)	(Amperios)	(Minutos)	mg/L
M-02	3	30	404.00
M-03		50	205.00
M-04	4	30	126.00
M-05		50	120.00
M-06	5	30	134.00
M-07		50	68.00

Fuente: Analizados en el laboratorio CERTIMIN.

Nota: [M-02] Muestra de I=3A-30min.**, [M-03]:** Muestra de I=3A-50min.**, [M-04]:** Muestra con I=4A-30min.**, [M-05]:** Muestra de I=4A-50min.**, [M-06]:** Muestra de I=5A-30min**, [M-07]:** Muestra con I=5A-50min.

Figura 59.

Resultado de la Demanda Química de Oxigeno – DQO (mg/L) indicando el ingreso (caracterización) y salida (tratamientos).



En la tabla N° 14 y Figura 59 se muestran los resultados experimentales emitidos por el laboratorio CERTIMIN acreditado por INACAL, analizado de cada uno de los tratamientos aplicados en el proceso de electrocoagulación realizados al agua industrial del efluente del camal municipal de Huancavelica. En donde se trabajó con 3 intensidades de corriente de 3A, 4A y 5 Amperios en dos tiempos de operación cada intensidad de 30 y 50 minutos, así obteniendo 6 tratamientos en total. Se puede apreciar, que a medida que aumenta el amperaje como también el tiempo, se reduce la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) ya que presenta un valor máximo de 404 mg/L y un valor mínimo de 68 mg/L. Por lo tanto, decimos que se logró remover considerablemente la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en un 94.38% con

la mayor intensidad que fue 5A - 50min. Estas muestras fueron tratadas en la fecha (27 de octubre del 2021).

Tabla 15.

Remoción del porcentaje de Demanda Química de Oxigeno por cada tratamiento.

Muestra	Intensidad Amperio (A)	n	Tiempo Minutos (min)	Demanda química de oxigeno (.)	Demanda química de oxigeno (.)	Eficiencia de remoción (%)
M2	3	2	30 - 50	1209.0	304.50	74.81[a]
M3	4	2	30 – 50	1209.0	123.00	89.82[a]
M4	5	2	30 - 50	1209.0	101.00	91.65[a]

Nota: [M2, M3, M4]: tratamientos [n]: Número de datos [a]: óptimo

Dentro de los valores de eficiencia de remoción para Demanda Química de Oxígeno, no se observó diferencias estadísticas significativas entre los valores.

H) Coliformes Fecales

Tabla 16.

Resultados experimentales de Coliformes Fecales

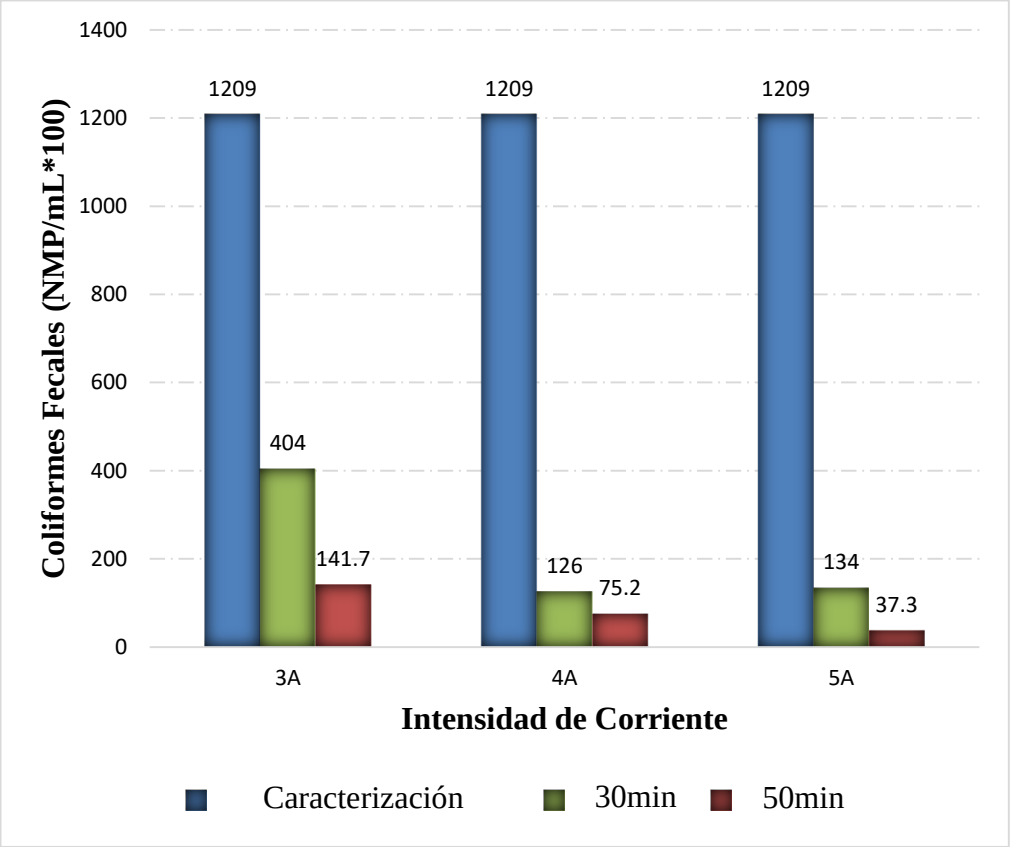
Fecha de monitoreo: 27/10/21 **Fecha de resultados: 04/11/21**			
Muestra	**Intensidad**	**Tiempo**	**Valores**
(Tratamiento)	(Amperios)	(Minutos)	NMP/ml*100
M-02	3	30	500.00
M-03		50	210.00
M-04	4	30	90.00
M-05		50	40.00
M-06	5	30	15.00
M-07		50	4.00

Fuente: Analizados en el laboratorio CERTIMIN.

Nota: [M-02] Muestra de I=3A-30min.**, [M-03]:** Muestra de I=3A-50min.**, [M-04]:** Muestra con I=4A-30min.**, [M-05]:** Muestra de I=4A-50min.**, [M-06]:** Muestra de I=5A-30min**, [M-07]:** Muestra con I=5A-50min.

Figura 60.

Resultado de Coliformes fecales (NMP/ml*100) indicando el ingreso (caracterización) y salida (tratamientos).



En la tabla N° 16 y Figura 60 se muestran los resultados experimentales realizados en el laboratorio de la Universidad Nacional de Huancavelica, analizado de cada uno de los tratamientos aplicados en el proceso de electrocoagulación realizados al agua industrial del efluente del camal municipal de Huancavelica. En donde se trabajó con 3 intensidades de corriente de 3A, 4A y 5 Amperios en dos tiempos de operación cada intensidad de 30 y 50 minutos, así obteniendo 6 tratamientos en total. Se puede apreciar, que a medida que aumenta el amperaje como también el tiempo, se reduce la concentración de Coliformes Fecales ya que presenta un valor máximo de 500 NMP/ml*100 y un valor mínimo de 4 NMP/ml*100. Por lo tanto, decimos que se logró remover considerablemente los Coliformes Fecales en un 99.64% con la mayor intensidad que fue 5A - 50min.

Tabla 17.

Eficiencia de remoción de coliformes fecales por cada tratamiento.

Muestra	Intensidad Amperio (A)	n	Tiempo Minutos (min)	Coliformes Fecales (.)	Coliformes Fecales (.)	Eficiencia de remoción (%)
M2	3	2	30 - 50	1100.0	355.00	67.73[a]
M3	4	2	30 – 50	1100.0	65.00	94.09[a]
M4	5	2	30 - 50	1100.0	9.50	99.14[a]

Nota: [M2, M3, M4]: tratamientos [n]: Número de datos [a]: óptimo

Dentro de los valores de eficiencia de remoción de Coliformes Fecales se obtuvo una disminución, pero dentro de cada tratamiento no se observó diferencia estadística significativa.

4.1.3. Porcentaje de remoción de las muestras del agua residual industrial del efluente del camal municipal de Huancavelica obtenidos por cada tratamiento realizado

Tabla 18.

Valores de porcentaje de remoción de los contaminantes del agua residual industrial del efluente del camal Tratadas en los 06 Tratamientos Aplicados.

PORCENTAJE DE REMOCION (%)								
Nº	CODIGO DE MUESTRA	INTENSIDAD AMPERIO (A)	TIEMPO MINUTOS (min)	COLIFORMES FECALES NMP/100ml	*STS mg/L	AyG mg/L	DBO5 mg/L	DQO mg/L
					%			
2	M-02	3	30	54.55	47.98	91.50	77.30	66.58
3	M-03	3	50	80.91	70.06	87.75	82.74	83.04
4	M-04	4	30	91.82	67.52	88.56	88.26	89.58
5	M-05	4	50	96.36	75.80	89.21	90.84	90.07
6	M-06	5	30	98.64	77.92	92.05	94.24	88.92
7	M-07	5	50	99.64	93.42	92.31	95.46	94.38
		PROMEDIO		86.99	72.11	90.23	88.14	85.42

Nota: [M-02] Muestra de I=3A-30min.**, [M-03]:** Muestra de I=3A-50min.**, [M-04]:** Muestra con I=4A-30min.**, [M-05]:** Muestra de I=4A-50min.**, [M-06]:** Muestra de I=5A- 30min**, [M-07]:** Muestra con I=5A-50min.

Se muestran los resultados de los parámetros analizados del agua residual industrial del camal, en el cual se ve que según se realizan los tratamientos, el porcentaje de remoción de los contaminantes de los diferentes parámetros analizados va aumentando directamente. Cabe mencionar que los factores de intensidad (I) y el tiempo de (t) van aumentando de manera creciente en cada tratamiento. Arango y Garcés (2006), dice que a mayor densidad de corriente mayor es la formación de iones metálicos liberados de la oxidación del ánodo para luego formar hidróxidos de aluminio, encargados de la coagulación en el agua tratada, por ello que al incrementar la densidad de corriente genera mayor reducción de contaminantes.

En la tabla 18, se aprecia el consolidado de los resultados y que los mayores porcentajes de remoción de los contaminantes se obtuvieron a una intensidad de 5 Amperios y a un tiempo de 50 minutos, ya que logro disminuir hasta en un 95,46 % de $DBO_{5,}$ 94,38 % de DQO, 93,42 % de STS, 99,64 % de Coliformes fecales y 92,31 % de aceites y grasas de su valor inicial. Esto muestra la importancia de utilizar este método de tratamiento de aguas por los resultados obtenidos.

4.2. Prueba de hipótesis

Como señala (Sampieri, 2010) la contratación de hipótesis se resume a 6 pasos, y estando en este último paso, se tiene ya la posibilidad de tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula; atendiendo a este planteamiento, que a criterio propio es el más coherente; sin dejar de lado otros planteamientos, se ha optado por seguir estos pasos para el contraste de la hipótesis:

- Formular la hipótesis nula y alterna de acuerdo al problema.
- Escoger un nivel de significancia o riesgo α.
- Escoger el estadígrafo de prueba más apropiado.
- Establecer la región crítica.

- Calcular los valores de la prueba estadística de una muestra aleatoria de tamaño “n”.
- Rechazar la hipótesis nula (H_o) si el estadígrafo tiene un valor en la región crítica y no rechazar (aceptar)= en el otro caso.

4.2.1. Principios de la investigación

Test de Normalidad

Se realizó el test de normalidad utilizando el estadístico de Shapiro-Wilk, porque la cantidad de datos evaluados de cada parámetro son menores a 50 datos (n < 50).

Tabla 19.

Test de Normalidad con Shapiro-Wilk

Test para normalidad					
Test	**Denominación**	**Estadístico**			**p valor**
Shapiro-Wilk	PH	**W**	0.9240	**Pr < W**	0.4636
Shapiro-Wilk	Temperatura	**W**	0.8240	**Pr < W**	0.0515
Shapiro-Wilk	Conductividad eléctrica	**W**	0.9779	**Pr < W**	0.9407
Shapiro-Wilk	Coliformes fecales	**W**	0.7895	**Pr < W**	0.0772
Shapiro-Wilk	STS	**W**	0.9607	**Pr < W**	0.8259
Shapiro-Wilk	Aceites y grasas	**W**	0.8799	**Pr < W**	0.2689
Shapiro-Wilk	Demanda bioquímica de oxigeno	**W**	0.9355	**Pr < W**	0.6235
Shapiro-Wilk	Demanda química de oxigeno	**W**	0.8052	**Pr < W**	0.0655

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el test de normalidad con el objetivo de verificar que los datos presenten una distribución normal, obteniendo un p valor = 0.4636, 0.0515, 0.9407, 0.0772, 0.8259, 0.2689, 0.6235, 0.0655 que es mayor que 0.05 por medio del estadístico Shapiro-Wilk, corroborando que los datos presentan una distribución normal por lo cual se elige una prueba paramétrica.

Tabla 20.

Test de homogeneidad de varianzas con Levene.

Test de homogeneidad de varianzas		
Test	**Denominación**	**Pr >F**
Levene	PH	0.3436
Levene	Temperatura	0.7415
Levene	Conductividad Eléctrica	0.3622
Levene	Coliformes Fecales	0.1713
Levene	Solidos Totales Suspendidos	0.9036
Levene	Aceites y Grasas	0.8715
Levene	Demanda Bioquímica de Oxigeno	0.3411
Levene	Demanda Química de Oxigeno	0.0515

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó la homogeneidad de varianzas, con el test de levene, donde se observó que los valores de p valor = 0.3436, 0.7415, 0.3622, 0.1713, 0.9036, 0.8715, 0.3411, 0.0515 son mayor que 0.05 por medio del estadístico Levene, corroborando que los datos presentan una homogeneidad de varianzas dentro de cada tratamiento.

4.2.2. Pasos de la prueba de hipótesis

Como señala (Sampieri, 2010) la contrastación de hipótesis se resume a 6 pasos, y estando en este último paso, se tiene ya la posibilidad de tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula; atendiendo a este planteamiento, que a criterio propio es el más coherente; sin dejar de lado otros planteamientos, se ha optado por seguir estos pasos para el contraste de la hipótesis:

1. Formular la hipótesis nula y alterna de acuerdo al problema.
2. Escoger un nivel de significancia o riesgo α.
3. Escoger el estadígrafo de prueba más apropiado.
4. Establecer la región crítica.

5. Calcular los valores de la prueba estadística de una muestra aleatoria de tamaño “n”.
6. Rechazar la hipótesis nula (Ho) si el estadígrafo tiene un valor en la región crítica y no rechazar (aceptar) = en el otro caso.

Paso 1: Formulación de hipótesis

Hipótesis especifica 1:

Ha: La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración de Solidos Totales Suspendidos del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.

$$\mu > 70\%$$

Ho: La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos no reduce la concentración de Solidos Totales Suspendidos del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.

$$\mu < 70\%$$

Hipótesis especifica 2:

Ha: La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración de Aceite y grasas (AG) del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.

$$\mu > 70\%$$

Ho: La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos no reduce la concentración de Aceite y grasas (AG) del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.

$$\mu < 70\%$$

Hipótesis especifica 3:

Ha: La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO_5) del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.

$$\mu > 70\%$$

Ho: La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos no reduce la concentración Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO_5) del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.

$$\mu < 70\%$$

Hipótesis especifica 4:

Ha: La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración de Demanda Química de Oxígeno (DQO) del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.

$$\mu > 70\%$$

Ho: La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos a nivel de laboratorio para la remoción de contaminantes del efluente del camal municipal de Huancavelica las medias son diferentes

$$\mu < 70\%$$

Hipótesis especifica 5:

Ha: La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración de Coliformes Fecales del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.

$$\mu > 70\%$$

Ho: La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración de Coliformes Fecales del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.

$$\mu < 70\%$$

Paso 2: Nivel de significancia

En la presente investigación se trabajó con un error de 5 %; es decir:

$\alpha = 0.05$, por lo que el error del trabajo no debe ser mayor al planteado y con un grado de confianza de 95 %, es decir con $1- \alpha = 0.095$.

Paso 3. Estadístico de prueba

El estadístico de prueba utilizado fue el "Análisis de varianza (ANOVA), que es una prueba estadística para analizar si más de dos grupos difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas" (Sampieri, 2010).

Para determinar cuál de los tratamientos es más eficiente se utilizó la prueba de medias de Tukey.

A. Valor crítico y regla de decisión

Para la prueba de una cola con $\alpha = 0.05$ en la tabla de Fisher tenemos los valores críticos de $F\alpha, V_1, V_2$.

$n - 1 = 6 - 1 = 5$

0.05

$F_{tabla} = \mathbf{2.78}$

$F_{cal} \geq$ que el valor del F de la tabla se acepta la hipótesis alterna

$F_{cal} \leq$ que el valor del F de la tabla se acepta la hipótesis nula

B. Cálculo de los estadígrafos de prueba

Los estadígrafos de prueba fueron calculados en función a los objetivos del proyecto de investigación, realizando el análisis de varianza a través de ANOVA y la prueba de medias por Tukey.

Análisis de varianza a través de ANOVA

a) Análisis de varianza (ANOVA) para sólidos totales suspendidos

Se realizó el análisis de varianza para la electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos a nivel de laboratorio para la remoción de contaminantes del efluente del camal municipal de Huancavelica.

Tabla 21

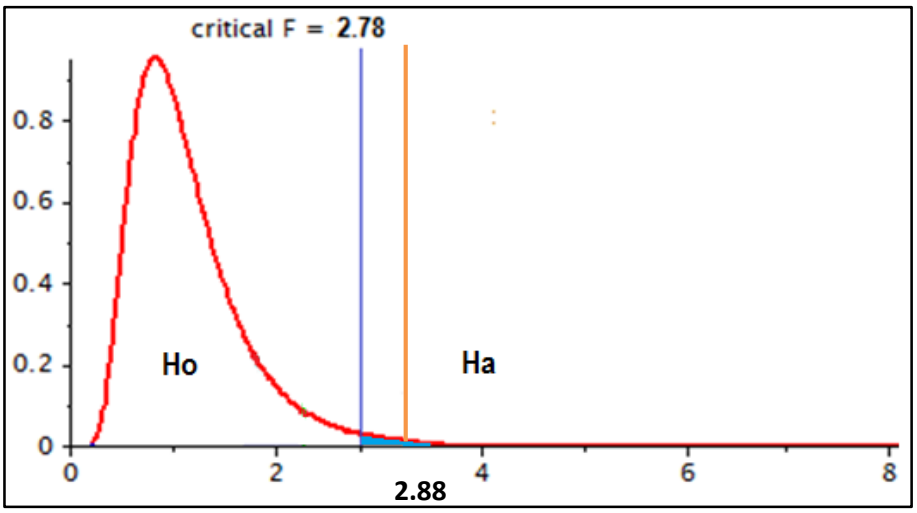
Análisis de varianza (ANOVA) para sólidos totales suspendidos

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	710.848133	355.424067	2.88	0.0151
Error	3	398.167400	132.722467		
Total corregido	5	1109.015533			

Nota: [F]pruebas de Fisher; [GL]Grados de libertad.

Figura 61.

Grafica del valor crítico y el valor de fisher



Mi valor F calculado es igual a 2.88 > que el valor de F de la tabla que es igual a 2.78

Por lo tanto, se rechaza el Ho, se acepta la Ha.

Entonces: La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración de Solidos Totales Suspendidos del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.

b) Análisis de varianza (ANOVA) para Aceites y Grasas

Se realizó el análisis de varianza para la electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos a nivel de laboratorio para la remoción de contaminantes del efluente del camal municipal de Huancavelica.

Tabla 22

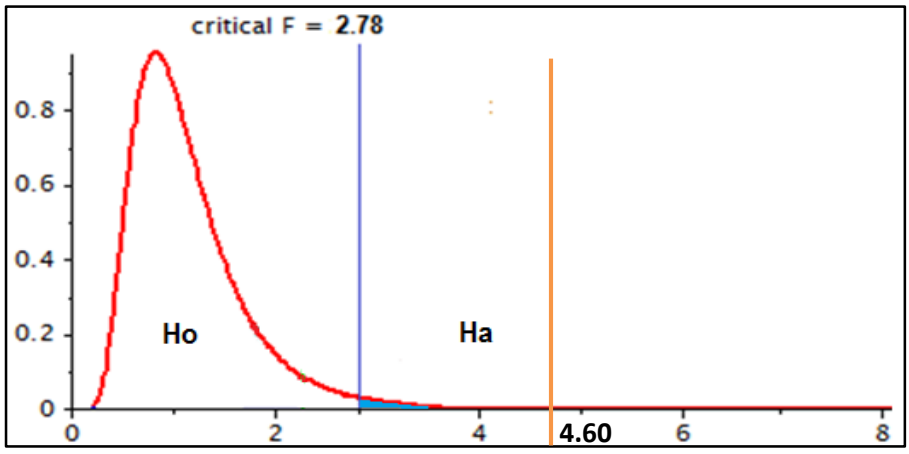
Análisis de varianza (ANOVA) para aceites y grasas.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	11.95510000	8.97755000	4.60	0.0232
Error	3	7.27630000	2.42543333		
Total corregido	5	19.23140000			

Nota: [F]pruebas de Fisher; [GL]Grados de libertad.

Figura 62.

Grafica del valor crítico y el valor de fisher



Mi valor F calculado es igual a 4.60 > que el valor de F de la tabla que es igual a 2.78.

Por lo tanto, se rechaza el Ho, se acepta la Ha.

Entonces: La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración de Aceites y Grasas del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.

c) Análisis de varianza (ANOVA) para Demanda Bioquímica de Oxigeno.

Se realizó el análisis de varianza para la electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos a nivel de laboratorio para la remoción de contaminantes del efluente del camal municipal de Huancavelica.

Tabla 23

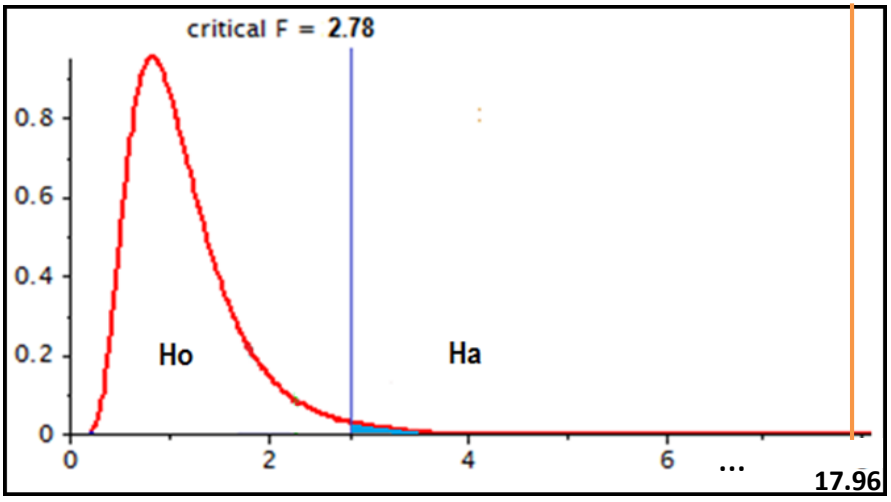
Análisis de varianza (ANOVA) para Demanda Bioquímica de Oxigeno

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	225.8932000	112.9466000	17.96	0.0214
Error	3	18.8692000	6.2897333		
Total corregido	5	244.7624000			

Nota: [F]pruebas de Fisher; [GL]Grados de libertad.

Figura 63.

Grafica del valor crítico y el valor de fisher.



Mi valor F calculado es igual a 17.96 > que el valor de F de la tabla igual 2.78

Por lo tanto, se rechaza el Ho, se acepta la Ha.

Entonces: La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración de Demanda Bioquímica de Oxigeno del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.

d) Análisis de varianza (ANOVA) para Demanda Química de Oxigeno

Se realizó el análisis de varianza para la electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos a nivel de laboratorio para la remoción de contaminantes del efluente del camal municipal de Huancavelica.

Tabla 24

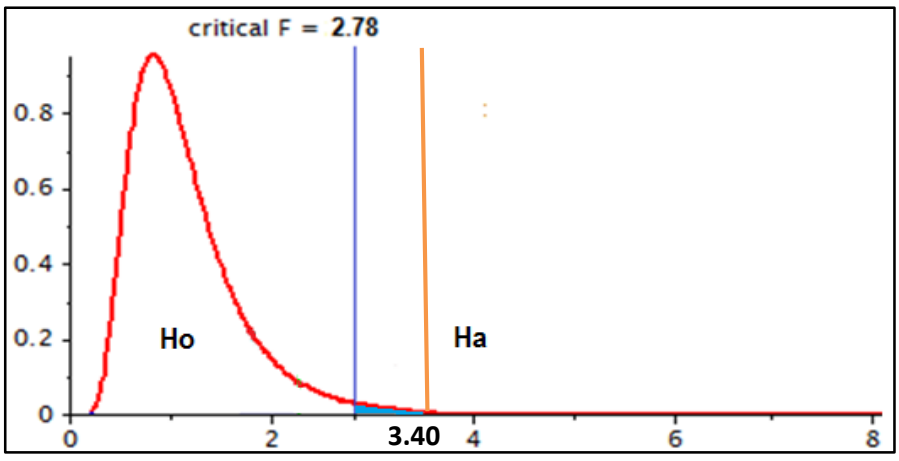
Análisis de varianza (ANOVA) para demanda química de oxigeno

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	341.5776333	170.7888167	3.40	0.0169
Error	3	150.4916500	50.1638833		
Total corregido	5	492.0692833			

Nota: [F]pruebas de Fisher; [GL]Grados de libertad.

Figura 64.

Grafica del valor crítico y el valor de fisher



Mi valor F calculado es igual a 3.40 > que el valor de F de la tabla igual 2.78

Por lo tanto, se rechaza el Ho, se acepta la Ha.

Entonces: La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración de demanda química de oxigeno del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.

e) Análisis de varianza (ANOVA) para Coliformes Fecales

Se realizó el análisis de varianza para la electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos a nivel de laboratorio para la remoción de contaminantes del efluente del camal municipal de Huancavelica. Presentaron efecto significativo ($P < 0.05$).

Tabla 25

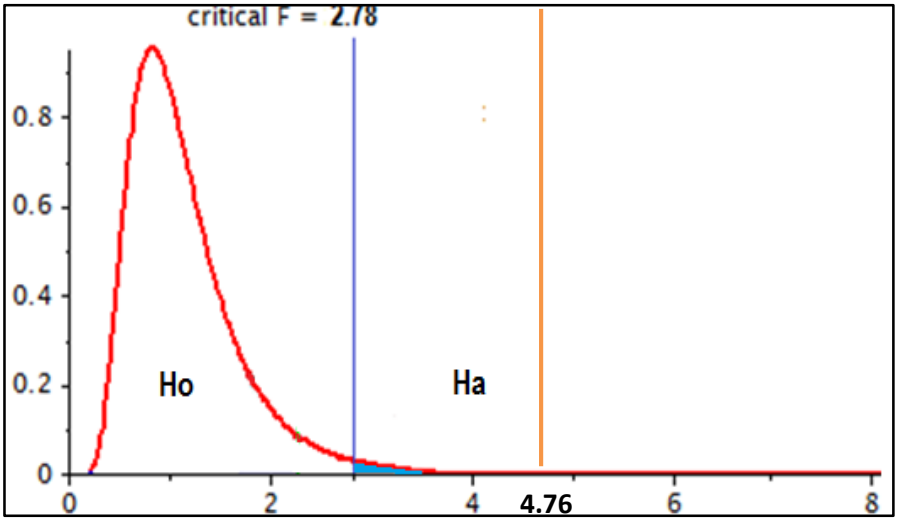
Análisis de varianza (ANOVA) para coliformes fecales

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	1137.960133	568.980067	4.76	0.0172
Error	3	358.230600	119.410200		
Total corregido	5	1496.190733			

Nota: [F]pruebas de Fisher; [GL]Grados de libertad.

Figura 65.

Grafica del valor crítico y el valor de fisher



Mi valor F calculado es igual a 4.76 > que el valor de F de la tabla igual 2.78

Por lo tanto, se rechaza el Ho, se acepta la Ha.

Entonces: La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración de Coliformes fecales del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.

Paso 4 Decisión estadística

Hipótesis general

Por lo tanto, se afirma que: La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración de los contaminantes del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%. Demostrando la eficiencia de remoción en los parámetros evaluados, como los sólidos totales suspendidos, aceite y grasas, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y Coliformes fecales.

f) Energía ahorrada con la implementación de los paneles fotovoltaicos

La energía consumida en el proceso de electrocoagulación en los seis tratamientos aplicados se halló utilizando la relación formulada por Ramesh que mostramos a continuación:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{V} \times \mathbf{I}}{\mathbf{Q} \times \mathbf{1000}}$$

Dónde:

E: Energía consumida por volumen de efluente tratado en Kwh/m^3

V: Voltaje aplicado, en V.

I: Corriente aplicada, en A.

t: Tiempo de tratamiento, en h.

Q: Volumen del efluente tratado, en m^3.

1000: Coeficiente para conversión de W a KW.

Tabla 26

Parámetros para el cálculo de energía consumida.

Parámetros	Valores					
	T1	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**	**T6**
Voltaje(V)	12	12	12	12	12	12
Intensidad (A)	3	3	4	4	5	5
Tiempo(Min)	30	50	30	50	30	50
Volumen(L)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5

Nota: [T] Tratamiento 1,2,3,4,5 y 6

TRATAMIENTO 01

$$E = \frac{V \times I}{Q \times 1000}$$

$$E = \frac{12V \times 3A \times 0.51H}{0.0045m^3 \times 1000}$$

$$E = 4.08 \frac{Kwh}{m^3}$$

TRATAMIENTO 02

$$E = \frac{V \times I}{Q \times 1000}$$

$$E = \frac{12V \times 3A \times 0.85H}{0.0045m^3 \times 1000}$$

$$E = 6.8 \frac{Kwh}{m^3}$$

TRATAMIENTO 03

$$E = \frac{V \times I}{Q \times 1000}$$

$$E = \frac{12V \times 4A \times 0.51H}{0.0045m^3 \times 1000}$$

$$E = 5.44 \frac{Kwh}{m^3}$$

TRATAMIENTO 04

$$E = \frac{V \times I}{Q \times 1000}$$

$$E = \frac{12V \times 4A \times 0.85H}{0.0045m^3 \times 1000}$$

$$E = 9.07 \frac{Kwh}{m^3}$$

TRATAMIENTO 05

$$E = \frac{V \times I}{Q \times 1000}$$

$$E = \frac{12V \times 5A \times 0.51H}{0.0045m^3 \times 1000}$$

$$E = 6.8 \frac{Kwh}{m^3}$$

TRATAMIENTO 06

$$E = \frac{V \times I}{Q \times 1000}$$

$$E = \frac{12V \times 5A \times 0.85H}{0.0045m^3 \times 1000}$$

$$E = 11.33 \frac{Kwh}{m^3}$$

Total de energía consumida en los seis tratamientos aplicados fue d*e 44* $\frac{Kwh}{m^3}$, la cual es la energía ahorrada con la implementación de paneles fotovoltaicos. Si asumimos la tarifa cobrada por la empresa ELECTROCENTRO que es S/. 0.4703 por Kwh, nos arrojaría un costo de 20.50 S/ m^3.

4.3. Discusión de los resultados

- ✓ Coronel y Vila (2013) trataron aguas residuales urbanas por el método de electrocoagulación, para lo cual utilizaron energía generada mediante los paneles fotovoltaicos, emplearon electrodos de aluminio y fierro, con una densidad de corriente de 32,72 A/m^2 a un tiempo de 20 minutos, obteniendo a estas condiciones los mayores porcentajes de remoción los cual fueron: 86,33% de DBO_5, 78,89% de DQO, 99,92% de Coliformes totales, 96,32% de aceites y grasas,; en esta investigación realizada se tiene como resultado la remoción hasta en un 95,46 % de DBO_5, 94,38 % de DQO, 93,42 % de STS, 99,64 % de Coliformes fecales y 92,31 % de aceites y grasas; con la mayor intensidad de corriente de 5 Amperios en un tiempo de 50 minutos de operación, considerando los mismos el tipo de material de electrodos y así también la energía generada por los paneles fotovoltaicos, podemos deducir que es similar a lo que reporta dicho autor.
- ✓ Quispe (2015) en su estudio reporta el incremento del parámetro del pH de las muestras de agua residual M-1 y M-2 que presentaron un pH de 4,21 a 6,21 y 4,60 a 5,96 antes y después de la electrocoagulación respectivamente. En la presente investigación también se evidencia un incremento de pH de 6,45 a 9,70 antes y después del proceso de electrocoagulación, ya que esto es debido a la formación de hidróxidos de aluminio (Al) por lo que se utilizó como electrodo de sacrificio y que a su vez que genera burbujas de hidrogeno las cuales cumplen la función de remover los contaminantes a la parte superior por flotación. La cual contrasta con lo reportado por dicho autor.
- ✓ Tamani (2017), en su tesis trataron aguas provenientes de efluente del matadero municipal por el método de electrocoagulación, el sistema fue alimentado con energía proveniente de toma corriente, se empleó electrodos de aluminio y acero galvanizado, los experimentos constaron de tres intensidades de corriente:1A, 1.5A y 2A y obtuvieron como resultado un 78%, 82% y 86% de reducción de la DBO_5. En la presente tesis también se trabajaron con 3 intensidades de corriente,3A, 4A y 5A y se obtuvieron 82,74%, 90,84% y 95,46% de remoción de DBO_5 empleando electrodos de aluminio y hierro, el sistema fue alimentado con energía fotovoltaica. Esta diferencia de porcentaje de remoción de DBO_5 se debe

a que es distinto el tipo de material de electrodos usados, y así también la fuente de energía alimentada al sistema.

- ✓ Cueva y Pereda (2020), en su investigación trataron aguas residuales provenientes del Camal Municipal por la técnica de electrocoagulación, empleando electrodos de acero(ánodo) y aluminio(cátodo) , obteniendo un tiempo y amperaje óptimo de 12 Amperios - 30 minutos logrando una mayor remoción de un 94.27% de DQO, 87.78 % de DBO_5, 88.45% de SDT y 88.22% de Grasas y Aceites. En esta investigación realizada se empleó electrodos de aluminio(ánodo) y hierro(cátodo) teniendo como resultado la remoción hasta en un 95,46 % de DBO_5, 94,38 % de DQO, 93,42 % de STS, y 92,31 % de Aceites y Grasas; con la mayor intensidad de corriente de 5 Amperios en un tiempo de 50 minutos de operación. Esta diferencia de porcentajes de remoción se debe a que el material que utilizaron como electrodo de oxidación fue acero, mientras que el material que se utilizó para esta investigación como electrodo de oxidación fue aluminio y además el sistema fue alimentado con energía fotovoltaica. Podemos deducir que es distinto a lo que reportan dichos autores.

Conclusiones

- ✓ La técnica de electrocoagulación es un método efectivo ya que muestra excelentes resultados, porque logro disminuir hasta en un 95,46 % de DBO5, 94,38 % de DQO, 93,42 % de STS, 99,64 % de Coliformes fecales y 92,31 % de aceites y grasas; con la mayor intensidad de corriente de 5 Amperios en un tiempo de 50 minutos de operación.
- ✓ Se caracterizó en forma física, química y microbiológica el agua residual industrial del efluente del camal municipal de Huancavelica, y los resultados obtenidos fueron: 821,1 mg/L de DBO5, 1209 mg/L de DQO, 471 mg/L de sólidos totales suspendidos, 30,69 mg/L de aceites y grasas, 1117 us/cm conductividad eléctrica y 1100 NMP/ml*100 de Coliformes fecales.
- ✓ Los parámetros fisicoquímicos como el pH y la temperatura presentaron un incremento de 6,45 a 9,70 antes y después del proceso de electrocoagulación, y de 9,90 °C a 15,8 °C respectivamente; estos parámetros soy muy significativos e importantes en el proceso de electrocoagulación. Con respecto a la conductividad eléctrica presenta valores entre 1117 µS/cm - 335 µS/cm, este parámetro fue disminuyendo a medida que aumenta el tiempo de operación y el amperaje, esto se debe a que los iones existentes en la muestra de agua fueron estabilizándose y formando conglomerados para precipitar.
- ✓ Los parámetros físicos como los Sólidos Totales Suspendidos (STS) y Aceites y grasas(AG), presentaron una reducción significativa en la concentración de contaminantes ya que se registró un valor máximo de 471 mg/L y un valor mínimo de 31 mg/L antes y después del proceso de electrocoagulación, así también un valor máximo de 30,69 mg/L y un valor mínimo de 2,36 mg/L respectivamente. Logrando remover hasta en un 93,42 % y 92,31 % de estos parámetros con intensidad de corriente de 5A - 50 min de operación.
- ✓ La concentración de los parámetros químicos como la Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO_5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) del efluente del camal aplicando la técnica de electrocoagulación, presentaron una reducción significativa en la concentración de contaminantes a medida que aumenta el amperaje y el tiempo, registrando un valor máximo de 821,1 mg/L y un valor

mínimo de 37,30 mg/L, antes y después del proceso de electrocoagulación, así también un valor máximo de 1209 mg/L y un valor mínimo de 68 mg/L respectivamente. Concluyendo que el mayor porcentaje de remoción se obtuvo con la intensidad de corriente de 5A - 50 min logrando un 95,46 % y 94,38 % de remoción de estos parámetros.

- ✓ El parámetro microbiológico de Coliformes Fecales, presento una reducción muy significativa en la concentración de contaminantes ya que registró un valor máximo de 1100 NMP/ml*100 y un valor mínimo de 4 NMP/ml*100 antes y después del proceso de electrocoagulación. Logrando remover hasta en un 96.36 %, 98.64 % y 99,64 % aplicando las intensidades de corriente de 4 y 5 amperios en un tiempo de 30 y 50 minutos de operación.
- ✓ La configuración de electrodos fue mono polar colocados de manera intercalada en paralelo empleando 10 placas como electrodos, 5 de aluminio (Al) y 5 de hierro (Fe), con una separación entre electrodos de 1.4 cm., estos sirvieron para lograr la remoción.
- ✓ Se ha comprobado que la técnica de electrocoagulación es una tecnología que ofrece eficiencia en remoción de los contaminantes en aguas residuales de camales municipales, además haciendo uso los paneles fotovoltaicos como fuente de energía eléctrica que logra minimizar costos y haciendo de este un proceso amigable con el medio ambiente.
- ✓ El Perú es potencial en recursos renovables, por lo cual para esta investigación se utilizó los paneles fotovoltaicos como fuente de energía limpia, lo cual es poco o nula su uso en otras investigaciones.
- ✓ Los resultados obtenidos en la presenta investigación son óptimos, por ende, la técnica de electrocoagulación es una tecnología que ofrece eficiencia en remoción de los contaminantes en aguas residuales de camales municipales.
- ✓ la energía ahorrada con la implementación de paneles fotovoltaicos es de 44 $\frac{Kwh}{m^3}$, y si asumimos la tarifa cobrada por la empresa ELECTROCENTRO-HVCA que es S/. 0.4703 por Kwh, nos arrojaría un costo de S/20.50 por m3.

Recomendaciones

- ✓ Para la construcción de celda de electrocoagulación se sugiere que el material que deberían utilizar sea de acrílico debido a que el vidrio tiende a presentar rajaduras durante los tratamientos.
- ✓ Se recomienda para futuros trabajos de investigación utilizar otros generadores de energía no convencionales, diferente al empleado en este trabajo, con el fin de contribuir a la mejora del medio ambiente.
- ✓ Para un tratamiento de aguas residuales en plantas de beneficios de animales se recomienda un pre tratamiento de filtración por mallas para retener materias contaminantes (heces, pelos, coágulos de sangre, etc.).
- ✓ Se recomienda probar nuevos indicadores de amperaje y tiempo que ayude a evaluar mejor le remoción.
- ✓ Se recomienda hacer estudios a escalas mayores si se requiere trabajar con volúmenes más grandes, en estos casos se tendría que realizar un escalamiento del diseño de reactor para poder tratar mayor cantidad de muestra.
- ✓ Es recomendable utilizar mayor número de electrodos en un reactor, en estos casos trabajar a una distancia mínima entre electrodos para generar mayor remoción en menor tiempo de tratamiento.
- ✓ Se recomienda construir una planta piloto, para analizar la técnica de electrocoagulación con volúmenes de agua residual más elevados, para optimizar el proceso, puesto que el experimento de esta investigación fue a escala laboratorio

Referencias bibliográficas

ANA. Protocolo de Monitoreo de la calidad de los Recursos Hidricos. Lima, Peru. 2016.

Apaza. Sistema combinado electrocoagulación-filtro biológico para la remoción de carga orgánica de los efluentes lácteos realizado en la universidad Nacional Agraria la Molina – Lima. 2018.

Arana, Peña. efecto del tiempo y número de placas en la remoción de DQO y turbidez en agua residual del proceso de curtido por electrocoagulación realizado en la Universidad Cesar Vallejo – Trujillo. 2019.

Arellano D, Guzmán P. Ingeniería Ambiental. (Primera edición). Alfaomega. 2011.

Arencibia C. La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica. 17. 2016.

Ayuque. tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras por el método de electrocoagulación en la cuidad de Huancavelica. 2022.

Ayuque, Esteban. eficiencia de una cámara de electrocoagulación a escala de laboratorio para tratamiento de aguas residuales del camal municipal distrito de Huancavelica. 2021.

Barrenechea MA. Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. En: Tratamiento de agua para consumo humano. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. p. 1-56. 2004.

Campos Gómez I. Saneamiento Ambiental. Costa Rica. 2003. p. 156.

Camposano VPC. Actitudes de conservacion del ambiente para desarrollar la conciencia ambiental en estudiantes de una Institución Educativa de Huancayo,

2018. Universidad Nacional de Huancavelica. 2019.

Casas Ú, Gea L, Javaloyes T, Martín P, Pérez N, Triguero S, et al. Educación medioambiental. Editorial Club Universitario. 2008.

Chacon, Huampotupa. electrocoagulación de aguas residuales en la industria Láctea Ramírez – Anta – Compone realizado en la universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. 2021.

Coronel H, Vila V. Remoción de contaminantes de las aguas residuales urbanas del colector parra del riego por el método de electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos, a nivel de laboratorio. 2013.

Cruz O. Los sistemas de energía solar fotovoltaica en el Perú. Paradigmas. 2012.

Cueva, Pereda. efecto del amperaje y tiempo del proceso de la electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales del camal de José Leonardo Ortíz-Lambayeque. 2020.

Debrayan B. Energía y Desarrollo Sostenible en Cuba. 2015.

Diego. influencia de la densidad de corriente y pH, para evaluar la remoción de Cr+3 y DQO en efluente de etapa de curtido, mediante electrocoagulación fotovoltaica desarrollado en la Universidad Nacional de Trujillo. 2019.

Estrada G. Transición energética, energías renovables y energía solar de potencia. 2013.

FAO. Estructura y funcionamiento de mataderos medianos en países en desarrollo. http://www.fao.org. 2017.

Garmendia S, Salvador A, Crespo S, Garmendia S. Evaluación de impacto ambiental.

Pearson-Prentice Hall. 2005.

Gómez C. La electrocoagulación como proceso de descontaminación de aguas residuales y herramienta de educación químicoambiental. 2018.

Gonzales Castro A, Oseda Gago D, Ramírez Rosales FG, Gave Chagua JL. como aprender y-enseñar investigacion-cientifica. Huancavelica; 2011.

Hernández F, Mejía R. Evaluación del sistema de electrocoagulación para disminuir la carga contaminante a escala de laboratorio. 2019.

Hernández L. Investigación sobre procesos avanzados de tratamiento y depuración de las aguas mediante electrocoagulación. 2011.

Jiménez C. La Contaminación Ambiental en México: Causas, efectos y tecnología apropiada. Limusa. 2001.

De la cruz G, Silva S, Inca G. Tratamiento de aguas residuales de la industria de curtiembre mediante el método de electrocoagulación para la reducción de la Demanda Química de Oxigeno y Cromo. 2017.

López V, Buitrón M, García H, Cervantes C. Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño (IWA). 2017.

Morales P, Acosta N. Sistema de electrocoagulación como tratamiento de aguas residuales galvánicas. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 20(1), 33. 2010.

Mostafa K. Salvemos El Planeta: Problemas y Esperanzas (Primera 1992). Springer Science & Business Media. 2012.

Muñoz M. Sistema de tratamiento de aguas residuales de matadero: Para una población menor 2000 habitantes. 2005.

Navarro R. ¿Qué es la energía fotovoltaica? APPA Renovables. 2020.

OEFA. ¿Fiscalización ambiental en aguas residuales. www.oefa.gob.pe. 2014.

Paitan D, Sifuentes C. Remoción de contaminantes de aguas residuales de un matadero de equinos por el método de electrocoagulación a nivel de laboratorio [Universidad Nacional del Centro del Perú]. 2018.

Pilco P, Jaramillo P. Sistemas fotovoltaicos para iluminación: Paneles fotovoltaicos. 2010.

Quispe Q. Electrocoagulación en la remoción de mercurio de las aguas residuales en el centro poblado la rinconada—Puno [Universidad Nacional del Altiplano]. 2015.

Ramon. 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 - Huancayo. 2021.

Restrepo M, Arango R, Garcés G. La Electrocoagulación: Retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. 2006.

Riccio. remoción de contaminantes de aguas residuales urbanas del colector agua de las vírgenes por electrocoagulación, a nivel de laboratorio, utilizando como fuente energética un panel fotovoltaico desarrollado en la Universidad Nacional del Centro del Perú. 2015.

Robles M, López B. Diseño de un prototipo para el tratamiento de aguas residuales domésticas, basado en electrocoagulación [Universidad de la Salle]. 2017.

Ruiz. prototipo de una celda de electrocoagulación abastecida con energía fotovoltaica para tratamiento de aguas residuales en la industria minera realizado en la

Corporación Universitaria Minuto de Dios- Bogotá. 2017.

Sierra R. Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico (Primera edición). Ediciones de la U. 2011.

Signorini P, Civit G, Bonilla P, Cervantes R, Calderón V, Pérez M, et al. Evaluación de riesgos de los rastros y mataderos municipales. 2006.

Tamani A. Electrocoagulación para la remoción de carga contaminante del efluente del matadero municipal de Tingo María [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. 2017.

Tamayo P. Potencial de las Energías Renovables en el Perú. Ministerio de Energía y Minas. 2011.

Tchobanoglous G, Burton F. Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización: Volumen I y II (3ra edición). McGrawHill. 1991.

UNESCO. Día Mundial del Agua 2017 Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 2017.

Valdez M, Foy V. Glosario jurídico ambiental peruano (Cuidado de la edición: Sara Chávez Urbina). Academia de la magistratura. 2012.

Veall F. Estructura y funcionamiento de mataderos medianos en países en desarrollo. Food & Agriculture Org. 1993.

Velásquez S. Reducción de carga orgánica en el tratamiento avanzado de aguas residuales del Camal Municipal de Chupaca mediante el método de electrocoagulación – Junín [Universidad Alas Peruanas]. 2017.

Anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia.

Problema General	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología de investigación
¿Será posible la remoción de la carga contaminante del efluente del Camal Municipal de Huancavelica, aplicando la técnica de electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos?	**Objetivo general:** Evaluar la eficiencia de la técnica de la electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos a nivel de laboratorio como reductor de contaminantes del efluente del Camal Municipal de Huancavelica. **Objetivos específicos** Caracterizar el efluente del Camal Municipal de Huancavelica Determinar los parámetros de pH, Temperatura y Conductividad Eléctrica. Evaluar la concentración de los parámetros físicos: Solidos Totales Suspendidos (STS) y Aceite y grasas(AG) del efluente del camal aplicando la técnica de electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos a nivel de laboratorio. Evaluar la concentración de los parámetros químicos: Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO_5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) del efluente del camal aplicando la técnica de electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos a nivel de laboratorio. Evaluar la concentración del parámetro microbiológico: Coliformes Fecales del efluente del camal aplicando la técnica de electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos a nivel de laboratorio. Determinar el porcentaje de remoción de contaminantes del efluente del Camal Municipal de Huancavelica mediante la aplicación de la técnica de electrocoagulación.	**Hipótesis de Investigación (H1)** La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos reduce la concentración de los contaminantes del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%. **Hipótesis Nula(Ho)** La electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos no reduce la concentración de los contaminantes del efluente de Camal Municipal de Huancavelica en más del 70%.	**Variable Dependiente (Y)** **Y1:** Remoción de contaminantes del efluente del Camal Municipal de Huancavelica. **Variable Independiente (X) X1**: Electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos.	Parámetros Físicos Parámetros Químicos Parámetros Microbiológicos Factores eléctricas	Conductividad Eléctrica Temperatura Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO_5) Demanda Química de Oxígeno (DQO) Solidos Totales Suspendidos/ Aceites y grasas Potencial de Hidrógeno (pH) Coliformes Fecales Intensidad del corriente	**Tipo de investigación** Investigación Aplicada. **Nivel de investigación** Investigación Explicativa**.** **Método de investigación** Investigación Deductivo. **Diseño de investigación** Diseño experimental **Población** Efluente generado por el Camal Municipal de Huancavelica. . **Muestra** Considerado como muestra 35 L **Técnicas de Muestreo** La técnica es de muestreo no probabilístico. **Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos:** -Técnicas: Observacional **Instrumentos:** -Multiparámetro Incubadora Autoclave

Anexo 2: Matriz de Operacionalización de Variables

Matriz de Operacionalización de Variables

	Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Instrumento	Unidad de Medida
Dependiente	Remoción de contaminantes del efluente del Camal Municipal de Huancavelica.	. La concentración de los contaminantes del efluente del camal municipal de Huancavelica dependerá de las características físicas, químicas y microbiológicas presentes.	El proceso se realizará mediante la metodología de observación y análisis en el laboratorio por diferentes técnicas	Parámetros Físicos	Conductividad Eléctrica	Multiparámetro	uS/cm
					Temperatura		℃
				Parámetros Químicos	Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO_5)	Análisis en laboratorio certificado	mg/L
					Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Análisis en laboratorio certificado	mg/L
					Solidos Totales Suspendidos /Aceites y Grasas	Análisis en laboratorio certificado	mg/L
					Potencial de Hidrógeno (pH)	Multiparámetro	Unidad de pH
				Parámetros Microbiológicos	Coliformes Fecales	Método de Número más Probable (NMP)	NMP/ml*100
Independiente	Electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos (intensidad de corriente y tiempo).	Proceso en el cual son desestabilizadas las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica generada por energía solar en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, siendo el hierro y el aluminio los más utilizados.	Se usará una celda de vidrio, donde se colocarán los electrodos conectados a una fuente de energía externa	Factores eléctricos	Intensidad del corriente	Amperímetro	Amperios (A)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
(Creada por ley N°25265)
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE PROMOCIÓN, DIFUSIÓN Y REPOSITORIO

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Por medio del presente y de acuerdo al siguiente detalle:

- trabajo de investigación titulado:
  "ELECTROCOAGULACIÓN MEDIANTE PANELES FOTOVOLTAICOS A NIVEL DE LABORATORIO PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL EFLUENTE DEL CAMAL MUNICIPAL DE HUANCAVELICA"

- Presentado por las autoras:
  INGA ROJAS, Lourdes Tania.
  TRUJILLO FLORES, Alizan Milagros.

- Docente asesor:
  Dr. SÁNCHEZ ARAUJO, Víctor Guillermo

- Para obtener:
  El Título Profesional de: **INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO.**

La Unidad de Promoción, Difusión y Repositorio, **certifica que es un trabajo de investigación original** y que no ha sido presentado ni publicado en revistas científicas nacionales e internacionales, ni en sitio o portal electrónico.

Por tanto, en cumplimiento del Art.4° del Reglamento del Software Anti plagio de la Universidad Nacional de Huancavelica, se dictamina que el trabajo de investigación fue analizado por el software anti plagio TURNITIN (realizado por el docente Asesor), se expide el presente.

ORIGINALIDAD	SIMILITUD
93. 0 %	7. 0 %

El Certificado se expide el 19 de octubre del año 2022.

Mg. ESPINOZA QUISPE CARLOS ENRIQUE
JEFE DE LA UNIDAD DE PROMOCIÓN, DIFUSIÓN Y REPOSITORIO

N° 390-2022

Anexo 4: Cadena de Custodia

Certi min

CADENA DE CUSTODIA PARA MUESTRAS DE AGUA

CERTIMIN S.A. V°B° FECHA
RECEPCION 1 : 21/10/28
RECEPCION 2 : -/-/-
INSPECCIÓN : 21/10/28
OBSERVACIÓN : -/-/-

P21-8604 Pág. 1 / 1

N° DE ORDEN DE TRABAJO: NOV1013.R21

N° DE CADENA DE CUSTODIA: 1916-21/CERTIMIN

N° DE SOLICITUD DE SERVICIO AMBIENTAL: 482-21

NOMBRE O RAZÓN SOCIAL DEL CLIENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

EMPRESA / UNIDAD:

UBICACIÓN DEL MUESTREO (DISTRITO / PROVINCIA / DEPARTAMENTO): HUANCAVELICA - HUANCAVELICA - HUANCAVELICA

REFERENCIA: Camal Municipal de Huancavelica - Chuñuranra

CONTACTO: 939716899 / Alizon.TrujilloFlores@gmail.com

N°	ESTACIÓN DE MUESTREO	FECHA	HORA	MATRIZ (*)	METALES TOTALES	METALES DISUELTOS	CN TOTAL	CN WAD	CN LIBRE	NITRÓGENO AMONIACAL	AMONIACO	FLUORUROS	CLORUROS	DUREZA TOTAL	ALCALINIDAD TOTAL	HCO_3, $CO_3^=$, OH	STD	TSS	TURBIDEZ	FENOLES	NITRATOS	NITRITOS	SULFURO DE HIDRÓGENO	SULFUROS	SULFATOS	COLOR	SAAM	FOSFATOS	FOSFORO TOTAL	Cr(VI)	DQO	DBO_5	ACEITES Y GRASAS	COLIF. TOTALES Y COLIF. FECALES	E. COLI	ENTEROCOCOS	HUEVOS DE HELMINTOS	SALMONELLA	VIBRIO CHOLERAE	PCB'S	COV'S	PAH'S	PLAGUICIDAS	Refrigerado	Sin preservar	HNO_3	H_2SO_4	AcZn + NaOH	NaOH	NH_4SO_4 + NaOH	N° de Frascos	OBSERVACIÓN
1	PM-01	27/10/21	11:06	2.1														X													X	X	X											X	X		X				4	
2	PM-02	27/10/21	12:32	2.1														X													X	X	X											X	X		X				4	
3	PM-03	27/10/21	13:44	2.1														X													X	X	X											X	X		X				5	+ Adicional
4	PM-04	27/10/21	14:25	2.1														X													X	X	X											X	X		X				4	
5	PM-05	27/10/21	15:30	2.1														X													X	X	X											X	X		X				5	+ Adicional
6	PM-06	27/10/21	16:15	2.1														X													X	X	X											X	X		X				5	+ Duplicado
7	PM-07	27/10/21	17:22	2.1														X													X	X	X											X	X		X				5	+ Duplicado

Observaciones:
Metales Totales:
Método: ICP ☐ AA Hg ☐

Metales Disueltos:
Método: ICP ☐ AA Hg ☐

Observaciones en la Recepción de Muestras:

Responsable del Muestreo: TRUJILLO FLORES, Alizon Milagros; INGA ROJAS, Lourdes Tania — Firma: [firma]

QA/QC
Blanco (campo y viajero) ☐
Duplicado de Campo ☐

Fiscalizador o Supervisor: - — Firma: - — Fecha: - — Hora: -

Recibido por: Marlény Suárez — Firma: [firma] — Fecha: 21-10-28 — Hora: 12:30

MATRIZ Referencia: IC-MON-16

1. AGUA NATURAL
1.1) Agua Subterránea: A. Manantial
1.2) Agua Subterránea: A. Termal
1.3) Agua Superficiales: Río
1.4) Agua Superficiales: Laguna / Lago
1.5) Agua superficiales: Agua de depositación atmosférica (lluvia pluvial)

2. AGUA RESIDUAL
2.1) Agua residual industrial
2.2) Agua residual doméstica
2.3) Agua residual industrial

3. AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO
3.1) Agua potable (consumo)
3.2) Agua de mesa (consumo)
3.3) Agua envasada (consumo)
3.4) Agua de piscina (uso)
3.5) Agua de laguna artificial (uso)

4. AGUA SALINA
4.1) Agua de mar
4.2) Agua salobre
4.3) Salmuera
4.4) Agua de inyección y reinyección.

5. AGUA DE PROCESO
5.1) Agua de circulación o enfriamiento
5.2) Agua de alimentación para calderas
5.3) Agua de calderas
5.4) Agua de lixiviación
5.5) Agua de purificación
5.6) Agua de inyección y reinyección

OTROS

Corr no 10280121

CERTIMIN S.A. VºBº FECHA
RECEPCIÓN 1 : 21/10/28
RECEPCIÓN 2 : -/-/-
INSPECCIÓN : 21/10/28
OBSERVACIÓN : -/-/-

REPORTE DE PARÁMETROS DE CAMPO DE AGUA

P21-8604

Nº ORDEN DE TRABAJO:	NOVJOJ.221
Nº CADENA DE CUSTODIA:	1916-21 / CERTIMIN
Nº SSA:	482-21

EMPRESA / UNIDAD / PROYECTO:	-
CLIENTE:	-

Nº	Estación de Muestreo	Referencia y/o Descripción	Matriz (*)	Fecha	Hora	Coordenadas Geográficas UTM ZONA: PSAD 56( ) WGS 84(X)	Parámetros In-Situ Agua: T (°C) Ambiente	T (°C) Agua	pH	Conductividad mS/cm ( ) µS/cm ( )	Oxigeno disuelto (mg/L)	Cloro libre residual (mg/L)	Cloro total residual (mg/L)	Salinidad (‰)	Turbidez (NTU)	Solidos Sedimentales (ml/L)	Caudal: Método de Caudal (**)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Distancia (m)	Volumen (L)	Tiempo (s)	Nivel Freático / Carga Hidraúlica: Longitud de Sonda (m)	Longitud Total (m)	Tubería Libre (m)	Cota (m.s.n.m.)	Observaciones
1	PM-01	Canal Municipal de Huancavelica	2.1	27/10/21		N: 8586020 E: 0495891 Altitud: 3790	18	9.9	6.45																			
2	PM-02	Laboratorio de Universidad Nacional de Huancavelica	2.1	27/10/21		N: E: Altitud:	15																					
3	PM-03	Laboratorio de Universidad Nacional de Huancavelica	2.1	27/10/21		N: E: Altitud:	15																					
4	PM-04	Laboratorio de Universidad Nacional de Huancavelica	2.1	27/10/21		N: E: Altitud:	14.5																					

Control de Calidad en campo

Duplicado Campo (Precisión)												
Conforme												
No conforme												
Valor del Estándar												
Estándar (Veracidad)												
Conforme												
No conforme												

Precisión		Veracidad	
pH: ± 0.1 Unid pH.	Salinidad: (0 - 2)%	pH: ± 0.1 Unid pH.	Salinidad: ± 0.1 ‰
Temperatura : ± 0.5 °C	Cloro libre (residual) / *Cloro Total (residual)* : R. Bajo: (0 - 20)% R. Alto: (0 - 20)%	Temperatura : ± 0.5 °C	Cloro libre (residual) / *Cloro Total (residual)* R. Bajo: (50 - 150)% R. Alto: (90 -110)%
Turbidez: (0 - 20)%		Turbidez: (95 - 105)%	
Oxigeno disuelto: ± 0.05 mg/L	*S. Sedimentables: (0 - 20)%*	Oxigeno Disuelto: ± 0.1 mg/L	*S. Sedimentables: (70-130)%*
Conductividad: (0 - 2)%		Conductividad: (99-101%)	
Caudal:(0-20)%		Caudal: %RSD ≤ 20%	

EQUIPOS UTILIZADOS EN CAMPO

MULTIPARÁMETRO	OXÍMETRO	GPS	TURBIDÍMETRO	MEDIDOR DE CLORO	CONO IMHOFF:	CORRENTÓMETRO	OTROS
Código: Marca:	Código: Marca:	Código: Marca:	Código: Marca:	Código: Marca:	Código: Marca:	Código: Marca:	Código: Marca:

OBSERVACIONES:

Responsable(s) del muestreo:	-	Firma:	-
Fiscalizado o supervisor:	-	Firma:	-
Recibido por:	-	Firma:	-

Fecha: -

MATRÍZ (*) y ***METODO DE CAUDAL (**)*** : Ver tipos de matrices ***y Método*** (Parte de atrás del formato)

REFERENCIA: DCI-MON-01

CERTIMIN S.A. VºBº FECHA
RECEPCIÓN 1 : 21/10/28
RECEPCIÓN 2 : -/-/-
INSPECCIÓN : 21/10/28
OBSERVACIÓN : -/-/-

REPORTE DE PARÁMETROS DE CAMPO DE AGUA

P21-8604

Nº ORDEN DE TRABAJO:	NOV2023.R21
Nº CADENA DE CUSTODIA:	1916-21 / CERTIMIN
Nº SSA:	482-21

EMPRESA / UNIDAD / PROYECTO:	-
CLIENTE:	-

Nº	Estación de Muestreo	Referencia y/o Descripción	Matriz (*)	Fecha	Hora	Coordenadas Geográficas UTM ZONA: PSAD 56( ) WGS 84( )	Parámetros In-Situ Agua: T (°C) Ambiente	T (°C) Agua	pH	Conductividad mS/cm ( ) µS/cm ( )	Oxigeno disuelto (mg/L)	Cloro libre residual (mg/L)	Cloro total residual (mg/L)	Salinidad (‰)	Turbidez (NTU)	Sólidos Sedimentales (ml/L)	Método de Caudal(**)	Caudal: Ancho (m)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Distancia (m)	Volumen (L)	Tiempo (s)	Nivel Freático / Carga Hidraúlica: Longitud de Sonda (m)	Longitud Total (m)	Tuberia Libre (m)	Cota (m.s.n.m.)	Observaciones
5	PM-05	Laboratorio de Universidad Nacional de Huancavelica	2.1	27/10/21		N: E: Altitud:	13																					
6	PM-06	Laboratorio de Universidad Nacional de Huancavelica	2.1	27/10/21		N: E: Altitud:	13.5																					
7	PM-07	Laboratorio de Universidad Nacional de Huancavelica	2.1	27/10/21		N: E: Altitud:	11																					
						N: E: Altitud:																						

Control de Calidad en campo

Duplicado Campo (Precisión)	
Conforme	
No conforme	
Valor del Estándar	
Estándar (Veracidad)	
Conforme	
No conforme	

Precisión		Veracidad	
pH: ± 0.1 Unid pH.	Salinidad: (0 - 2)%	pH: ± 0.1 Unid pH.	Salinidad: ± 0.1 ‰
Temperatura : ± 0.5 °C	Cloro libre (residual) / *Cloro Total (residual)* : R. Bajo: (0 - 20)% R. Alto: (0 - 20)%	Temperatura : ± 0.5 °C	Cloro libre (residual) / *Cloro Total (residual)* R. Bajo: (50 - 150)% R. Alto: (90 -110)%
Turbidez: (0 - 20)%		Turbidez: (95 - 105)%	
Oxigeno disuelto: ± 0.05 mg/L		Oxigeno Disuelto: ± 0.1 mg/L	
Conductividad: (0 - 2)%	*S. Sedimentables: (0 - 20)%*	Conductividad: (99-101%)	*S. Sedimentables: (70-130)%*
Caudal:(0-20)%		Caudal: %RSD ≤ 20%	

EQUIPOS UTILIZADOS EN CAMPO

MULTIPARÁMETRO	OXÍMETRO	GPS	TURBIDÍMETRO	MEDIDOR DE CLORO	CONO IMHOFF:	CORRENTÓMETRO	OTROS
Código: Marca:	Código: Marca:	Código: Marca:	Código: Marca:	Código: Marca:	Código: Marca:	Código: Marca:	Código: Marca:

OBSERVACIONES:

Responsable(s) del muestreo: -	Firma: -	Fecha: -
Fiscalizado o supervisor: -	Firma: -	Fecha: -
Recibido por: -	Firma: -	Fecha: -

MATRÍZ (*) y ***METODO DE CAUDAL (**)*** : Ver tipos de matrices ***y Método*** (Parte de atrás del formato)

REFERENCIA: DCI-MON-01

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022

INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado

Registro N°LE -022

INFORME DE ENSAYO
N° NOV1013.R21

SOLICITANTE :	UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
DOMICILIO LEGAL :	Jr. Victoria Garma N° 275 Barr. Centro Huancavelica, Huancavelica,
SOLICITADO POR :	Alizan Milagros Trujillo Flores
SOLICITUD DE SERVICIO AMBIENTAL:	SSA N° 482-21 Cadena de custodia N° 1916-21/CERTIMIN
REFERENCIA :	Camal Municipal de Huancavelica - Chuñuranra Huancavelica / Huancavelica / Huancavelica Monitoreo Calidad de Agua
FECHA DE MUESTREO :	2021/10/27
MUESTRA TOMADA POR :	EL CLIENTE
PROTOCOLO :	--
TIPO DE MUESTRA:	Agua Residual Industrial
NÚMERO DE ESTACIONES DE MUESTREO :	7
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS :	Frascos de polietileno y vidrio refrigerados y sellados.
CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS : RECEPCIONADAS	Muestra en buena condición para el análisis solicitado
FECHA DE RECEPCIÓN :	jueves, 28 de Octubre de 2021
IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS :	Según se indica
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO :	2021-10-28 al 2021-11-04
FECHA DE REPORTE :	jueves, 04 de Noviembre de 2021
PERIODO DE CUSTODIA :	Hasta un mes. De acuerdo a las recomendaciones de la metodología o norma empleada.

EDGAR NINA VELÁSQUEZ
Jefe Ambiental
CQP. 729

Lima, 4 de Noviembre de 2021

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

"Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIMIN S.A."
"Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce".
Los resultados corresponden a las muestras indicadas.
El laboratorio no es responsable de la información proporcionada por el cliente.
Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió por parte del cliente.
Los ensayos han sido realizados en CERTIMIN S.A. sede Lima.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N°LE -022

INFORME DE ENSAYO
N° NOV1013.R21

RESULTADOS

Muestras		Ensayos											
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Limite de Detección LD	MON0000 Fecha Monitoreo	MON0000 Tipo Muestra	MA1000 Nor* WGS-84	MA1000 Est* WGS-84	MA1000 Altitud* msnm	MA1000 Temperatura* °C	MA1000 T-Aire* °C	MA1000 pH* Unid de pH	MA0174 STS mg/L 5	MA0002 AcyG mg/L 0.50	MA0756 DBO5 mg/L 2.0	MA0757 DQO mg/L 10
1	PM-01	2021-10-27 11:06	Agua Residual Industrial	**8586020**	**495891**	**3790**	**9.90**	**18.0**	**6.45**	471	30.69	821.1	1209
2	PM-02	2021-10-27 12:32	Agua Residual Industrial	--	--	--	--	**15.0**	--	245	2.61	186.4	404
3	PM-03	2021-10-27 13:44	Agua Residual Industrial	--	--	--	--	**15.0**	--	141	3.76	141.7	205
4	PM-04	2021-10-27 14:25	Agua Residual Industrial	--	--	--	--	**14.5**	--	153	3.51	96.4	126
5	PM-05	2021-10-27 15:30	Agua Residual Industrial	--	--	--	--	**13.0**	--	114	3.31	75.2	120
6	PM-06	2021-10-27 16:15	Agua Residual Industrial	--	--	--	--	**13.5**	--	104	2.44	47.3	134
7	PM-07	2021-10-27 17:22	Agua Residual Industrial	--	--	--	--	**11.0**	--	31	2.36	37.3	68

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.
Las Coordenadas*, Altitud*, Temperatura*, T-Aire*, pH*: son datos proporcionados por el cliente.
LD: Límite de Detección (Limite Reportable) que es tomado en base al Límite de Cuantificación del Método LCM.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N°LE -022

INFORME DE ENSAYO
N° NOV1013.R21

CONTROL DE CALIDAD

Muestras QC		Ensayos			
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Limite de Detección LD	MA0174 STS mg/L 5	MA0002 AcyG mg/L 0.50	MA0756 DBO5 mg/L 2.0	MA0757 DQO mg/L 10
1	Adición (% Recup.)	--	97.2	--	104.2
2	Adición (% Recup.)	--	101.0	--	101.4
3	Adición Rango (%)	--	80.0 - 120.0	--	85.0 - 115.0
4	STD - Recuperación Obtenido (%)	105.0	109.2	96.1	104.0
5	STD - Rango (%)	91.0-109.0	80.0-120.0	84.6-115.4	80.0-120.0
6	STD - Recuperación Obtenido (%)	--	--	--	105.4
7	STD - Rango (%)	--	--	--	80.0-120.0
8	PM-03 (Original)	--	--	141.7	205
9	PM-03 (Dup)	--	--	--	208
10	PM-05 (Original)	--	3.31	--	--
11	PM-05 (Dup)	--	3.24	--	--
12	PM-07 (Original)	31	--	--	--
13	PM-07 (Dup)	27	--	--	--
14	Blanco	<5	<0.50	<0.2	<10

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N°LE -022

INFORME DE ENSAYO
N° NOV1013.R21

METODOS DE ENSAYO Y CODIGOS DE SERVICIO

N°	Descripción			
	Ensayo	Denominación	Cod.Serv	(1) Norma o Referencia
1	**Nor ***	**Norte**	**MA1000**	**Estandar GPS**
2	**Altitud ***	**Altitud**	**MA1000**	**Estandar GPS**
3	**Est ***	**Este**	**MA1000**	**Estandar GPS**
4	DQO	Demanda Química de Oxigeno	MA0757	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed.2017. Part-5220 D. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.
5	DBO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno	MA0756	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23rd Ed. 2017. Part 5210 B. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5- Day BOD Test.
6	**Temperatura ***	**Temperatura**	**MA1000**	**SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017. Part 2550 B. Temperature. Laboratory and Field Methods.**
7	**pH ***	**Potencial de Hidrógeno**	**MA1000**	**SMEWW APHA- AWWA- WEF 23 rd Ed. 2017. Part-4500-H+ B. pH value. Electrometric Method.**
8	AcyG	Aceites y grasas	MA0002	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017. Part-5520 B. Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition - Gravimetric Method.
9	STS	Sólidos Totales Suspendidos	MA0174	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017. Part-2540 D. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C.
10	**T-Aire ***	**Temperatura Ambiental**	**MA1000**	**Protocolo de Parámetros Meteorológicos**

(1) SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
APHA : American Public Health Association.
AWWA: American Water Works Association.
WEF : Water Environment Federation.
EPA : Environmental Protection Agency.
ASTM: American Society for Testing and Materials.
ISO: International Organization for Standardization.
NTP: Norma Técnica Peruana.
NIOSH: The National Institute for Occupational Safety and Health.

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Anexo 6. Panel fotográfico

Figura 66. Construcción de los soportes para las placas de aluminio y hierro.

Figura 67. Instalación de los paneles fotovoltaicos mono cristalinos.

Figura 68. Instalación de los equipos para el sistema de electrocoagulación.

Figura 69. Punto de toma de muestra coordenadas UTM: 495934.78 m E y 8586037.05 m S.

Figura 70. Toma de muestra para la caracterización del efluente del Camal Municipal de Huancavelica.

Figura 71. Recolección de muestras de agua residual del Camal Municipal de Huancavelica.

Figura 72. Medición de los parámetros de conductividad eléctrica, pH y temperatura

Figura 73. Instalación de soportes de las placas de aluminio y hierro.

Figura 74. Conexión de las pinzas cocodrilo hacia las placas de aluminio e hierro.

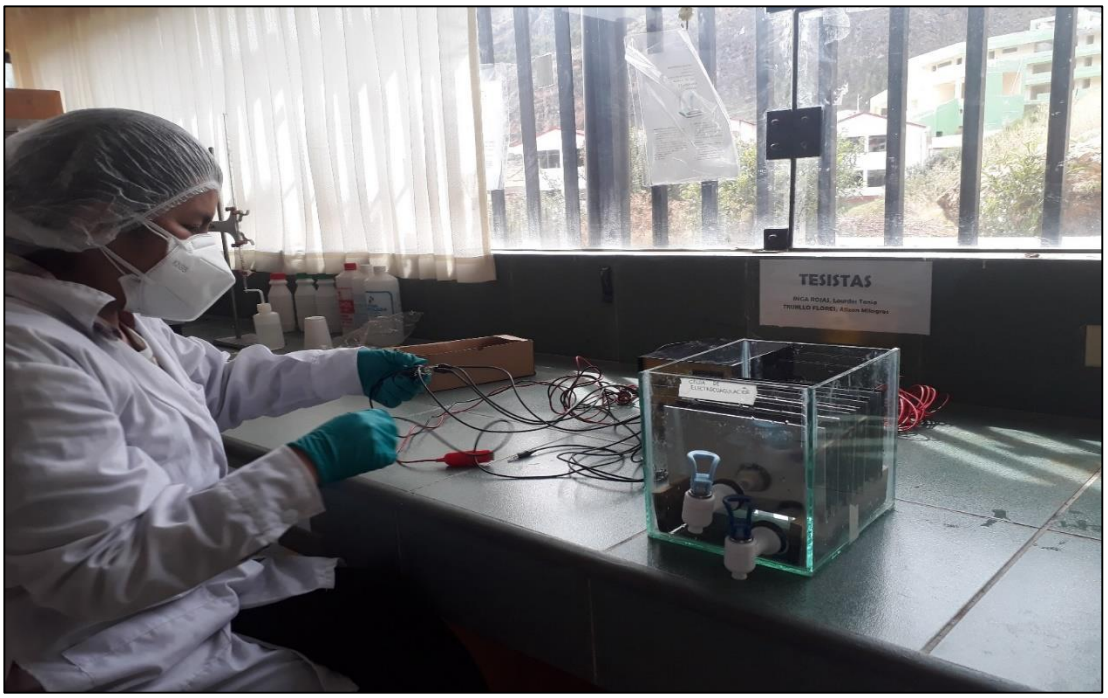


Figura 75. Instalación de los paneles con grado de inclinación para la captación de los rayos solares.

Figura 76. Colocación de las placas de aluminio y hierro dentro de la celda.

Figura 77 . Conexión de las pinzas cocodrilo hacia la fuente reguladora de corriente (26V – 10 A)

Figura 78. Sistema de electrocoagulación listo e instalado.

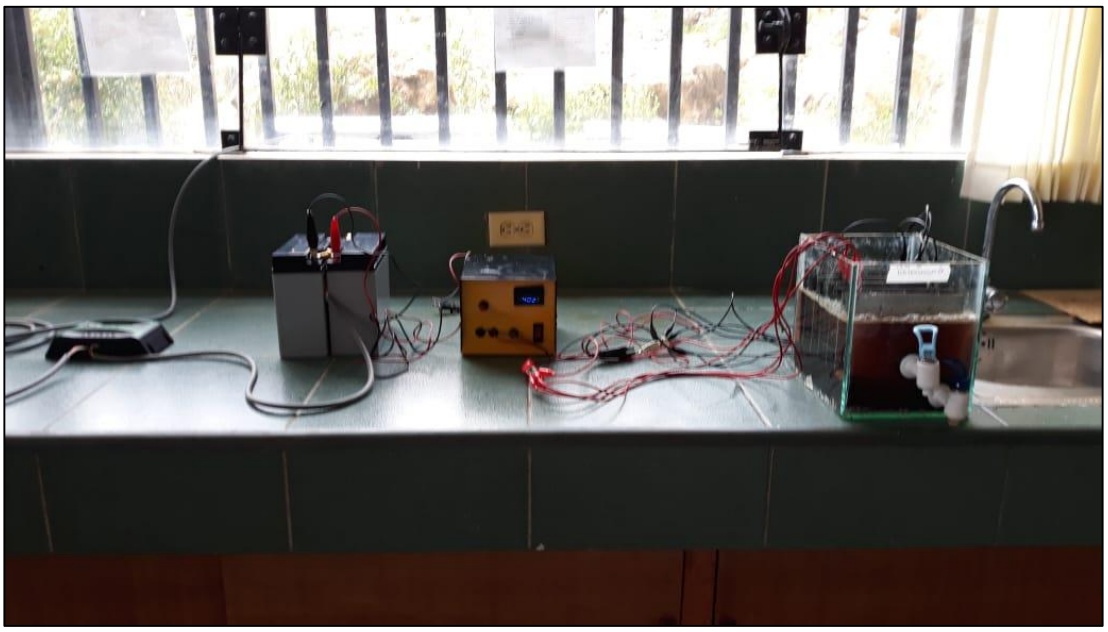


Figura 79. Colocando la muestra de agua residual de camal 4.5 litros en la celda para el proceso de electrocoagulación.

Figura 80. Primera etapa de electrocoagulación.

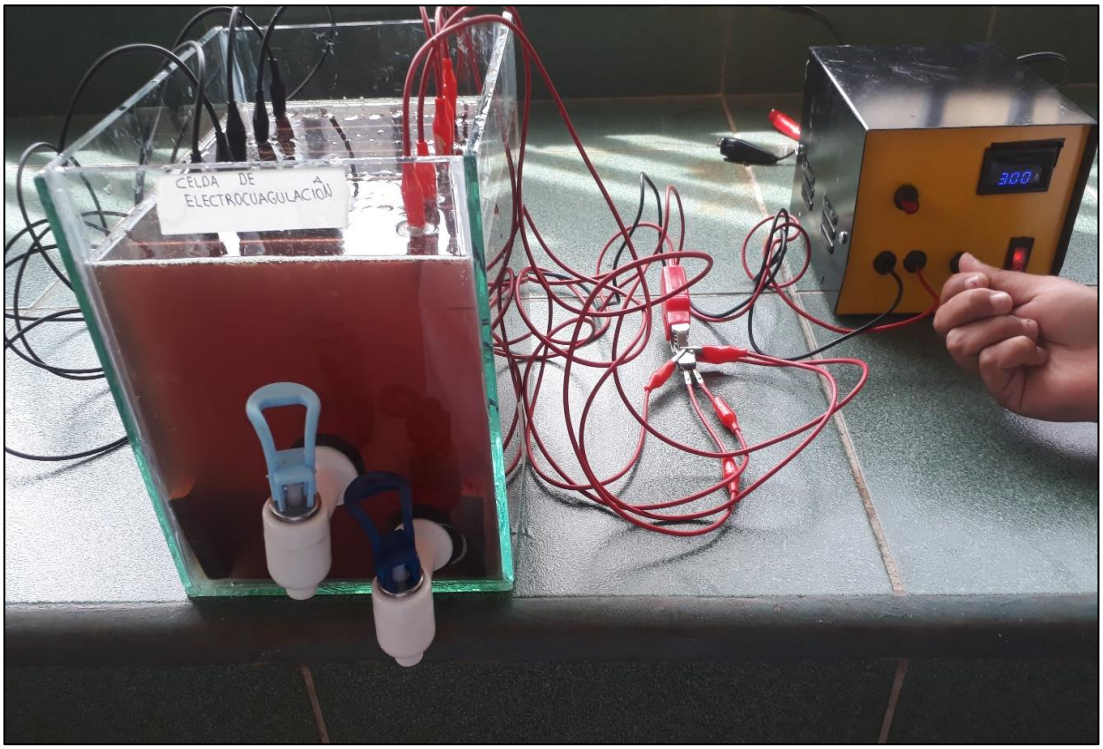


Figura 81. Segunda etapa fase de sedimentación fase espumosa y fase de remoción

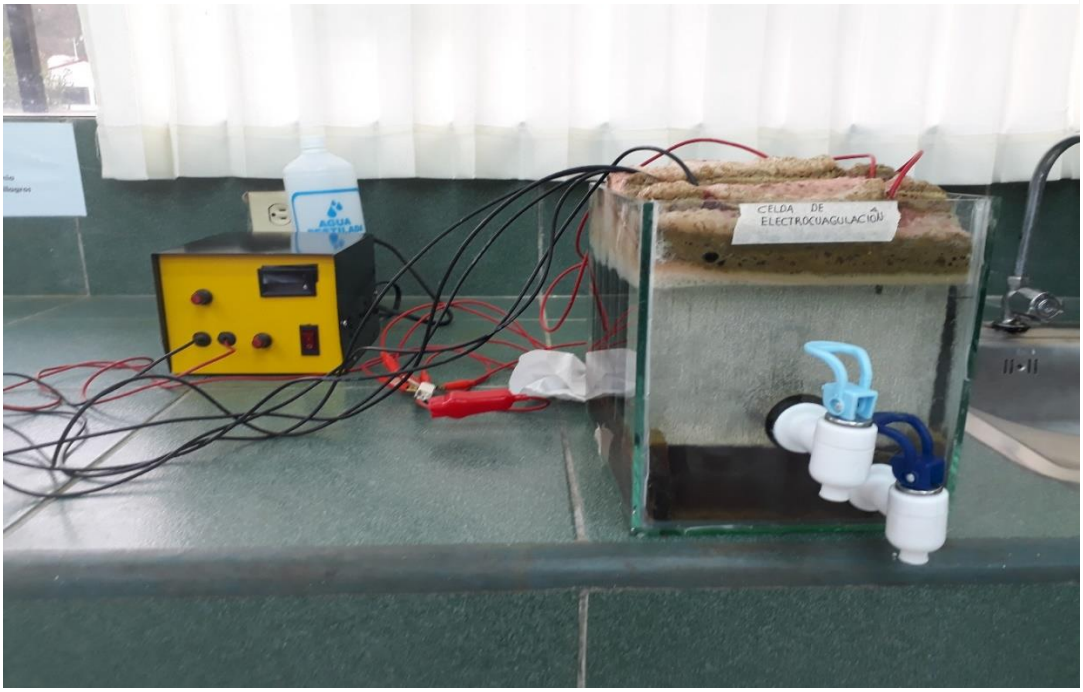


Figura 83. Vista Lateral de la Celda de Electrocoagulación

Figura 82. Final del proceso de electrocoagulación en el tratamiento 6 (I=5 Amperios Y T= 50 Minutos)

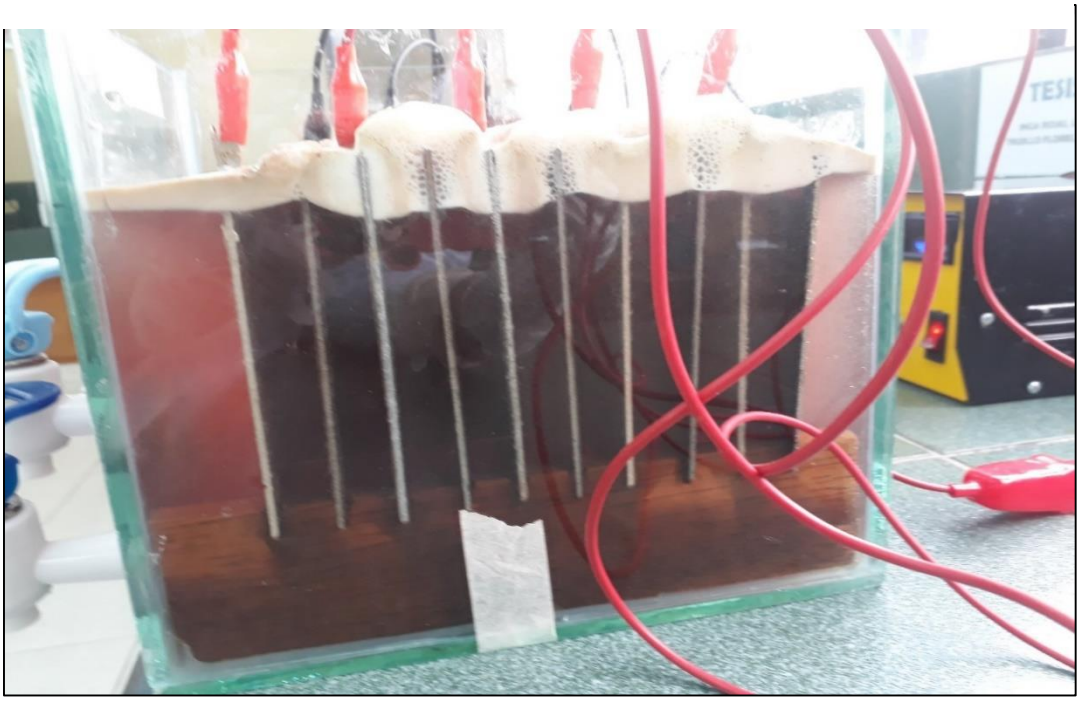


Figura 84. Proceso de colección de muestra tratada de agua ya tratada a través del proceso de electrocoagulación.

Figura 85. Recojo de muestra para análisis de grasa.

Figura 86. Recojo de muestra para análisis de DBO_5 y DQO

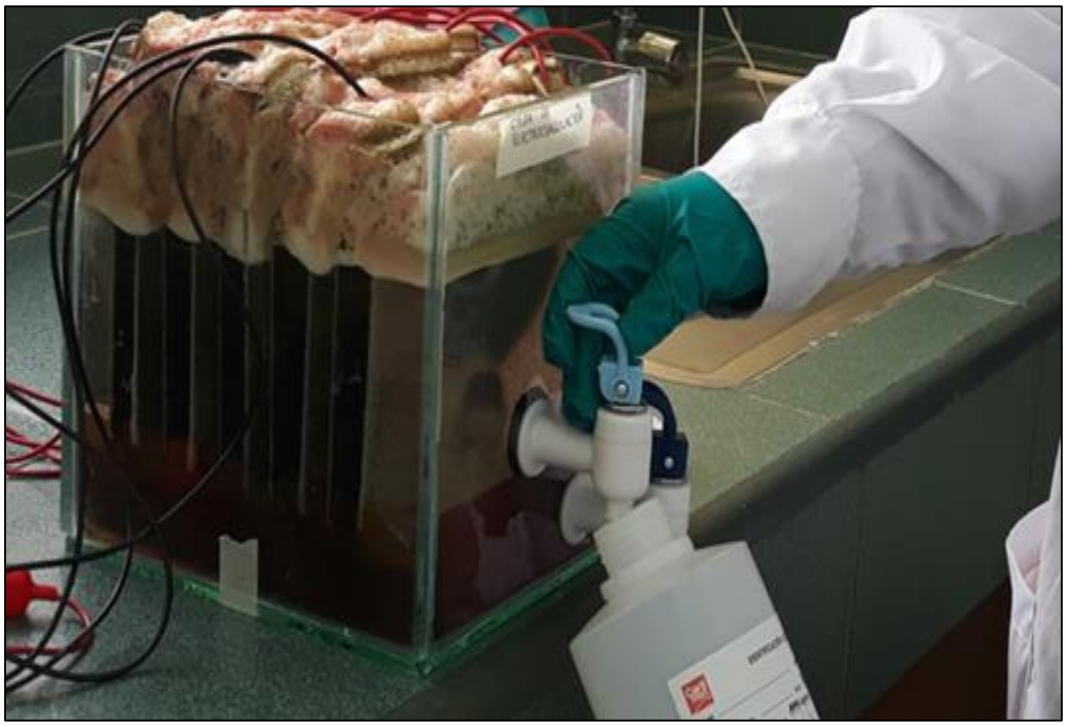


Figura 87. Control de temperatura en las muestras.

Figura 88. Comparando los distintos niveles de tratamiento en la muestra

Figura 89. Muestra por cada tratamiento con intensidades de 3A, 4A Y 5A en un Tiempo de 30 y 50 Minutos.

Figura 90. Traslado de las muestras de agua electrocoagulada en sus respectivos envases al Laboratorio CERTIMIN acreditado por INACAL para sus respectivos análisis de los parámetros de DBO_5,DQO,STS y Aceites y Grasas

Figura 91. Análisis microbiológico de Coliformes Fecales

Figura 92. Proceso de incubación de las muestras.

Figura 93. Sistema completa de la técnica de Electrocoagulación realizado en el Laboratorio Central – Laboratorio de Microbiología Y Parasitología.