



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERIA

---

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL, MEDIANTE EL MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN – CAJAMARCA 2018”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Ambiental**

**Autor:**

Bach. Moreno Estacio, Rosa Michel

**Asesor:**

Mg. Ing. Gary Christiam Farfán Chilicaus

Cajamarca – Perú

2018

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	13
1.1. Realidad problemática .....	13
1.2. Formulación del problema.....	14
1.3. Justificación.....	14
1.4. Limitaciones .....	14
1.5. Objetivos .....	15
1.5.1. Objetivo general.....	15
1.5.2. Objetivos específicos.....	15
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Antecedentes .....	16
2.2. Bases Teóricas .....	17
2.2.1. Aguas residuales .....	17
2.2.2. Caracterización de las aguas residuales.....	18
2.2.3. Etapas de tratamiento del agua residual en camales .....	21
2.2.4. Electrocoagulación .....	30
2.2.5. Densidad de corriente.....	39
2.2.6. Diseño.....	39
2.2.7. Problemas ambientales por contaminación de camales.....	49
2.2.8. Residuos del camal .....	51
2.3. Hipótesis .....	56
CAPÍTULO 3. GENERALIDADES.....	57
3.1. Aspectos generales del camal municipal de Cajamarca .....	57
3.2. Ubicación .....	57
3.3. Descripción de la actividad .....	58
3.4. Misión.....	59
3.5. Visión.....	59
3.6. Organigrama .....	59
3.7. Personal .....	60
3.8. Maquinaria y equipo.....	60
3.9. Proveedores y Clientes .....	61

3.10. Oferta .....	61
<b>CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA.....</b>	<b>62</b>
4.1. Operacionalización de variables .....	62
4.2. Diseño de investigación .....	63
4.2.1 Tratamiento de datos.....	64
4.3. Unidad de estudio .....	65
4.4. Población .....	65
4.5. Muestra (muestreo o selección).....	65
4.6. Métodos y técnicas .....	65
4.7. Procedimientos de recolección de datos .....	66
4.8. Instrumentos .....	67
4.8.1. Equipos.....	67
4.8.2. Instrumentos:.....	67
4.8.3. Materiales .....	67
4.8.4. Servicios.....	67
4.9. Procedimientos de análisis de datos .....	68
4.9.1. Proceso experimental.....	68
4.9.2. Cálculos de la densidad de corriente .....	69
4.9.3. Tiempo de retención.....	69
<b>CAPÍTULO 5. RESULTADOS.....</b>	<b>70</b>
5.1. Tipo de materiales en la ejecución de los ensayos de electrocoagulación. ....	70
5.2. Establecimiento del diseño de la celda para los ensayos de electrocoagulación. ....	70
5.3. Cálculos de la densidad de corrientes obtenidas durante el método de electrocoagulación .....	71
5.4. Cálculos de la densidad de corriente durante el método de electrocoagulación. ....	71
5.5. Resultado del DBO <sub>5</sub> inicial de las aguas residuales del camal municipal, obtenido antes de los ensayos de electrocoagulación. ....	72
5.6. Resultados del DBO <sub>5</sub> , obtenidos después de la electrocoagulación de agua residual. ....	73
5.7. Resultado del cálculo de porcentaje de remoción de DBO <sub>5</sub> .....	74
5.8. Resultados de análisis de varianza (ANVA) para la remoción de DBO <sub>5</sub> mediante electrocoagulación. ....	75

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN .....	78
6.1. Caracterización de las aguas residuales del camal municipal .....	78
6.1.1. Metales presentes en las aguas residuales. ....	78
6.2. Para el tipo de materiales en los ensayos de la electrocoagulación .....	79
6.3. Para los Resultados de Remoción del DBO <sub>5</sub> .....	79
6.4. Análisis de la varianza con un factor (ANVA) .....	82
CONCLUSIONES.....	83
RECOMENDACIONES .....	84
APÉNDICE.....	85
ANÁLISIS DE LA VARIANZA CON UN FACTOR (ANVA) .....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
LINKOGRAFÍA .....	90
ANEXOS.....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Principales características del agua.....	19
Tabla 2: Composición agua residual de un matadero (Stecher y Ruprecht) .....	21
Tabla 3: Valores de diferentes variables en el proceso de electrocoagulación para distintos contaminantes de diversas fuentes de aguas residuales .....	34
Tabla 4: Información usual para el diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual .....	41
Tabla 5: Estándares de diseño para sedimentadores primarios.....	42
Tabla 6: Valores recomendados de la carga superficial para distintas suspensiones .....	43
Tabla 7: Valores de las constantes empíricas “A” “B” .....	45
Tabla 8: Parámetros de diseño de sedimentadores secundarios.....	47
Tabla 9: Camal Municipal de Cajamarca .....	57
Tabla 10: Cantidad del personal en cada puesto.....	60
Tabla 11: Lista de maquinarias, equipos y herramientas .....	60
Tabla 12: Tipos de carne producidos por el camal Municipal de Cajamarca .....	61
Tabla 13: Matriz de operacionalización de variables .....	62
Tabla 14: Modelo matricial para el experimento bifactorial.....	64
Tabla 15: Niveles de las variables de estudio.....	68
Tabla 16: Matriz de diseño experimental. ....	68
Tabla 17: Tipo de materiales en la ejecución de los ensayos de electrocoagulación. ....	70
Tabla 18: Densidad de corriente durante el método de electrocoagulación.....	72
Tabla 19: Resultado del DBO <sub>5</sub> inicial de las aguas residuales. ....	72
Tabla 20: Reporte de análisis de laboratorio de servicios a la comunidad e investigación de la Universidad Nacional de Trujillo después de la electrocoagulación. ....	73
Tabla 21: Cálculo de remoción de DBO <sub>5</sub> .....	74
Tabla 22: Remoción de DBO <sub>5</sub> con sus dos variables (densidad de corriente y tiempo de retención) .....	74
Tabla 23: Análisis ANVA. ....	75
Tabla 24: Sumatoria de ejes .....	75
Tabla 25: Consideración para los cálculos. ....	76
Tabla 26: Cálculos con sumatoria de cuadrados y comprobación de error.....	76
Tabla 27: Tratamiento de las variables para la remoción de DBO <sub>5</sub> .....	76
Tabla 28: ANVA para la remoción de DBO <sub>5</sub> .....	77
Tabla 29: Valores según tabla de Fisher.....	77
Tabla 30: Resultados de hipótesis .....	77
Tabla 31: Presencia de metales en la muestra.....	78
Tabla 32: Materiales en los ensayos de electrocoagulación .....	79

Tabla 33: Remoción del DBO <sub>5</sub> según los ensayos, con muestra Inicial y luego del proceso de electrocoagulación. ....	80
Tabla 34: Resultado de remoción de dbo <sub>5</sub> después de los ensayos de electrocoagulación.....	81
Tabla 35: Remoción de DBO <sub>5</sub> en base a sus dos variables (tiempo de retención y la densidad de corriente) .....	81
Tabla 36: Cuadro del análisis de varianza para un diseño bifactorial para el proceso de electrolisis .....	85
Tabla 37: Datos obtenidos de los volúmenes de gas producido por electrolisis .....	86

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Principales características del agua .....	21
Ilustración 2: Tanque de remoción de arena.....	24
Ilustración 3: Sistema de electrocoagulación con ánodo de aluminio y cátodo de hierro .....	31
Ilustración 4: Reactores para electrocoagulación tipo bach .....	36
Ilustración 5: Reactor tipo filtro prensa.....	37
Ilustración 6: Reactor de electrodo cilíndrico rotativo .....	37
Ilustración 7: Reactor de lecho fluidizado .....	38
Ilustración 8: Ubicación del camal Municipal .....	57
Ilustración 9: Organigrama del camal Municipal de Cajamarca.....	59
Ilustración 10: Presentación del área de electrodo a utilizar para los cálculos. ....	71

## RESUMEN

Cajamarca es una ciudad hermosa con diferentes lugares turísticos y muy visitados, actualmente proyectando la tasa intercensal poblacional hasta el 2018, tiene 229,859 habitantes en toda la provincia, a diario los pobladores hacen el consumo de carnes de Vacunos, Porcinos y Ovinos, sin embargo, el camal municipal es un establecimiento que no cuenta con las condiciones adecuadas para el sacrificio de animales, dentro de ello no cumple con los estándares mínimos de calidad.

Actualmente se han incrementado diferentes tecnologías a fin de ayudar a solucionar los problemas ambientales, principalmente aguas residuales y aguas de actividad minera; entre otras, las cuales están orientadas hacia procesos de remediación, en esta investigación se propone la electrocoagulación por su capacidad de remover contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos.

La presente investigación ofrece un estudio fisicoquímico en una celda de electrocoagulación experimental, se estudió la influencia de la densidad de corriente y el tiempo de retención, sobre el porcentaje de la remoción del DBO<sub>5</sub> (demanda bioquímica del oxígeno) de las aguas residuales del camal municipal de Cajamarca.

El estudio experimental se realizó utilizando una solución sometida a diferentes densidades de corriente las cuales son 10, 20 y 40 mA/cm<sup>2</sup> y a diferentes tiempos de retención los cuales son 15, 30 y 60 minutos, con un pH inicial de 7.35 y con una T° inicial de 20.34°C. En la investigación tenemos que DBO<sub>5</sub> inicial de la muestra es de 2.650 mgO<sub>2</sub>/L, en el primer dato tomado después de la electrocoagulación tenemos que la remoción del DBO<sub>5</sub> es de 2.436 mgO<sub>2</sub>/L, en la muestra 27 la remoción del DBO<sub>5</sub>, es de 0.233 mgO<sub>2</sub>/L, obteniendo así una gran cantidad remoción de DBO<sub>5</sub>.

Al final de los 27 experimentos se logró una remoción de 91.21% de DBO<sub>5</sub> del Agua Residual del Camal Municipal de Cajamarca, disminuyendo así el grado de toxicidad. Asimismo, mediante el análisis ANVA (análisis de la varianza con un factor) se determinó que el tiempo de retención y la densidad de corriente afectan notablemente en el proceso de electrocoagulación para remover el DBO<sub>5</sub>.

Se concluye que, utilizando la técnica de electrocoagulación, se puede disminuir la toxicidad del agua residual del camal, ya que estas aguas están calificadas por el olor y color que poseen, y un alto riesgo para la salud humana, por la plaga de enfermedades que puede provocar. Por ello, es que con estas demostraciones se puede optar por utilizar la electrocoagulación, como una tecnología limpia y como una alternativa para tratar aguas residuales y obtener exitosos resultados.



## ABSTRACT

Cajamarca is a beautiful city with different tourist places and very visited, currently in the last census that took place has 28,086 inhabitants in all the province, every day the inhabitants make the consumption of different species such as cattle, swine and sheep, however, the camal municipal, is an place that does not have adequate conditions for the slaughter of animals, within this does not has the minimum quality standards that a center of this nature must have.

Currently, different technologies have been increased in order to help solve the problems of contaminated water, mainly sewage and waters of mining activity; among others, which are oriented towards remediation processes, within which electrocoagulation is proposed for its ability to remove both organic and inorganic pollutants.

The present investigation offers a physicochemical study in an experimental electrocoagulation cell, the influence of the current density and the retention time on the percentage of the removal of the DBO<sub>5</sub>, from the wastewater of the camal municipal of Cajamarca.

The experimental study was carried out using a solution subjected to different current densities, which are 10, 20 and 40 mA / cm<sup>2</sup> and at different retention times which are 15, 30 and 60 minutes, with an initial pH of 7.35 and with a T Initial temperature of 20.34 ° C. In the investigation we have Initial DBO<sub>5</sub> of the sample of 2,650 mgO<sub>2</sub>/ L, in the first day after the electrocoagulation we have the removal of the DBO<sub>5</sub> is of 2.436 mgO<sub>2</sub> / L, in the sample 27 the removal of the DBO<sub>5</sub>, is of 0.233 mgO<sub>2</sub>/ L , thus obtaining a large amount of DBO<sub>5</sub> removal.

At the end of the 27 experiments, a 91.21% removal of DBO<sub>5</sub> was obtained from the Residual Water of the Municipal Camal of Cajamarca, thus reducing the degree of toxicity. Likewise, ANVA analysis determined that retention time and current density significantly affect the electrocoagulation process to remove DBO<sub>5</sub>.

It is concluded that, using the technique of electrocoagulation, the toxicity of the waste water of the camal can be reduced, since these waters are qualified by the smell and color they possess, and a high risk for human health, by the plague of diseases that May cause. That is why, with these demonstrations you can choose to use electrocoagulation, as a clean technology and as an alternative to treat wastewater and obtain successful results.

## **NOTA DE ACCESO**

**No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales**

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- García J., (2010). *Remoción de arsénico en agua por electrocoagulación. Universidad Autónoma de México. México. pp. 144.*
- Rahmani A., (2008). *Removal of Water Turbidity by the Electrocoagulation Method. Journal of Research in Health Sciences Vol.8 N°01.*
- Gonzales, P., (2004). *Diagnóstico de prevención de la contaminación – Matadero de Ganado Vacuno. Report of the office environment and natural resources.*
- Valencia, J., (2012) *Diseño De Un Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales para El Área De Bovinos En El Camal Frigorífico Municipal De Riobamba, Riobamba – Ecuador.*
- Gonzales, L., (2013) *Diseño De Una planta De Tratamiento De Aguas Residuales Del Camal Municipal De Chupaca, Huancayo – Perú.*
- Perez, F., & Camacho, L., (2011). *TECNOLOGIAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS. Zona Poza Rica - Tuxpan: Universidad Veracruzana - Mexico.*
- García, N., Villanueva, P., Campos, E., & Velazquez, A., (2012) *Análisis de la adsorción como método de pulimento en el tratamiento de aguas residuales. Universidad Autónoma del estado de Mexico – Mexico.*
- Taveras, M., (2011). *Guía para Buenas Prácticas Ambientales en Mercados y Matadero. Programa de la USAID para la Protección Ambiental. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. República Dominicana.*
- Rodríguez, C., (2002). *Paper de Producción Animal I y de Introducción a la Producción Animal. Universidad Nacional de Rio Cuarto – Facultad de Agronomía Veterinaria. Argentina.*
- Lavagnino, He., (2016). *Eficiencia En La Remoción De Contaminantes De La planta De Tratamiento De Aguas Residuales De La Universidad Rafael Landívar. Universidad Rafael Landivar de Guatemala de la Asunción.*
- Restrepo, A., Arango, A., & Garcés, L., (2006) *La Electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Colombia.*
- Quispe, K., (2015) *“Electrocoagulación En La Remoción De Mercurio De Las Aguas Residuales En El Centro Poblado La Rinconada. Universidad Nacional del Antiplano. Puno.*
- Ramalho, R., (2014) *“Tratamiento de aguas residuales” Facultad de Ciencias e Ingeniería. Quebec – Canadá.*
- Metcalf y Eddy., (2012) *“Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización” Madrid.*

## LINKOGRAFÍA

- NoticiasSER.pe., (2015). *Cajamarca: La otra contaminación. Cajamarca. Asociación Servicios Educativos Rurales – SER*. Recuperado de <http://noticiasser.pe/03/06/2015/informe/cajamarca-la-otra-contaminacion>
- Cuido el Agua (2009)., *¿Qué son las Aguas Residuales?* Obtenido de <http://www.cuidoelagua.org/empapate/aguaresiduales/aguasresiduales.html>
- Yactayo, V., *Sedimentación Capítulo 7*. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/siete.pdf>
- Scribd., (2015) *Fundamentos de la Electrocoagulación*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/269308031/Fundamentos-de-Electrocoagulation>
- La Republica., (2016). *Aguas Residuales y su Impacto*. Obtenido de <https://www.larepublica.net/noticia/aguas-residuales-y-su-impacto-1>
- Universidad de Sevilla., (2017). *Densidad e Intensidad de Corriente (GIE). Departamento de Física Aplicada III*. Obtenido de [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Densidad\\_e\\_intensidad\\_de\\_corriente\\_\(GIE\)](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Densidad_e_intensidad_de_corriente_(GIE))
- Medina,M., (2015). *“Física de Fluidos y Termodinámica”, Caudal*. Obtenido de <https://mauriciomedinasierra.wordpress.com/>
- Virtual Pro., (2012) *Guía de buenas prácticas para la gestión de residuos industriales. Revista Virtual Pro. Bogotá – Colombia*. Obtenido de <https://www.revistavirtualpro.com/revista/gestion-de-residuos-industriales/4>
- Leonardo, Y. Rojas, C. & Lopez, P., (2014) *Laboratorio Coliformes*. Obtenido de <https://issuu.com/pedrolopezloaiza/docs/coliformes>
- Nuestra Esfera., (2014) *Guía de estudio Como se clasifican los residuos*. Obtenido de <http://nuestraesfera.cl/zoom/como-se-clasifican-los-residuos/>
- Hidritec., (2016) *Tratamiento de Aguas Residuales y Disminución de DQO. España*. Obtenido de <http://www.hidritec.com/hidritec/tratamiento-de-aguas-residuales-y-disminucion-de-dqo>