

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL.**



**SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA
CURTIEMBRE DE PIEL DE PAICHE (*Arapaima gigas*) EN EL
CITE PESQUERO, REGIÓN UCAYALI.**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

**ZUELY SILENY VILLACORTA GARCÍA
DANTE ADRIEL RIOS ALVAREZ**

PUCALLPA – PERU

2019



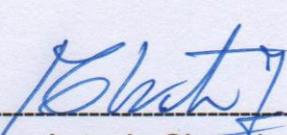
UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 107

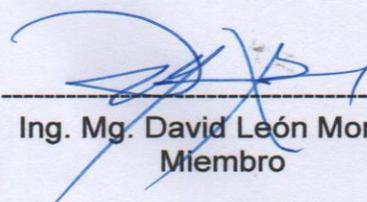
En el auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, siendo las 12:05 horas del día 26 de diciembre del 2019, se reunieron los miembros del jurado evaluador designado con Memo Mult. 229-2019-UNU-FCsFyA- CGT, conformado por los siguientes docentes: Dr. Marco Antonio Chota Isuiza (Presidente); Ing. Mg. David León Moreno (Miembro) y el Ing. M.Sc. Carlos Ruiz Padilla (Miembro); para evaluar la sustentación de tesis "**SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CURTIEMBRE DE PIEL DE PAICHE (*Arapaima gigas*) EN EL CITE PESQUERO, REGIÓN UCAYALI**", presentado por los bachilleres **ZUELY SILENY VILLACORTA GARCIA** y **DANTE ADRIEL RIOS ALVAREZ**, asesorados por el **Dr. RUBÉN DARÍO MANTURANO PÉREZ**.

Terminada la sustentación, se procedió a las preguntas las cuales fueron absueltas de manera satisfactoria por los sustentantes, por lo que el jurado evaluador aprobó por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **MUY BUENO** en consecuencia los sustentantes están expedidos para obtener el título de **Ingeniero Ambiental**.

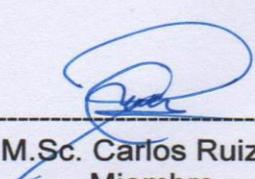
Siendo las 13:10 horas del mismo día se dio por concluido el acto académico.



Dr. Marco Antonio Chota Isuiza
Presidente



Ing. Mg. David León Moreno
Miembro



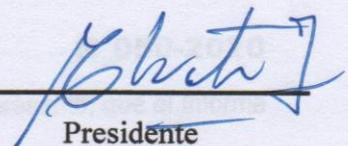
Ing. M.Sc. Carlos Ruiz Padilla
Miembro



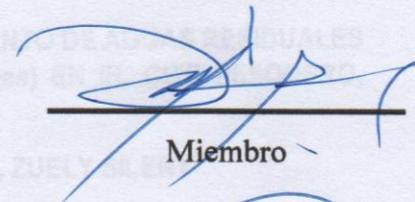
UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION DE TRABAJO DE INVESTIGACION
ACTA DE APROBACIÓN
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Esta tesis fue sometida a consideración para su **APROBACIÓN** ante el jurado de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, integrada por los siguientes docentes:

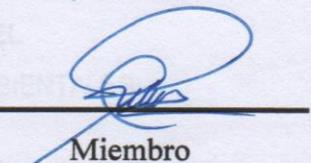
Dr. Marco Antonio Chota Isuiza


Presidente

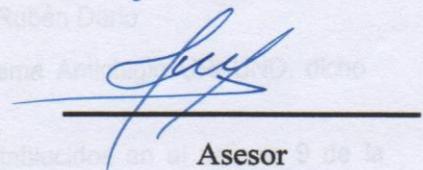
Ing. Mg. David León Moreno.


Miembro

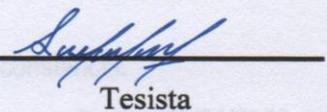
Ing. M.Sc. Carlos Ruíz Padilla


Miembro

Dr. Rubén Darío Manturano Pérez


Asesor

Bach. Zuely Sileny Villacorta García


Tesista

Bach. Dante Adriel Ríos Álvarez.


Tesista



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL

CONSTANCIA
ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

N°050-2020

La Dirección General de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el Informe Final (Tesis), titulado:

SISTEMA DE ELECTROCOAGULACION PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CURTIEMBRE DE PIEL DE PAICHE (*Arapaima Gigas*) EN EL CITE PESQUERO, REGION UCAYALI.

Cuyo autor (es) : VILLACORTA GARCIA, ZUELY SILENY
RIOS ALVAREZ, DANTE ADRIEL
FACULTAD : CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
ESCUELA PROFESIONAL : INGENIERIA AMBIENTAL
ASESOR : Dr. Manturano Pérez, Rubén Darío

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 07%**.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

Fecha: 29/01/2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL
[Firma]
DRA. DINA PARI QUISPE
Dir. Gen. Prod. Int.

**REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIONES DE TESIS**

Yo, ZUELY SIENY VILACORTA GARCIA

Autor de la TESIS titulada:

"SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DE LA CURTIEMBRE DE PIEL DE
PAICHE (ARAPAIMA GIGAS) EN EL CITE PESQUERO,
REGIÓN UCAYALI"

Sustentada el año: 2019

Con la asesoría de: Dr. RUBÉN DARÍO MANTURANO PÉREZ

En la Facultad: DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Carrera Profesional de: INGENIERIA AMBIENTAL

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el repositorio institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali **licencia no exclusiva** para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del repositorio institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que se considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas.

Tercero: Autorizo la publicación,

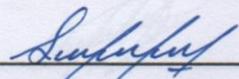
Total (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio)

Parcial (significa que solo la caratula, la dedicatoria y el resumen en PDF será compartido en el repositorio)

De mi TESIS de investigación en la página web del repositorio institucional de la UNU.

En señal de conformidad firmo la presente autorización

Fecha: 07 / 02 / 2020

Email: zuevillacorta@gmail.com Firma: 

Teléfono: 945882036 DNI: 72112864

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIONES DE TESIS

Yo, Dante Adrián Ríos Álvarez

Autor de la TESIS titulada:

"Sistema de electrocoagulación para el tratamiento de Aguas Residuales de la curtiembre de Piel de Paiche (Arapaima gigas) en el CITE Reshuero Región Ucayali"

Sustentada el año: 2019

Con la asesoría de: Dr. Rubén Darío Manturano Pérez

En la Facultad: de Ciencias Forestales y Ambientales

Carrera Profesional de: Ingeniería Ambiental

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el repositorio institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali **licencia no exclusiva** para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del repositorio institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que se considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas.

Tercero: Autorizo la publicación,

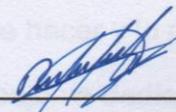
Total (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio)

Parcial (significa que solo la caratula, la dedicatoria y el resumen en PDF será compartido en el repositorio)

De mi TESIS de investigación en la página web del repositorio institucional de la UNU.

En señal de conformidad firmo la presente autorización

Fecha: 07/02/2020

Email: adrieldan92@gmail.com Firma: 

Teléfono: 953664927 DNI: 46815534

DEDICATORIA

A DIOS, A mi amada madre Nelly, ella la motivación de mi vida, por demostrarme siempre su apoyo incondicional y desinteresado, brindarme su amor y comprensión en cada momento de mi vida, y darme las fuerzas para lograr mis objetivos.

A mis adorados hermanos, a mí querida abuelita Juliana, por contagiarme siempre su alegría, y a todas las personas que apoyaron al desarrollo de este trabajo.

ZUELY SILENY VILLACORTA GARCIA

A todas aquellas personas que me apoyaron en el cumplimiento de esta meta. En especial a mis padres, Adriel Rios Salazar y Gladys Alvarez vela, que no dejaron de creer y de confiar en ningún momento en mí.

A mis hermanos, Enrique, Jaime, Joe y Petith, agradecerlos por la paciencia que demostraron tener en todo el camino de mi vida universitaria y por mostrarme siempre con sus acciones lo que se debe hacer y lo que no se debe hacer, por ello este trabajo va dedicado a ustedes.

DANTE ADRIEL RIOS ALVAREZ

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradecemos a DIOS por darnos la vida, la fortaleza, y las ganas de salir adelante y de cumplir con nuestras metas.

A nuestras familias, por el apoyo incondicional, por sus paciencia, cariño y comprensión durante todo este tiempo.

Agradecemos nuestra casa de estudios la Universidad Nacional de Ucayali por darnos la oportunidad de estudiar nuestra carrera profesional, así como también a los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental que brindaron sus conocimientos y su apoyo a seguir adelante.

Agradecemos también a nuestro asesor de tesis el Dr. Rubén Darío Manturano Pérez, por brindarnos la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico.

Así mismo estamos muy agradecidos con el Ing. Mg. David León Moreno y a todos los miembros del jurado por brindarnos sus conocimientos, tomarse el tiempo de orientarnos en el desarrollo del proyecto, y aconsejarnos en cuanto a nuestro desarrollo profesional.

No ha sido fácil el proceso, pero gracias a las ganas de transmitirme sus conocimientos y dedicación que los ha regido, hemos logrado importantes objetivos como culminar el desarrollo de nuestra tesis con éxito y así obtener nuestra titulación profesional.

INDICE DE CONTENIDO

Pág.

DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
INDICE DE CONTENIDO.....	ix
INDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.1. Formulación del problema.....	4
1.1.1.1. Problema General.....	4
1.1.1.2. Problemas específicos.....	4
CAPITULO II.....	5
2.1. MARCO TEORICO.....	5
2.1.1. Antecedentes del problema.....	5
2.1.2. Contaminación del agua.....	7
2.1.2.1. Contaminación y falta de tratamiento de aguas residuales en América Latina.....	8
2.1.2.2. Contaminación de aguas superficiales en el Perú.....	11
2.1.2.3 Aguas residuales.....	15
2.1.2.3.1. Aguas residuales de curtiembre.....	16
2.1.3. Curtiembre.....	18
2.1.3.1. Curtido de pieles.....	19
2.1.3.1.1. Operaciones fundamentales en el proceso productivo de cueros.....	20
2.1.4. Sistema de electrocoagulación.....	28
2.1.4.1. Evolución de la electrocoagulación.....	29
2.1.4.2. Aspectos técnicos del sistema de electrocoagulación.....	31
2.1.4.3. Ventajas y desventajas del sistema de electrocoagulación.....	37
2.1.4.4 Diseño del prototipo SETAR de la Universidad Nacional de Ucayali.....	39
2.1.5. Límites máximos permisibles (LMP) y valores referenciales para las actividades industriales (cemento, cerveza, curtiembre y papel).....	40
CAPITULO III.....	46
3.1. METODOLOGIA.....	46

3.1.1. Método de la investigación.....	46
3.1.2. Área de estudio.....	46
3.1.3. Población y muestra.....	46
3.1.4. Procedimiento de recolección de datos.....	47
3.1.5. Técnica e instrumentos para la recolección de datos.....	57
3.1.5.1 Técnicas de recolección de datos.....	57
3.1.6. Procesamiento de recolección de datos.....	58
3.1.7. Tratamiento de datos.....	59
CAPITULO IV.....	60
4.1. RESULTADOS.....	60
4.2. DISCUSION.....	65
CAPITULO V.....	67
5.1. CONCLUSIONES.....	67
5.2. RECOMENDACIONES.....	68
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	69
ANEXOS.....	72

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Típicas cantidades de desechos sólidos producidos en las curtiembres.....	17
Tabla 2. Límites máximos permisibles de efluentes para alcantarillado de las actividades de curtiembre.....	41
Tabla 3. Límites máximos permisibles de efluentes para aguas superficiales de las actividades de curtiembre.	41
Tabla 4. Valores referenciales de efluentes para alcantarillado y aguas superficiales de las actividades en curso de los sub sectores curtiembre.....	42
Tabla 5. Control en el remojo.	50
Tabla 6. Insumos químicos para el proceso de curtido	55
Tabla 7. Tratamientos y repeticiones	58
Tabla 8. Resumen de datos estadísticos de aceites y grasas.....	75
Tabla 9. Resumen de la demanda química de oxígeno.	75
Tabla 10. Resumen de la Demanda Biológica de Oxígeno.....	75
Tabla 11. Resumen de la temperatura.....	76
Tabla 12. Resumen del pH.	76

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Reactores para electrocoagulación tipo Bach.	31
Figura 2. Reactor tipo filtro prensa.....	32
Figura 3. Reactor de electrodo cilindro rotativo.....	33
Figura 4. Reactor de lecho fluidazo	33
Figura 5. Operación de curtido	47
Figura 6. Descarnado de la piel de Paiche.....	48
Figura 7. Enjuague de las pieles.....	50
Figura 8. Desengrase de la piel.....	52
Figura 9. Introducción de las pieles a la salmuera.....	53
Figura 10. Control de densidad (*Be) de la salmuera.....	53
Figura 11. Verificación del contenido ácido con el indicador bromo cresol.....	54
Figura 12. Pieles curtidas en proceso de reposo.....	56
Figura 13. Esquema de reactor electrolítico.....	59
Figura 14. Aceites y grasas sobre tiempo.....	60
Figura 15. Demanda biológica de oxígeno sobre tiempo.....	61
Figura 16. Demanda química de oxígeno sobre tiempo.....	62
Figura 17. Potencial de hidrógeno sobre tiempo.....	63
Figura 18. Temperatura sobre tiempo.....	64
Figura 19. Cadena de custodia de monitoreo de aguas	73
Figura 20. Metodología de ensayo en el laboratorio	74
Figura 21. Muestras final del proceso de electrocoagulación.....	77
Figura 22. Piel en proceso de curtido	77
Figura 23. Acondicionamiento del sistema de electrocoagulación.....	78
Figura 24. Calibración de sensores.....	78

RESUMEN

En el presente estudio de investigación se evaluó de qué manera el sistema de electrocoagulación permite el tratamiento de las aguas residuales de curtiembre de la piel del Paiche (*Arapaima gigas*), las aguas residuales utilizadas fueron provenientes de la etapa del curtido de la piel, este proceso lo desarrolla el CITE pesquero de la ciudad de Pucallpa. El estudio se realizó entre los meses de marzo hasta mayo. La investigación se realizó teniendo en consideración los parámetros de límites máximos permisibles aprobado por el D.S N° 003-2002-PRODUCE, los parámetros estudiados fueron: pH, TEMPERATURA, DBO₅, DQO, ACEITES Y GRASAS, tiempo de electrocoagulación. Los análisis fisicoquímicos mostraron que del total de las muestras se obtuvo una importante reducción en estos parámetros siendo el tiempo óptimo de electrocoagulación al minuto 20, algunos de estos parámetros pasan los límites máximos permisibles establecidos en el D.S N° 003-2002-PRODUCE dejando más interrogantes para posteriores investigaciones.

Palabras claves: Aguas de curtiembre, parámetros físicos y químicos, curtido de piel, piel de Paiche (*Arapaima gigas*).

ABSTRACT

In this research study it was evaluated how the electrocoagulation system allows the treatment of tannery wastewater from the skin of Paiche (*Arapaima gigas*), the wastewater used was from the stage of tanning of the skin, this process is developed by the fishing CITE of the city of Pucallpa. The study was conducted between the months of March until May. The research was carried out taking into consideration the parameters of maximum permissible limits approved by D.S No. 003-2002-PRODUCE, the parameters studied were: pH, TEMPERATURE, BOD5, COD, OILS AND FATS, electrocoagulation time. The physicochemical analyzes showed that a significant reduction in these parameters was obtained from the total of the samples being the optimal electrocoagulation time at minute 20, some of these parameters pass the maximum permissible limits established in DS No. 003-2002-PRODUCE leaving more questions for further investigations.

Keywords: Tannery waters, physical and chemical parameters, skin tanning, Paiche skin (*Arapaima gigas*).

INTRODUCCIÓN

La disposición de los residuos líquidos y sólidos, así como la emisión gaseosa sobre el cuerpo del agua, suelo y aire, degradan la calidad ocasionando daños ambientales muchas veces irreversibles (Portilla, 2013). El suelo alrededor de las industrias de curtiembre, así como el de las área de almacenamiento y deposición de sus residuos, está expuesto a deteriorarse si no se toman medidas preventivas, de igual manera, podría interferir en futuros usos del mismo y contribuir a la contaminación de cursos de aguas cercanas (Garcia, 1993). Las aguas residuales de curtiembre cuando son descargados directamente a un cuerpo de agua ocasionan efectos negativos en los usos posteriores de estas aguas, un cuerpo de agua contaminada disminuye su valor de uso como agua para bebida o para fines agrícolas e industriales, afecta la vida acuática, mueren los peces por disminución del oxígeno disuelto en el agua se convierte en no apta para el consumo (Mendez, 2007).

En esta investigación es importante determinar si el sistema de electrocoagulación es el adecuado, para reducir los parámetros de Aceites y Grasas, DBO5, DQO, pH y la Temperatura dándonos así una idea clara de la calidad de agua que pueda brindarnos el sistema de electrocoagulación después de tratar las aguas residuales de curtiembre, en un tiempo óptimo para que se pueda extraer la mayor cantidad de contaminantes.

CAPÍTULO I

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Toda actividad humana requiere del uso del agua, y con esto es imposible no generar alteraciones en la calidad de la misma. El grado de contaminación depende del tipo de actividad y manera recíproca el tipo de tratamiento requerido para devolverlo parte de las características iniciales.

Según el informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos de las naciones unidas para la educación la ciencia y la cultura (UNESCO, Aguas residuales: El recurso desaprovechado., 2017) aguas residuales, el recurso desaprovechado, se afirma que:

En todo el mundo las áreas urbanas enfrentan enormes desafíos. La aceleración de crecimiento urbano, cambios en las practicas familiares y laborales, y proliferación de asentamientos informales implicaran un reto cada vez mayor para la prestación de servicios. Esto se suma al impacto de los eventos extremos, el cambio climático y la migración en zonas en conflicto.

La modificación de los patrones de urbanización produjo una mayor equidad ya que las personas que viven en condiciones de pobreza en algunas regiones desarrolladas enfrentan los mismos desafíos que aquellas regiones en desarrollo. Para el año 2030 se espera que la demanda mundial de energía y agua aumente 40% y 50%, respectivamente (ONU-Habitad, 2016). Dicho crecimiento tendrá lugar sobre todo en las ciudades, lo cual implicará la aplicación de nuevos métodos para la gestión de aguas residuales. A su vez la gestión de aguas residuales puede también brindar algunas de las respuestas necesarias para resolver otros desafíos, como a producción de alimentos y el desarrollo industrial. (UNESCO, Aguas residuales: El recurso desaprovechado., 2017).

Existe una preocupación por la contaminación de las fuentes de agua dulce, debido a su importancia para los usos de los seres vivos, según el informe de las Naciones Unidas para el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el mundo.

Los recursos de agua dulce se ven reducidos por la contaminación unos 2 millones de toneladas de desechos son arrojados diariamente en aguas receptoras, incluyendo residuos industriales y químicos, vertidos humanos y desechos agrícolas (fertilizantes, pesticidas y residuos de pesticidas). Se estima que la producción global de aguas residuales es aproximadamente 1,500 km³. (UNESCO, AGUA PARA TODOS, AGUA PARA LA VIDA. PARIS, 2003)

Los problemas ambientales que se presentan en la elaboración del cuero son varios y están asociados a los diferentes componentes ambientales: agua, aire, suelo. Se estima que 1000 kg de pieles crudas genera 600-800 kg de desechos sólidos, entre 15 a 50 m³ de efluentes conteniendo 250 kg de DQO, 100 kg DBO y para el procesamiento de la misma se emplean 500 kg de diferentes químicos de los cuales apenas entre el 40 y 50% se absorben en la piel (Artiga, 2005). Cabe indicar que entre un 20 y 50% del peso de la piel se añade como químicos inorgánicos y entre un 3 y 40% como químicos orgánicos, estos últimos contribuyen en pequeñas cantidades a los valores de BQO y DBO (Artiga, 2005).

Los desechos sólidos están constituidos principalmente por material orgánico como proteínas, grasas, suciedades y químicos de proceso. A pesar de la contaminación que puede producirse tanto por residuos sólidos como por emisiones al aire, el consumo de agua y los efluentes líquidos de proceso constituyen la mayor problemática ambiental de las curtiembres. Por ejemplo, los químicos empleados (sulfuro, cal, cromo, surfactantes y solventes orgánicos) al no tener procesos eficientes permanecen a concentraciones considerables en los efluentes de proceso.

En el caso del cromo y del sulfuro, se producen efluentes con cantidades elevadas de los mismo (5-6 kg para el primero y 10 kg para el segundo considerando un volumen de agua residual entre (15-50 m³) (Artiga 2005); tanto en proceso de pelambre como el de curtido, representan el 100% de la toxicidad de los efluentes de una curtiembre. Los métodos de producción más limpia constituyen la aplicación continua de una estrategia ambiental, preventiva e integrada, en los procesos productivos, los productos y servicios, para incrementar la eficiencia y reducir los riesgos pertinentes a los seres humanos y al ambiente. Cuando se aplica a procesos productivos se orienta a la conservación y ahorro de materias primas, la reducción y minimización de la cantidad y peligrosidad de residuos y la sustitución de materias primas peligrosas que ocasionen impactos negativos (Angelinetti, A y Cantera, C, 2006).

1.1.1. Formulación del problema.

1.1.1.1. Problema General

¿De qué manera un sistema de electrocoagulación permite el tratamiento de las aguas residuales de curtiembre de la piel de Paiche (*Arapaima Gigas*)?

1.1.1.2. Problemas específicos.

- ¿Cuál será la calidad del tratamiento del agua residual de la curtiembre de la piel de Paiche (*Arapaima Gigas*)?
- ¿Cuál será el tiempo óptimo de electrocoagulación para aguas residuales de curtiembre de la piel de Paiche (*Arapaima Gigas*)?

CAPITULO II.

2.1. MARCO TEORICO.

2.1.1. Antecedentes del problema.

- **A nivel internacional.**

(Portilla, 2013). Las conclusiones a que se llegó en su tesis de grado fueron la reducción de la carga contaminante en los efluentes, reducción de consumo de agua. En un baño de curtido se descarga 3.564 kg de cromo por cada m³ de agua. En la Curtiduría Serrano se realizan 2 ciclos de curtido, 2 en cada botal, es decir 4 curtidos quincenalmente. De cada botal de curtido se descarga 4.34 m³ de agua, esto nos demuestra que quincenalmente se descargan 247.5 kg de cromo a la alcantarilla. Pero el beneficio de la medida es que se reciclarán 2 baños de curtido evitando que 235.2 kg de cromo lleguen a las fuentes hídricas quincenalmente. Quincenalmente se ahorrará 8.68 m³ de agua por la recirculación de los efluentes de curtido.

(Artiga, 2005). Los resultados obtenidos con un birreactor de membrana a escala piloto, tratando agua residual de vinazas y de la industria de curtidos. Se alcanzaron a una velocidad de carga orgánica (VCO) de 2.2 kg DQO/(m³/d) y 1.5 kg DQO/(m³/d), respectivamente, obteniéndose porcentajes de eliminación de materia orgánica siempre muy elevados, 97% para las vinazas y un 86% para las aguas de curtidos, independientemente de la VCO aplicada. Se obtuvieron rendimientos aparentes de 0.14g de sólidos en suspensión volátiles (SSV)/g DQO y 0.16 (SSV)/g DQO empleando como alimentación aguas residuales de vinazas y de curtiembres, respectivamente. Los efluentes obtenidos fueron de excelente calidad, libres de sólidos y con una baja concentración de materia orgánica soluble, en torno a 50 mg DQO/L.

(Tayupanda, 2010). Al caracterizar el agua residual de pelambre los resultados fueron 38326 mg/L de DQO, sólidos totales de 57305 mg/L y sulfuros de 3305 mg/L. Luego del tratamiento se obtuvo valores para el agua de pelambre de 3980 mg/L de DQO, que corresponde a una remoción de 91%, 3293 mg/L de sólidos totales que equivale a una remoción de 94.25%. Con la implementación del sistema de tratamiento de agua residual se logra una reducción del impacto ambiental en la empresa de curtiembre pieles "Puma". Mediante la caracterización del agua residual tratada de pelambre se pudo comprobar que esta agua es rica en sulfuros (1427 mg/L) y calcio, de manera que se puede aprovechar estos recursos para realizar la reutilización, previo a un acondicionamiento en una nueva tanda de pelambre, la cual genera a la empresa un ahorro económico de insumos y además una reducción de la contaminación ambiental.

- **A nivel nacional.**

(Murillo C. E., 2005). En la primera etapa se evaluó la significancia de los parámetros de temperatura, pH, tiempo, concentración de aceites ante el agotamiento en el engrase, la resistencia del desgarrado, la resistencia a la tracción, el alargamiento y el contenido de grasa del cuero de alpaca, resultando significativas la concentración de aceites sulfatados, sulfitados y sulfonados, con las cuales se procedió a la segunda etapa de optimización desarrollada mediante los diseños compuestos centrales y el método de complex box, obteniéndose un cuero tipo vestimenta con flor sin acabar y con una resistencia al desgarrado de 325.5 N/cm, porcentaje de elongación hasta la rotura de 43.90%, contenido de grasa de 10.03%, características que cumplen con las Normas Técnicas Peruanas, todo esto aplicando la combinación optimizada de 4.3% de aceite

sulfonado, 5.8% de aceite sulfitado y 0.819% de aceite sulfonado con un agotamiento de engrase máximo de 27%.

(Rey de Castro Rosas, 2013). Se encontró que puede utilizarse tanto NaOH como $\text{Ca}(\text{OH})_2$ como agentes precipitantes para la recuperación de cromo donde cada uno tiene diferentes ventajas. Las recuperaciones tuvieron porcentajes de recuperación de cromo sumamente altos, de 95.6–98.8% cuando se utilizaron agentes precipitantes de grado de laboratorio, y de 81.9–84.4% con agentes precipitantes de grado industrial. Asimismo, las aguas madres producidas en el proceso (efluentes clarificados) cumplieron con el LMP (Límite Máximo Permisible) de cromo total establecido por el Ministerio de la Producción del Perú.

2.1.2. Contaminación del agua.

La contaminación hídrica o la contaminación del agua es una modificación de esta, generalmente provocada por el ser humano, que la vuelve impropia o peligrosa para el consumo, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades, así como para los animales ("Carta del agua", 1986).

Aunque la contaminación de las aguas puede provenir de fuentes naturales, como la ceniza de un volcán, la mayor parte de la contaminación actual proviene de actividades humanas.

El agua es un recurso natural indispensable para la vida. Constituye una necesidad primordial para la salud, por ello debe considerarse uno de los derechos humanos básicos. En las sociedades actuales el agua se ha convertido en un bien muypreciado, debido a la escasez, es un sustento de la vida y además el desarrollo económico está supeditado a la disponibilidad de agua. El

ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración y su aparente abundancia hace que sea el vertedero habitual de residuos: pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc. La degradación de las aguas viene de antiguo, pero ha sido en este siglo cuando se ha extendido este problema a ríos y mares de todo el mundo (Riccio Yauri, 2015).

2.1.2.1. Contaminación y falta de tratamiento de aguas residuales en América Latina.

Según (Yee-Batista, 2013) el 80% de la población latinoamericana vive en ciudades y una gran proporción en asentamientos próximos a fuentes contaminadas. La autora agrega que, siendo América Latina una de las regiones más biodiversas del mundo y dueña de un tercio de las fuentes de agua del mundo, la contaminación del agua representa consecuencias ecológicas adversas.

(Yee-Batista, 2013). También afirma que el 70% de las aguas residuales de la región latinoamericana no son tratadas. El agua es extraída, usada y devuelta completamente contaminada a los ríos.

El tratamiento de aguas residuales es importante para volver a utilizar el agua, evitar su contaminación y la del ambiente (especialmente por sus efectos en la producción agropecuaria) y por salud pública.

Las zonas con inadecuado abastecimiento de agua sufren por lo general de enfermedades como el cólera, la hepatitis, la disentería, gastroenterocolitis, etc.; por lo que el tratamiento de aguas residuales requiere del diseño de políticas de saneamiento ambiental, más aun teniendo en cuenta que en las ciudades, se

generan aguas residuales originadas por uso doméstico, uso industrial y uso residual agrícola, para lo cual se requieren plantas de tratamiento de aguas residuales especialmente en las ciudades, dado el alto nivel de concentración urbana (J.Fernando Larios-Meño; Carlos Gonzales Taranco; Yennyfer Morales Olivares , 2015).

Protocolo y costo del tratamiento de aguas residuales en América Latina.

De acuerdo al nivel de contaminación del agua se requieren también plantas de tratamiento de agua de diferentes niveles o tipos.

(Reynolds, 2002). Refiere que los pasos básicos para el tratamiento de aguas residuales son:

1. Pre tratamiento - remoción física de objetos grandes.
2. Deposición primaria - sedimentación por gravedad de las partículas sólidas y contaminantes adheridos.
3. Tratamiento secundario - digestión biológica usando lodos activados o filtros de goteo que fomentan el crecimiento de microorganismos.
4. Tratamiento terciario - tratamiento químico (por ejemplo, precipitación, desinfección). También puede utilizarse para realzar los pasos del tratamiento primario.”

Con respecto a la inversión en el tratamiento de aguas residuales, en un estudio relacionado al Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica, se sostiene que la solución pasa por considerar tres niveles de plantas de tratamiento de aguas residuales y por construir plantas de tratamiento con una inversión de US\$ 12000 millones anuales durante 10 años para elevar los estándares de

abastecimiento de agua y de aguas residuales a niveles razonables. Aproximadamente US\$ 7000 millones serían para aguas residuales, con US\$ 4400 millones para la recolección de aguas de alcantarillado, US\$1200 millones para tratamiento, US\$1200 millones para rehabilitación de las instalaciones existentes, y el resto para el saneamiento rural. Estas estimaciones de costos estuvieron basadas en una meta de tratamiento de aguas residuales para 60% de la población con sistema de alcantarillado público (Reynolds, 2002).

Según un estudio patrocinado por el Banco Mundial en 1997, la construcción de una planta convencional para el tratamiento secundario de aguas residuales para una población de 1 millón de habitantes requiere una inversión capital de aproximadamente US\$100 millones, sin mencionar los costos sustanciales de operación y mantenimiento para su operación continua. Sin embargo, los costos económicos asociados con un brote de enfermedad indican que la inversión inicial de capital valdría mucho la pena. (Reynolds, 2002)

Con base a lo anterior, si se buscara atender a una población de 10 millones de habitantes de Lima, Perú, la inversión estimada sería de 1000 millones de US dólares, monto que debería ser distribuido en los presupuestos del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, de la Municipalidad de Lima Metropolitana y de todos los distritos de Lima: Los recursos se obtendrían a partir del compromiso del usuario del pago de sus impuestos, contribuciones y aportes necesarios para el financiamiento de este proyecto de largo plazo, convencido que contribuye a la calidad de vida de la sociedad presente y futura. La misma política tendría que ser extendida a otras ciudades del Perú, que se encuentran en proceso de crecimiento dinámico, en algunos casos exponencial como el caso de Cusco, Arequipa y Puno, pero especialmente, en aquellas ciudades

cuya población ya sobrepasa el millón de habitantes. La aplicación de políticas de tratamiento de aguas residuales requiere además de la identificación y detección oportuna de las causas de contaminación, lo que implica distinguir el uso del agua para fines domésticos del uso para fines industriales, debido a los diferentes niveles de suciedad o contaminación. A nivel de uso doméstico se generan residuos orgánicos, grasas, detergentes, mientras que el uso a nivel industrial puede generarse residuos químicos, tóxicos, lo cual eleva el costo de tratamiento por este uso (J. Fernando Larios-Meño; Carlos Gonzales Taranco; Yennifer Morales Olivares, 2015).

2.1.2.2. Contaminación de aguas superficiales en el Perú.

La contaminación del agua (ríos, lagos y mares) es producida, principalmente, por cuatro vías: vertimiento de aguas servidas, de basuras, de relaves mineros y de productos químicos (Antonio Brack y Cecilia Mendiola, 2012).

a) Vertimiento de aguas servidas. La mayor parte de los centros urbanos vierten directamente los desagües (aguas negras o servidas) a los ríos, a los lagos y al mar. Este problema es generalizado y afecta al mar (frente a Lima y Callao, frente a Chimbote), a muchos ríos (Tumbes, Piura, Santa, Mantaro, Ucayali, Amazonas, Mayo, etc.) y a lagos (Titicaca, Junín). Los desagües contienen excrementos, detergentes, residuos industriales, petróleo, aceites y otras sustancias que son tóxicas para las plantas y los animales acuáticos. Con el vertimiento de desagües, sin previo tratamiento, se dispersan agentes productores de enfermedades (bacterias, virus, hongos, huevos de parásitos, amebas, etc.) (Antonio Brack y Cecilia Mendiola, 2012)

b) Vertimiento de basuras y desmontes en las aguas. Es costumbre generalizada en el país el vertimiento de basuras y desmontes en las orillas del

mar, los ríos y los lagos, sin ningún cuidado y en forma absolutamente desordenada. Este problema se produce especialmente cerca de las ciudades e industrias. La basura contiene plásticos, vidrios, latas y restos orgánicos, que o no se descomponen o al descomponerse producen sustancias tóxicas (el fierro produce óxido de fierro), de impacto negativo. (Antonio brack y Cecilia Mendiola, 2012)

c) Vertimiento de relaves mineros. Esta forma de contaminación de las aguas es muy difundida y los responsables son los centros mineros y las concentradoras. Es especialmente grave en el mar frente a Tacna y Moquegua, por las minas de cobre de Toquepala; en los ríos Rímac, Mantaro, Santa, el lago de Junín y todos los ríos de las ciudades cercanas a centros mineros del Perú. Los relaves mineros contienen fierro, cobre, zinc, mercurio, plomo, arsénico y otras sustancias sumamente tóxicas para las plantas, los animales y el ser humano. Otro caso es el de los lavaderos de oro, por el vertimiento de mercurio en las aguas de ríos y quebradas. Esto es de gravedad a nivel local, como en Madre de Dios y cerca de centros auríferos (Antonio brack y Cecilia Mendiola, 2012).

d) Vertimiento de productos químicos y desechos industriales. Consiste en la deposición de productos diversos (abonos, petróleo, aceites, ácidos, soda, aguas de formación o profundas, etc.) provenientes de las actividades industriales. Este problema es generalizado cerca de los centros petroleros (costa norte y selva), en las zonas de la industria de harina y aceite de pescado (Pisco - Paracas, Chimbote, Parachique, Paita), en las zonas de concentración de industrias mineras (Oroya, Ilo), y en zonas de industrias diversas (curtiembres, textilerías, etc.) (Antonio brack y Cecilia Mendiola, 2012).

Situación del tratamiento de aguas residuales en el Perú.

De la revisión del estudio efectuado por (SUNASS, 2008), se desprende que el 70% de las aguas residuales en el Perú no tienen tratamiento de aguas alguno; asimismo, que de las 143 plantas de tratamiento residual que existen en el Perú, solo el 14% cumplen con la normatividad vigente para el cabal funcionamiento de las mismas; de acuerdo al Plan Nacional de Saneamiento 2006- 2015, existe un déficit de 948 millones de dólares americanos, la inversión ejecutada hasta el 2005 por las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) alcanzó el importe de 369 millones de dólares americanos¹.

De acuerdo a un estudio sobre la situación actual y perspectivas en el sector agua y saneamiento en el Perú, presentado por la Autoridad Nacional de Agua (ANA), 7 millones de habitantes de nuestro país no tienen acceso a agua potable segura; el nivel de cobertura de agua potable en un nivel mayor al 80%, es solo en los Departamentos (hoy Gobiernos Regionales) de: Lambayeque, Lima, Callao, Ica, Arequipa y Tacna; la cobertura en menor al 40% en Amazonas, Huánuco, Huancavelica y Puno; el agua no facturada es de aproximadamente el 40%; más de 10 millones de habitantes no tiene servicios de saneamiento; la cobertura de saneamiento mayor al 80% es solo en Lambayeque, Lima y Tacna, la cobertura de saneamiento del 20% al 40% es en Loreto, Ucayali y Madre de Dios (ANA, 2013).

Este Estudio precisa además que: según datos del 2009, de 786 millones de metros cúbicos (MMC) de Aguas Residuales Domesticas (ARD), 511 MMC se encontraban sin Tratamiento, de las cuales corresponden a Lima y Callao 325

¹ Estudio realizado por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) con la Cooperación Alemana de Desarrollo (GTZ/PROAGUA).

MMC. De un total de 143 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas (PTAR), solo el 4.9% (7 plantas) estaba operando en niveles óptimos.

En este mismo informe se refiere que de acuerdo a la Dirección General de Gestión de la Calidad de los Recursos Hídricos, los ríos de Loreto, Piura, Pasco, Arequipa, Moquegua Puno, Ucayali, Madre de Dios, se encuentran contaminados por aguas residuales municipales sin tratamiento².

Cabe precisar que, para el caso de las Plantas de Tratamiento de Lima Metropolitana, en un informe del 2011 se efectúa un Estudio de Opciones de Tratamiento y Re-uso de Aguas Residuales en Lima Metropolitana, se detalla que a ese año se estaba brindando tratamiento secundario a 3,200 l/s de aguas residuales, lo que implicaba un 17% del total generado. Previéndose que en el 2014 operarán las dos mega plantas de Taboada y La Chira con tratamiento primario, por lo que se puede aceptar que en corto plazo la situación de las aguas residuales será de un 95% de tratamiento, 78% de nivel primario y 17% secundario (Moscoso, 2011).

Respecto de los niveles de tratamiento de las plantas que operan en Lima, el citado informe refiere que el mismo resulta algo difícil, si asumimos que en la actualidad se consideran los procesos de desinfección como parte del tratamiento terciario. Lo que si podemos decir con facilidad es que solo los filtros percoladores que tratan el 0.25% de las aguas residuales pueden ser considerados como tratamiento primario. Ahora, si mantenemos la clasificación tradicional, podemos decir que todas las demás plantas aplican tratamiento

² Autoridad Nacional del Agua –ANA (2013).

secundario, aunque ello no signifique que logran una calidad sanitaria adecuada para la disposición o reúso del agua tratada. En cambio, si incorporamos la definición moderna de tratamiento terciario para aquellas plantas que incluyen desinfección, podríamos decir que 27 de ellas podrían ser consideradas en este grupo y que tratan el 95% del agua residual, con la aclaración de que sus sistemas de desinfección no se están utilizando en la mayoría, y por tanto en la práctica no alcanzan tal nivel. Bajo el esquema tradicional, en que se entendía como tratamiento terciario los procesos específicos para remover ciertos nutrientes o compuestos químicos contaminantes, es fácil asegurar que ninguna planta de Lima alcanzaría ese nivel (J. Fernando Lario-Meño; Carlos Gonzales Taranco; Yennifer Morales Olivares, 2015).

2.1.2.3 Aguas residuales.

Las aguas residuales son materiales derivados de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales por razones de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética, no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o corrientes convencionales. Tratar las aguas residuales es una forma muy importante de cuidar nuestro medio ambiente. Los materiales inorgánicos como la arcilla, sedimentos y otros residuos se pueden eliminar por métodos mecánicos y químicos; sin embargo, si el material que debe ser eliminado es de naturaleza orgánica, el tratamiento implica usualmente actividades de microorganismos que oxidan y convierten la materia orgánica en CO₂, es por esto que los tratamientos de las aguas de desecho son procesos en los cuales los microorganismos juegan papeles cruciales. El tratamiento de las aguas residuales da como resultado la eliminación de microorganismos patógenos, evitando así que estos

microorganismos lleguen a ríos o a otras fuentes de abastecimiento. Específicamente el tratamiento biológico de las aguas residuales es considerado un tratamiento secundario ya que este está ligado íntimamente a dos procesos microbiológicos, los cuales pueden ser aerobios y anaerobios (Romero, 1999).

Las aguas residuales, también llamadas aguas negras, son una mezcla compleja que contiene agua por lo común más de 99% mezclada con contaminantes orgánico e inorgánico tanto en suspensión como disueltos. La concentración de estos contaminantes normalmente es muy pequeña, y se expresa en mg/L, esto es, miligramos de contaminante por litro de la mezcla. Esta es una relación de peso/volumen que se emplea para indicar componentes en el agua, aguas residuales, desperdicios industriales y otras soluciones diluidas. Puesto que la densidad relativa de estas soluciones diluidas es similar a la del agua, las concentraciones también se pueden considerar relaciones de peso/peso, como mg/kg o ppm (partes por millón). Sin embargo cuando la densidad de la mezcla no es 1.0 mg/L y ppm no son términos indistintos (Romero, 1999).

2.1.2.3.1. Aguas residuales de curtiembre.

Las aguas residuales de curtiembre presentan un alto contenido de sólidos en suspensión, niveles relativamente elevados de sustancias inhibitorias y/o recalcitrantes, como Cr^{+3} y S^{-2} , que puede afectar el proceso biológico, por lo que suelen recibir un tratamiento físico-químico previo al biológico con el fin de precipitar al cromo y oxidar el sulfuro a sulfatos y evitar así la inhibición del sistema biológico. De los aspectos centrales que preocupan en la temática de los efluentes de la curtiembre se destacan; los sólidos

en suspensión el Cromo, el Sulfuro. Una característica sobresaliente del impacto ambiental de la curtiembre es el enorme volumen de agua que demanda y, en consecuencia, las descargas no son sólo abrumadoras sino que transportan una carga contaminante muy alta. A lo largo de todo el proceso se están vertiendo a los cursos de agua volúmenes importantes que contienen la carga de cada una de las operaciones que se han completado. Se estima que, por cuero, se utilizan, para el caso de ovinos y peces, alrededor de 200 a 300 litros y para vacunos de 750 a 1000 litros de agua (Alberto, 2016) .

Desechos sólidos del curtido.

Los desechos sólidos están constituidos principalmente por material orgánico como proteínas, grasas, suciedades y químicos de proceso. Estos desechos pueden ser recuperados, por ejemplo los residuos del descarte se emplean para la fabricación de gelatinas y colas de carpintero, estabilizados y depositados en rellenos sanitarios o incinerados. En la Tabla 1 se indica los principales tipos de desechos producidos durante la curtición de cueros así como también sus cantidades típicas por unidad de peso de cuero salado (Murillo C. , 2005).

Tabla 1. Típicas cantidades de desechos sólidos producidos en las curtiembres.

Componentes	Cantidad de desechos (kg) por 1000 kg de cuero salado
Recortes	120
Desecho del descarte	70-230
Residuos del rebajado	99
Desechos de la dividida	115

Residuos del pulido	2
Recortes del terminado	32
Sólidos en el tratamiento de lodos (de existir)	120

Fuente: Murillo 2005.

2.1.3. Curtiembre.

Una curtiembre, curtiduría o tenería es el lugar donde se realiza el proceso que convierte las pieles de los animales en cuero. Las cuatro etapas del proceso de curtido de las pieles son: limpieza, curtido, re curtimiento y acabado. Se debe quitar el pelo, curtir con agentes de curtimiento y tinturar, para producir el cuero terminado (Condor Basantes, Ericka Elizabeth y Paillacho Coque, Paola Vanessa, 2016).

El propósito del proceso de curtido es producir un material duradero que no esté sujeto a descomposición por mecanismos físicos o biológicos. Antes de curtirlas, es necesario ablandar las pieles en baños alcalinos y salados, produciendo aguas servidas con un alto contenido de ácidos y sales. El proceso de curtimientos se efectúa lixiviando las pieles con cromo, tanino vegetal, alumbre, sales metálicas y formaldehído. Esta operación produce una gran cantidad de aguas servidas. La solución de curtimiento de cromo, luego de usarla, manifiesta poca demanda de oxígeno bioquímico o químico, y tiene pocos sólidos suspendidos. Sin embargo, puede contener importantes concentraciones de cromo, que es un metal tóxico. Por otra parte, la solución vegetal para curtimiento exige una gran cantidad de oxígeno bioquímico y su color es muy intenso (Condor Basantes, Ericka Elizabeth y Paillacho Coque, Paola Vanessa, 2016).

Las operaciones de re curtimiento, teñido y licor grasoso constituyen el tercer paso del proceso. Generalmente, las tres operaciones se efectúan en un solo tambor y consisten en la introducción de la solución de curtimiento (re curtimiento), tintas y aceites para reemplazar los aceites naturales de las pieles (licor grasoso). El proceso genera alta resistencia un bajo volumen de afluentes concentrados que contienen aceite y color.

Las operaciones de acabado son: secar, revestir, sujetar con estacas, sembrar, pegar y lavar las pieles. Las dos últimas operaciones producen alta resistencia bajos volúmenes de afluentes concentrados.

2.1.3.1. Curtido de pieles.

Es el proceso de convertir la piel putrescible en cuero imputrescible, tradicionalmente con tanino, un compuesto químico ácido que evita la descomposición. A diferencia del procedimiento tradicional, que se basa en la utilización de vegetales como cortezas, maderas, hojas y raíces, en su mayoría de plantas tropicales o subtropicales como la mimosa, el quebracho o el castaño, evita que los cueros, con el paso del tiempo, se resequen. Las pieles, son sometidas a la acción de diferentes agentes químicos que interaccionan con las fibras de colágeno para obtener un cuero estable y durable. Desde el siglo XX predomina el curtido al cromo. Las sales de Cr^{+3} son desde hace más de un siglo uno de los más importantes. Hoy en día mundialmente el 80% de todos los cueros se curten de esta manera. El proceso de curtido al cromo es considerado el más versátil, ya que permite re-curtir las pieles, por sistema vegetal. Después de la curtación al cromo, el cuero se escurre, rebaja y divide mecánicamente para obtener el "wet blue", un producto cuyo nombre se debe al color azul verde del sulfato de cromo.

Los cueros sin cromo, por su color claro, se llaman "wet White" (Mendez, 2007).

2.1.3.1.1. Operaciones fundamentales en el proceso productivo de cueros.

a) operación de remojo.

Las pieles previamente saladas y secas, son seccionadas en mitades longitudinales (bandas) y se sumergen durante 24 horas en agua, para lograr su ablandamiento y eliminar la sal y la suciedad (sangre, tierra, estiércol) que traen inicialmente (Camacho, 2013). Dependiendo del tipo de piel, del proceso y de las condiciones climáticas, se debe emplear bactericidas como agentes conservantes y para minimizar el daño que pudieran ocasionar las bacterias a las pieles. Este proceso se lleva a cabo en recipientes grandes como bandejas dependiendo la cantidad de piel y el consumo de agua en el mismo oscila entre el 200 y 400% respecto al peso de la piel. Concluido el proceso de remojo, las pieles son sometidas a un lavado previo al proceso de pelambre. El objetivo de devolver a las pieles conservadas por deshidratación, a las cualidades de suavidad, morbidez y flexibilidad que poseían cuando recién quitados del animal (Camacho, 2013).

b) Operación pelambre y caleo.

El objetivo de esta operación es depilar la piel, eliminando los materiales hechos de queratina (pelo, raíces de pelo y epidermis) y conchas y escamas en caso de lagartos y peces, encalar la misma a fin de hincharla en forma homogénea, preparándola de este modo para el curtido y al mismo tiempo removiendo albúminas, muco-polisacáridos y grasas (Camacho, 2013).

Convencionalmente el proceso de pelambre (con destrucción de pelo) se lleva a cabo empleando sulfuro de sodio (Na_2S) y un álcali como la cal apagada

Ca(OH)₂. El tiempo de proceso oscila entre 8 a 24 horas, se lleva a cabo en botales o fulón y el consumo de agua oscila entre el 50 y 65% respecto al peso de la piel. La piel debidamente hidratada en el remojo, pasa a la operación de pelambre o apelmbrado; con el fin de eliminar del *corium*, la epidermis con el pelo o la lana y producir un aflojamiento de la estructura fibroso del colágeno. Además, por acción de los productos químicos, se consigue la saponificación parcial de la grasa natural de la piel, por acción alcalina en las grasas provocan su transformación en jabones solubles los cuales son lavados y eliminados (Camacho, 2013). El depilado de las pieles se puede efectuar empleando principalmente productos que en función acuosa suministran iones OH⁻ o SH⁻, el depilado químico en solución se efectúan principalmente usando hidróxido de calcio, hidróxido de amonio o mediante sulfuros como sulfuro sódico, sulfuro cálcico, sulfhidratos de sodio, de calcio y otros sulfuros alcalinos y alcalinotérreos o mezcla de los mismos con hidróxidos (Camacho, 2013).

Tradicionalmente los procedimientos químicos de apelmbrado en solución que mayormente se ha venido empleando son la combinación de sulfuros



con cal. El Na₂S se encuentra en el mercado con concentración de 60 a 65% de Na₂S, o en forma de escamas Na₂S·9H₂O con 30-33% de Na₂S. En solución acuosa tiene intensa reacción alcalina cuya disociación primaria es:

Sigue la reacción hidrolíticas del ion sulfuro con las proteínas de agua.



Para una solución 0,1 Molar de Na₂S el pH es =12.95 en esta solución hay 1000 veces más hidroxiliones (OH⁻) que en la solución de NaHS de igual concentración. La reacción alcalina de una solución de NaHS (sulfhidrato sódico) es muy débil y su pH para una concentración 0,1 Molar es 9.9 (Alberto, 2016)

Es conocida que el NaHS se emplea en la práctica como aditivos en los pelambres de Na₂S y cal, consiguiendo disminuir el fuerte hinchamiento de la piel, reduciendo la aparición de arrugas en el cuello, pieles lisas y limpias. El sulfhidrato de sodio (NaSH) solo tiene poder depilante en presencia de iones OH⁻, o sea empleando juntamente con cal u otros hidróxidos. Los apelambrados con sulfuro de sodio y cal generalmente se realizan en botal de rotación lenta de 6 a 8 rpm. Finalmente se tiene que llevar a un caleo para poder hinchar mejor estructuralmente. En los baños de apelambrado con Na₂S se encuentran en solución iones SH⁻, OH⁻ y Na⁺ (Alberto, 2016).

Los tipos de pelambre tradicional o más corriente. Empleados en la fabricación de curtidos son los de cal intensificados con la adición de Na₂S el cual acelera los procesos de aflojamiento capilar (Alberto, 2016).

c) operación caleo.

Este proceso es importante para poder hinchar mejor la piel apelambrada. Se agrega: 3.5% de cal y queda hasta 2 días (Alberto, 2016).

d) operación descarnada.

El principio de esta operación mecánica es la limpieza de la piel eliminando el tejido subcutáneo y adiposo. Dichos tejidos deben quitarse en las primeras etapas de la fabricación con el fin de facilitar la penetración de los productos químicos aplicados en las fases posteriores y tener un

espesor lo más regular posible. El estado más adecuado para realizar el descarnado es cuando la piel esta pelado y caleado, es decir, piel en tripa. Esta operación también puede hacerse cuando la piel ya queda bien remojada, cuando se trata de pieles muy grasientas este descarnado se llama también “graminado” (Mendez, 2007).

El descarnado se realiza con maquina descarnadora que es accionado por motor trifásico y consta de mecanismos de apertura y cierre para someter la piel entre cilindro de arrastre que es de goma y los 02 cilindros metálicos uno con cuchillas filas y la otra prisionera con estrías para evitar que resbale la piel en el momento de descarnar. El descarnado, también se puede realizar manualmente con unas cuchillas con filo, sobre unos bancos de descarnar o zurrar, que son de madera apoyados en plano inclinado sobre 2 soportes (patas), este el caso de nuestra práctica (Mendez, 2007).

e) desencalado.

Esta operación se realiza para eliminar la cal y productos alcalinos del interior de la piel en tripa y por lo tanto la eliminación del hinchamiento alcalino de la piel apelambrada. El deshinchamiento se logra por la acción conjunta de la neutralización, aumento de la temperatura y el efecto mecánico.

La cal durante el apelambrado y calero se encuentra combinada con la piel de distintas formas; combinada por enlaces salinos con los grupos carboxílicos del colágeno, disuelta en los líquidos que ocupan los espacios interfibrilares, depositados en forma de lodos, sobre las fibras. Para eliminar esta cal, una parte se hace con los lavados previos el desencalado de la piel en tripa y el uso de agentes desencalantes.

Estos agentes suelen ser, sales amoniacales y ácidos por efecto osmótico, al existir mayor concentración salina en el interior de la piel que en el propio baño. Al pasar el H₂O en el interior se reduce la concentración salina produciéndose un hinchamiento alcalino (Mendez, 2007).

f) operación rendido o purgado.

El objeto del rendido o purgado es lograr por medio de encima proteolíticos, un aflojamiento y ligera pectización de la estructura del colágeno, al mismo tiempo que se produce una limpieza de la piel, del resto de epidermis, grasas, pelos, etc. La acción de los enzimas proteolíticos sobre el colágeno, consiste en una degradación interna o hidrólisis química de las fibras cola génicas sin producir productos de solubilización (Mendez, 2007).

g) operación desengrase.

La grasa natural de la piel es de una composición química bastante compleja está formada principalmente por triglicéridos, ceras, esteroides y fosfolípidos. La distribución en el corte de la piel de las sustancias grasas corresponde a un modelo de tres capas (Mendez, 2007):

1. En el tejido adiposo adherido en el lado carne con predominio de triglicéridos.
2. En la capa flor donde predominan las ceras.
3. Entre la flor y la carne en donde predominan los triglicéridos, fosfolípidos y esteroides, y menor cantidad de ceras.

Las necesidades de desengrase vienen dadas por inconvenientes que reporta su presencia en:

- Dificulta las reacciones químicas de los productos químicos con la fibra de la piel por que la grasa no es miscible con el agua.
- Por la presencia de la grasa habrá problemas de manchas oscuras y no permitirán un buen teñido y en el acabado.
- El enranciamiento (mal olor).

h) operación piquelado (pre- curtido).

Se puede considerar como un complemento del desencalado e interrupción definitiva del efecto enzimático del rendido. Tiene como objetivo, el acondicionar las pieles para el curtido, interrumpir la acción de las enzimas sobre el colágeno. La sal neutra se adiciona antes que el ácido, su misión en el baño es impedir el hinchamiento ácido del colágeno. El efecto hinchante se debe a que el colágeno se carga en medio ácido y el exceso de los iones incorporados de las sales neutras, igualan las diferencias de concentración entre la fase gel y la fase líquida. Es decir, la sal neutra (NaCl), no se combina prácticamente con la piel de manera que su concentración permanece inalterable. Una vez limpia por lavado continuo después del rendido y desengrasado, se pone el 80% de agua a 18–20 °C, se añade a continuación la sal común y debe rodar 10 minutos para disolver totalmente en el baño. Éste debe estar entre 6 y 7 °Be, luego se agrega al ácido fórmico (1:3), rodar 10 minutos y luego agregar el ácido orgánico SELLATAN P liq. y después de 10 minutos se debe controlar tanto el baño, el pH de la piel que debe ser aproximadamente 3 (Mendez, 2007). Según (Mendez, 2007), para generar un buen picle es necesario cumplir con las siguientes indicaciones:

- Temperatura de baño: 18-22 °C.

- Baño (flote): 80-100% Agua blanda.
- Cantidad de sal: 7-8% de peso piel ácido combinado.

El auxiliar para regular el pH de picle es el formiato de sodio en 1.5%, el formiato de sodio es anfótero a la vez regula el grado de flor.

i) operación curtido.

Es la operación más importante dentro de los procesos de curtido, el objetivo principal es evitar que las proteínas de la estructura fibrosa de la piel en tripa sea inestable, para lo que es importante el uso de productos curtientes, los mismos que van a modificar sus propiedades, de forma tal que el producto obtenido no se carnifique al secar, sea resistente a la acción del agua caliente, sea resistente también a la destrucción enzimática en húmedo (Mijaylova, P. y Juarez, M. , 2004).

j) operación de recurtición y engrase.

El objetivo de la recurtición con taninos vegetales, es de cambiar las características del cuero curtido con sales de cromo, ya que presenta dificultades al tratar de obtener determinado tipo de cuero. Hace algunos años cuando se empezó a generalizar el curtido al cromo, se estudió la posibilidad de re-curtir a dichos cueros con taninos, pero notaron que al introducir dichos taninos en el cuero, este empezaba a tener propiedades de cuero curtido vegetal y al analizarlo vieron que este tipo de curtido acarrea los efectos del cuero con curtido al cromo y los efectos del curtido con taninos, pero poco tiempo después, se vio que era muy conveniente el re-curtido con taninos, ya que presentaban características en el cuero que anteriormente no se había observado (Portilla, 2013). Estas son

operaciones combinadas con teñido. Una vez fijado el grosor de rebajado se pesa para programar la receta o fórmula a seguir y calculamos los porcentajes de productos químicos en base al peso rebajado.

k) operación acabado.

Con pintura, acabado a la semi anilina, o con complejo metálico, con una o dos manos con compresora y pistola a dispersión graduando el abanico de salida de la pistolas, finalmente se laquea con lacas preparando el sellado con disolventes orgánicos o también puede ser al agua, se realiza una sola pasada con pistola (Alberto, 2016).

l) clasificación de los curtientes.

Los curtientes empleados para la fabricación del cuero se pueden ordenar en tres grupos principales siguiendo su constitución química así (Portilla, 2013):

1. Curtientes poli aromáticos

- ✓ Progálicos o formadores de ácidos, se tiene: madera de encina, de castaño de flobáfero.
- ✓ Pirocatéticos o formadores de flobáfenos se tiene: maderas de quebracho, corteza de mimosa, catecú, etc.
- ✓ La corteza de pino (mezcla de pirogalol y pirocatequina).

2. Curtientes naturales.

- ✓ **Polibases:** El cromo, de aluminio, de zirconio.
- ✓ **Poliácidos:** curtientes de ácido fosfórico, silicio.

3. Curtientes alifáticos.

- ✓ Compuesto de poli condensados y polimerización.
- ✓ Derivados de parafina y grasas.

2.1.4. Sistema de electrocoagulación.

La electrocoagulación es un proceso que utiliza la electricidad para eliminar contaminantes en el agua que se encuentran suspendidos, disueltos o emulsificados. La técnica consiste en inducir corriente eléctrica en el agua residual a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, dentro de los más comúnmente utilizados están el hierro y el aluminio. La corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca las reacciones químicas que desestabilizan las formas en las que los contaminantes se encuentran presentes, bien sea suspendidas o emulsificados. Es así que los contaminantes presentes en el medio acuoso forman agregados, produciendo partículas sólidas que son menos coloidales y menos emulsificados (o solubles) que en estado de equilibrio. Cuando esto ocurre, los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan y/o flotan y se pueden remover fácilmente por algún método de separación de tipo secundario (Álvaro, 2005).

En el proceso de electrocoagulación hay generación de coagulantes in situ por la disolución de iones de aluminio o de hierro de los electrodos de aluminio o hierro respectivamente. La generación de iones metálicos tienen lugar en el ánodo y en el cátodo hay liberación de burbujas de hidrógeno gaseoso las cuales ayudan a la flotación de las partículas floculadas, las mismas que serán retiradas posteriormente (Álvaro, 2005) .

La electrocoagulación es utilizada en la remoción de contaminantes de muy diversas aguas residuales, tales como las de la industria de galvanoplastia, electro-plateado metálico, fábricas de envasados, industria del papel

(desperdicios de molinos de papel), peleterías, molinos de acero, efluentes con contenido de cromo, plomo o mercurio y efluentes con contenido de aceites como los generados por talleres de maquinaria, refinerías, talleres de reparación de autos, transporte, almacenamiento y distribución de aceites, efluentes de la industria alimentaria, lavanderías e industria textil, y finalmente ha sido utilizada en la remoción de los contaminantes de las aguas para consumo humano y residuales domésticas (Álvaro, 2005).

2.1.4.1. Evolución de la electrocoagulación.

La electrocoagulación ha sido una tecnología emergente desde 1906 con la primera patente concedida en Estados Unidos³. Con el tiempo se presentaron problemas de tipo financiero o de regulación de incentivos para que la industria adoptara esta técnica, pero son conocidos desarrollos anteriores. Desde el siglo XIX, en 1888, se efectuó el primer ensayo reportado en Londres por Webster, este proceso utilizaba ánodos de hierro soluble, proceso que fue investigado luego en otras localidades de Inglaterra. La caída de potencial entre los electrodos distantes una pulgada entre sí fue de 1.8 vatios y la corriente anódica de 0.6 Amp/pie. Cinco años más tarde, Wolff electrolizó una solución concentrada de sal para producir cloro y soda cáustica que utilizaba para esterilizar aguas negras en Brewster, NY (Álvaro, 2005).

En 1896 se usó en Lousville, Kentucky, una modificación del proceso de Webster para coagular agua cenagosa del río Ohio, proceso en el que se utilizó ánodos de hierro y aluminio, los cuales fueron efectivos en coagular el agua, pero sin una reducción importante en el oxígeno consumido. Webster en 1908 el proceso

³ OROZCO JULIO, ALVARO. La densidad de carga del electrolito como parámetro de control del proceso de electrocoagulación. En Revista Ainsa. Vol. 5 N° 2(1985):P.3-30

se utilizó en Santa Mónica con reducciones de 40% de materia orgánica. Bull en 1911 electrolizó una salmuera con ánodo de grafito interponiendo una membrana de asbesto entre los electrodos. Una modificación del proceso Webster -llamado Landreth- se utilizó en 1914 en Nueva York, en éste se añade cal para mejorar la conductividad del electrolito (Álvaro, 2005).

En 1930 este proceso dejó de tener interés para la industria, aunque como hecho aislado fue utilizado en 1932, en Alemania, con eficiencia del 50% en reducción de la DBO de aguas residuales. La falla de estos procesos se debió al alto costo de energía y a la necesidad de recambiar los electrodos. En 1947, en URSS, se utilizó el proceso con electrodos de hierro, obteniendo remociones de 70-80% de DBO (Álvaro, 2005).

Unos años más tarde, en 1958, el profesor Mendía de la Universidad de Nápoles utilizó esta técnica para desinfectar las aguas negras de ciudades costeras. En este proceso se mezcló 25-30% en volumen de agua de mar antes de la electrólisis (Álvaro, 2005).

En Noruega se combinaba 20% de agua de mar con las aguas residuales en la electrólisis para la remoción de fosfato utilizando electrodos de carbón. Aunque la eficiencia del proceso fue buena hubo problemas de corrosión. Se han reportado trabajos en URSS en donde se utilizó el proceso para remover partículas dispersas de aceite, grasa y petróleo (Álvaro, 2005).

En 1971, en Vancouver del Norte, se utilizaron ánodos de aluminio para disolverlos y coagular aguas negras. Este proceso operó a un costo ligeramente inferior al requerido con alumbre (Álvaro, 2005).

2.1.4.2. Aspectos técnicos del sistema de electrocoagulación.

a) El reactor para la electrocoagulación.

El reactor utilizado para realizar la electrocoagulación en una operación por batch, en su forma más simple, está formado por una celda electroquímica con un ánodo y un cátodo dispuestos en forma vertical y conectada a una fuente de energía externa. El material anódico se corroe eléctricamente debido a la oxidación, mientras que el cátodo permanece pasivo (MOLLAH, M. Yousuf A., SCHENNACH, Robert, PARGA, Jose R., and COCKE, David L., 2000).

El diseño formado por un par de electrodos no es el más adecuado a la hora del proceso ya que para obtener una adecuada disolución del metal se requiere de electrodos de gran área superficial, es por esta razón que se utilizan celdas con electrodos monopolares en paralelo o conectados en serie (Mollah, M. Yousuf A., Scheennach, Robert, Parga, Jose. and COcke, David, L., 2000).

El sistema para la electrocoagulación requiere de una fuente de corriente directa, un regulador de densidad de corriente y de un multímetro para leer los valores de corriente. En la Figura 1 se muestran dos reactores para electrocoagulación con electrodos en paralelo (MOLLAH, M. Yousuf A., SCHENNACH, Robert, PARGA, Jose R., and COCKE, David L., 2000).

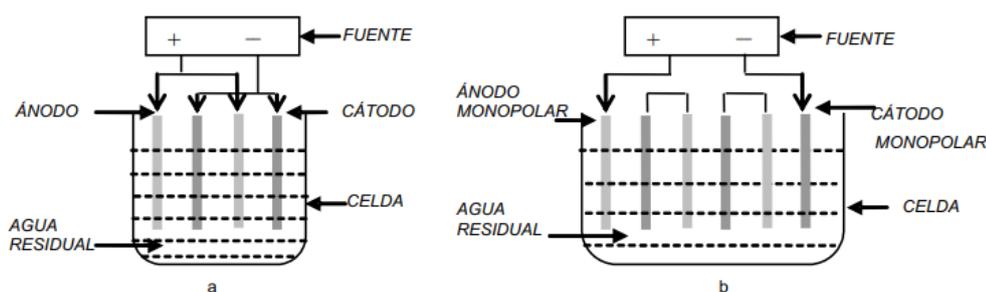


Figura 1. Reactores para electrocoagulación tipo Batch.

a) Reactores con electrodos monopolares conectados en paralelo, b) Reactores con electrodos monopolares conectados en serie.

Existen otros tipos de reactores para la electrocoagulación, uno de los más populares es el tipo filtro prensa, está formado por una unidad de cobertura en forma de caja con un ánodo, un cátodo y una membrana como se muestra en la Figura 2. Este sistema hace que su operación y mantenimiento sea relativamente simple (GUOHUA, 2003).

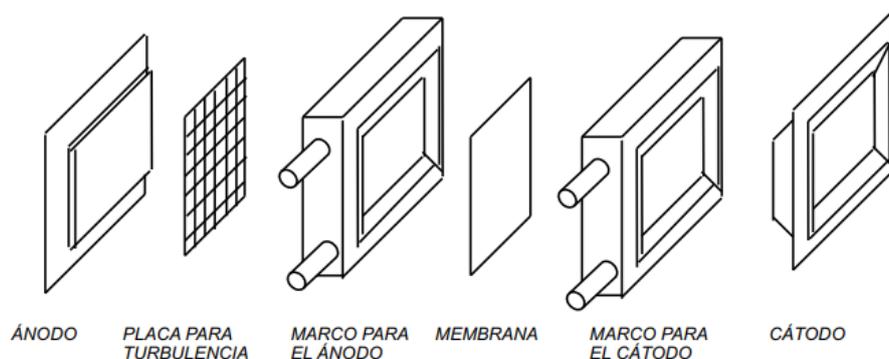


Figura 2. Reactor tipo filtro prensa.

Para la remoción de metales se usa el reactor de electrodo cilíndrico rotativo en el cual el cátodo gira en el centro de la celda y el ánodo se encuentra fijo como se muestra en la Figura 3. Esta disposición permite aumentar la transferencia de masa en los electrodos y remover partículas de metal del cátodo. Finalmente, también es usado para la remoción de metales, un reactor de lecho fluidizado mostrado en la Figura 4. Este permite aumentar el área específica superficial mejorando la eficiencia del proceso (GUOHUA, 2003).

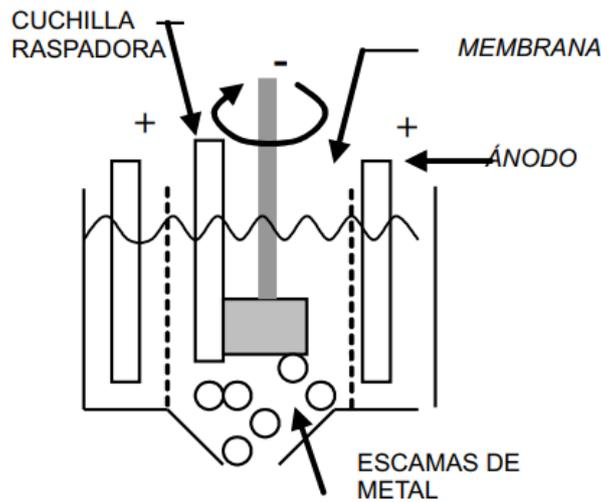


Figura 3. Reactor de electrodo cilindro rotativo

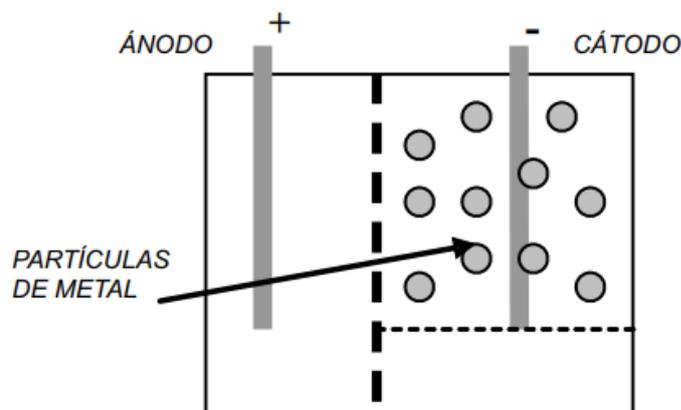


Figura 4. Reactor de lecho fluidizado

Los materiales usados en el ánodo deben ser dimensionalmente estables, tales como el acero que se utiliza en los reactores para la recuperación de metales, los electrodos más modernos son fabricados de titanio con una pequeña capa de óxidos de metales nobles. Sin embargo, el material más comúnmente utilizado es el aluminio. El cátodo puede ser de metal, grafito, fibras de carbón, acero o titanio (Álvaro, 2005).

b) proceso de electrocoagulación.

Durante la electrólisis ocurren una serie de procesos físicos y químicos que se pueden describir de la siguiente manera:

El lado positivo sufre reacciones anódicas, mientras que el negativo sufre reacciones catódicas. Las placas de metal, tales como hierro o aluminio son utilizadas como electrodo de sacrificio o placa consumible que aporta iones al sistema. Estos iones liberados neutralizan las cargas de las partículas desestabilizando los sistemas de suspensión de los contaminantes dando inicio a la coagulación (Álvaro, 2005).

Los iones liberados remueven cualquier contaminante, bien sea por reacción química y precipitación o agregando materiales coloidales que bien pueden flotar o precipitarse. Además, como el agua contiene partículas coloidales, aceites u otros contaminantes, éstos se mueven a través del campo eléctrico aplicado y pueden ionizarse, sufrir reacciones de electrólisis o de hidrólisis o formar radicales libres que alteran las propiedades físicas y químicas del agua y de los contaminantes, resultando en un estado reactivo y excitado lo cual es causa de la liberación, destrucción o insolubilidad de los contaminantes (MOLLAH, M. Yousuf A., SCHENNACH, Robert, PARGA, Jose R., and COCKE, David L., 2000).

Para aumentar la eficiencia de remoción de los iones indeseables, se puede hacer pasar el agua residual a través de una serie de celdas que tienen electrodos compuestos de varios metales. Los parámetros como pH, conductividad y potencial de óxido-reducción deben ser ajustados de acuerdo con el tipo de contaminante (MOLLAH, M. Yousuf A., SCHENNACH, Robert, PARGA, Jose R., and COCKE, David L., 2000).

c) factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación.

Son muchos los factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación y algunos de estos factores tienen mayor influencia sobre el proceso. A continuación discutiremos aquellos que se relacionan más directamente con la eficiencia del mismo (GARCIA, 2017).

Densidad de corriente: El suministro de corriente al sistema de electrocoagulación determina la cantidad de iones de aluminio Al^{+3} o hierro Fe^{+2} liberados por los respectivos electrodos. Cuando se usa una corriente demasiado grande, hay una transformación de energía eléctrica en energía calórica que calienta el agua. 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 (Álvaro, 2005).

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 (Restrepo, P. Arango, A. & Garces, L., 2006). El suministro de corriente al sistema de electrocoagulación determina la cantidad de iones de aluminio Al^{+3} o hierros Fe^{+2} , liberados por los respectivos electrodos (Chang, 2002).

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 eficiencia (Restrepo, 2006).

La energía eléctrica que se suministra a la celda electroquímica puede ser mediante corriente alterna (CA) o bien como corriente directa (CD). Las características propias del paso de cada una de las corrientes a través del medio acuoso generan diferentes respuestas electroquímicas entre las placas y el agua residual tratada. Cuando se suministra corriente directa se produce en el cátodo una impermeabilización, lo que causa una menor eficiencia en la remoción (Restrepo, 2006).

Presencia de NaCl: La sal aumenta la conductividad del agua residual. Se ha encontrado que los iones de cloruro pueden reducir los efectos adversos de iones como HCO_3^- y SO_4^{2-} pues la presencia de iones carbonatos o sulfatos pueden conducir a la precipitación de Ca^{+2} y Mg^{+2} produciendo una capa insoluble depositada sobre los electrodos, que aumentaría el potencial entre los electrodos decreciendo así la eficiencia de la corriente. Se recomienda, sin embargo, que para un proceso de electrocoagulación normal se mantengan cantidades de Cl^- del 20% (Álvaro, 2005).

pH: El efecto del pH en la electrocoagulación se refleja en la eficiencia de la corriente y se relaciona con la disolución del hidróxido del metal, se ha encontrado que el rendimiento del proceso depende de la naturaleza del contaminante y la mejor remoción se ha observado para valores de pH cercanos a 7. No obstante a pH neutral el consumo de energía es alto, debido a que hay variación de la conductividad. Cuando la conductividad es alta, el efecto del pH no es significativo. El pH después de la electrocoagulación podría incrementarse para aguas residuales ácidas pero decrecer para aguas alcalinas. El incremento de pH a condiciones ácidas ha sido atribuido a la reacción del hidrógeno en el cátodo dada por $\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$. 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 (Restrepo, P. Arango, A. & Garces, L., 2006).

Temperatura: Los efectos de la temperatura sobre la electrocoagulación no han sido muy investigados, pero se ha encontrado que la eficiencia en la corriente incrementa inicialmente hasta llegar a 60° 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 (Álvaro, 2005).

Tiempo. El tiempo de residencia, indican algunos autores determina que, a mayor valor, mayor es la cantidad de sólidos formados, debido a que se favorece tanto los procesos de electrodos como la floculación y precipitación de los sólidos. Se producen más gases, que, al ascender, llevan las partículas de óxido a la superficie en forma de espuma y a su vez promueve el crecimiento de los flóculos y su posterior precipitación. Un pequeño cambio del tiempo representa una gran influencia en la cantidad de sólidos obtenidos. Sin embargo, estos mismos autores señalan que sus variaciones resultan estadísticamente menos significativas que las variaciones de pH, ya que éste, está muy vinculado a la constante del producto de solubilidad (Kps) la cual debe de disminuir al elevarse el mismo, lo que significa que los sólidos son más insolubles y por tanto se Obtiene una mayor precipitación de los mismos en la medida que el pH aumenta (Aguilar, 2015).

2.1.4.3. Ventajas y desventajas del sistema de electrocoagulación.

Según (Khandegar, V & Saroha, A., 2013) las ventajas de la electrocoagulación son muchas. Entre las más relevantes están:

- Los costos de operación son menores comparativamente con los de procesos convencionales usando polímeros.
- 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.

Según (Mollah, M. Yousuf A., Scheennach, Robert, Parga, Jose. and COcke, David, L., 2000) Las desventajas del proceso de electrocoagulación son:

- 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.

2.1.4.4 Diseño del prototipo SETAR de la Universidad Nacional de Ucayali

Su forma de cubo con base piramidal trunca invertida permite reposar el soporte de los electrodos, que son un par de prismas cuadrangulares de baquelita de 36 cm de longitud con aberturas de 3 mm para la inserción de las placas de aluminio en él; cabe resaltar que el material fue escogido ya que posee propiedades dieléctricas, resistencia a la corrosión por su formación de resinas fenólicas termo-endurecibles, y resistencia mecánica haciéndolo un material de fácil troquelado que soporta el peso de las 26 placas por su resistencia a la tensión de 120 Mega pascales (Mpa) equivalente a 1223.6 Kg/cm².

Las celdas de electrocoagulación están compuestas por una serie de 13 pares de ánodos (Electrodos donde ocurre la oxidación y se liberan electrones) y cátodos (electrodos que reducen su estado de oxidación y recibe iones positivos) elaborados en planchas de aluminio de 3mm de espesor con dimensiones de 30x36cm. Estas planchas están unidas por dos varillas de cobre de ¼ de diámetro en los extremos y ½ en el centro elaboradas con hilos para permitir el pase de tuercas de acero galvanizado con la misma medida de diámetro interno;

éstas funcionan como seguro anti contacto entre placas de diferentes polaridad a fin de evitar el aumento brusco de la intensidad de corriente conocido como “*corto circuito*”. Sumado a esta medida de prevención cada placa presenta un corte cuadrado de 2x2cm en la esquina cercana al conductor de polaridad opuesta para el mismo fin.

Los conductores funcionan bajo un sistema de conexión en paralelo que aseguran la continuidad de la intensidad de corriente en cada una de las placas, evitando diferencias en el funcionamiento de cada cámara de reacción, con incidencia positiva sobre el tratamiento, ya que la liberación de electrones de aluminio y del hidrógeno por electrólisis en las moléculas del agua hace que la formación del hidróxido de aluminio $-Al(OH)_3-$ se produzca en el mismo periodo de tiempo para cada celda.

2.1.5. Límites máximos permisibles (LMP) y valores referenciales para las actividades industriales (cemento, cerveza, curtiembre y papel).

Con la finalidad de controlar excesos en los niveles de concentración de sustancias físicas, químicas y biológicas presentes en efluentes o emisiones, para evitar daños a la salud y al ambiente, se aprobó la norma D.S. N° 003-2002-PRODUCE, aplicable para todas las empresas nacionales y extranjeras, públicas o privadas con las instalaciones existentes o por implementar, que se dediquen en el país a las actividades industriales manufactureras de producción de cemento, cerveza, curtiembre y papel.

Los valores referenciales de los límites máximos permisibles están establecidos en los anexos 1, 2 de la norma⁴:

⁴ D.S. N° 003-2002-PRODUCE.

Tabla 2. Límites máximos permisibles de efluentes para alcantarillado de las actividades de curtiembre.

PARAMETROS	CURTIEMBRE	
	EN CURSO	NUEVA
pH	----	6.0 – 9.0
Temperatura (°C)	35	35
Solido suspensión. Tot. (mg/l)	----	500
Aceites y Grasas (mg/l)	100	50
DBO5 (mg/l)	----	500
DQO (mg/l)	----	1500
Sulfuros (mg/l)	---	3
Cromo VI (mg/l)	---	0.4
Cromo Total (mg/l)	----	2
N - NH4 (mg/l)	----	30
Coliformes fecales, NMP/100 ml	*	*

*En el caso del Subsector Curtiembre, no se ha fijado valores para el parámetro Coliformes fecales, dado que la data recopilada no era representativa, ni confiable. Asimismo, no ha sido posible identificar data a nivel nacional, ni en los países analizados sobre LMP específicos para éste parámetro en curtiembres, por lo que se ha desestimado la definición de éste LMP.

Tabla 3. Límites máximos permisibles de efluentes para aguas superficiales de las actividades de curtiembre.

PARAMETROS	CURTIEMBRE	
	EN CURSO	NUEVA
pH	5.0 – 8.5	6.0 – 9.0
Temperatura (°C)	35	35
Solido suspensión. Tot. (mg/l)	50	500
Aceites y Grasas (mg/l)	25	50
DBO5 (mg/l)	50	500
DQO (mg/l)	250	1500

Sulfuros (mg/l)	1	3
Cromo VI (mg/l)	0.3	0.4
Cromo Total (mg/l)	2.5	2
Coliformes fecales, NMP/100	4000	1000
N - NH4 (mg/l)	20	10

* *En curso:* Se refiere a las actividades de las empresas de los subsectores cemento, papel y curtiembre que a la fecha de vigencia del presente Decreto Supremo se encuentran operando.

** *Nueva:* Se refiere a las actividades de las empresas de los subsectores cemento, papel y curtiembre que se inicien a partir de la fecha de vigencia del presente Decreto Supremo.

Tabla 4. Valores referenciales de efluentes para alcantarillado y aguas superficiales de las actividades en curso de los sub sectores curtiembre.

Parámetros	Curtiembre (alcantarillado)
Grado de acidez o alcalinidad (pH)	6.5 – 9.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), mg/	1000
Demanda Química de Oxígeno (DQO), mg/l	2500
Sólidos Suspendidos Totales (SST), mg/l	1000
Sulfuros, mg/l	10
Cromo +6, mg/l	0,5
Cromo Total, mg/l	5
Nitrógeno Amoniacal (N - NH4), mg/l	50

* *En curso:* Se refiere a las actividades de las empresas de los subsectores curtiembre y papel que a la fecha de vigencia del presente Decreto Supremo se encuentran operando.

2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

- **Agua:** Se define como un líquido transparente, incoloro, inodoro e insípido en estado puro, cuyas moléculas que están formadas por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno, y que constituye el componente más abundante de la superficie terrestre y el mayoritario de todos los organismos vivos. (Formula H₂O). (Diccionario de la Real Academia española).
- **Agua residual:** agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria”.
- **Ánodo:** elemento de los dispositivos electrónicos que recibe flujo de corriente de electrones (Malvino, 1999).
- **Catodo:** elementos de los dispositivos electrónicos que proporcionan el flujo de corriente de electrones (Malvino, 1999).
- **Circuito eléctrico:** lazo cerrado formado por un conjunto de elementos, dispositivos y equipos electrónicos, alimentados por la misma fuente de energía y con las mismas protecciones contra sobretensiones y sobre corrientes. (Ministerio de Minas y Energía, 2013, p.19).
- **Corriente alterna:** corriente eléctrica que invierte su dirección de forma repetida, las cargas eléctricas vibran alrededor de puntos relativamente fijos.
- **Corriente directa o continua:** es el paso de electrones por un conductor siempre en el mismo sentido y con una intensidad constante a lo largo del tiempo. Una corriente continua mantiene constantemente el mismo valor de la intensidad y el mismo sentido. (Departamento de electrónica IES Juan de la Cierva, p.11).

- **Corriente eléctrica:** es el movimiento de cargas eléctricas entre dos puntos que no se hallan al mismo potencial, por tener uno de ellos un exceso de electrones respecto al otro. (Energia, 2013).
- **Curtiembre:** es un lugar donde se realiza el proceso que convierte las pieles de los animales en cuero.
- **Densidad de corriente:** expresa la cantidad de flujo de carga en un punto dentro de un conductor es una cantidad microscópica y se representa por un vector en la dirección de la corriente en un punto dentro del conductor (Barco, H. Rojas, E. y Restrepo E., 2012).
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbónacea y nitrogenada por acción de microorganismos en condiciones de tiempo y temperaturas específicas.
- **Demanda Química de Oxígeno:** medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o bicromato en un ambiente ácido y altas temperaturas.
- **Electricidad:** Una forma de energía obtenida del producto de la potencia eléctrica consumida por el tiempo de servicio. (Energia, 2013).
- **Electrocoagulación:** es un proceso en el cual se desestabiliza las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas, o disueltos en un determinado medio acuoso mediante la inducción de corriente en el agua (Arango, 2005).
- **Floculación:** es uno de los procesos físico-químico más utilizado en el tratamiento de aguas, y básicamente consiste en la aglutinación de las partículas

contaminantes en pequeñas masas con peso específico superior al del agua, denominadas flóculos.

- **Límites máximos permisibles (LMP):** es la medida de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente o una emisión que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente⁵
- **Intensidad de corriente:** Es la cantidad de carga eléctrica que atraviesa una sección transversal cualquiera de un conductor en la unidad de tiempo (Barco, H. Rojas, E. y Restrepo E., 2012).
- **Metales pesados:** Son elementos tóxicos que tiene un peso molecular relativamente alto. Usualmente, tienen una densidad superior a 5.0 g/cm³, por ejemplo, plomo, plata, mercurio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, molibdeno, níquel, zinc.
- **Oxígeno disuelto:** Concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación. Normalmente se expresa en mg/l.
- **Potencial de hidrogeno (pH):** Logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro.

⁵ Ley N°28611, Ley General del Ambiente.

CAPITULO III.

3.1. METODOLOGIA.

3.1.1. Método de la investigación.

En el estudio se empleó el método de investigación experimental descriptivo, que consistió en observar fenómenos tal y como se dan en el sistema de tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación (prototipo exclusivo de la Universidad Nacional de Ucayali), para analizar las propiedades y características físicas del agua residual de curtiembre, referentes a parámetros físico- químicos.

3.1.2. Área de estudio.

El área de estudio comprende al CITE pesquero amazónico Pucallpa, donde se obtendrá las aguas residuales de la curtiembre de piel de Paiche (*Arapaima Gigas*), que será tratada con el prototipo SETAR ubicada en el vivero agroforestal de la Universidad Nacional de Ucayali.

3.1.3. Población y muestra.

- **Población:** La población fue un total de 500 litros de aguas residuales proveniente de los procesos de curtido y teñido, ya que el sistema de electrocoagulación trabaja con 500 litros por tratamiento funcionando las 6 reactores electrolíticos, en nuestro caso se trabajó con un solo reactor electrolítico que tiene una capacidad de 42 litros, teniendo así un total 378 litros, y optamos por juntar 500 litros de aguas residuales por si sucede algún problema durante el tratamiento.

- **Muestra:** La muestra será una parte del total de aguas residuales obtenidas de los procesos de curtido y teñido de piel de Paiche (*Arapaima Gigas*), en este

caso serán 9 muestras de 42 litros, este volumen ya está dado por las medidas del reactor electrolítico, una vez tratada el agua residual, se recogerá 1.5 litros de agua tratada para los análisis en laboratorio.

3.1.4. Procedimiento de recolección de datos.

Una piel curtida resulta de transformar una piel cruda por acción de agentes curtientes metálicos o con contenido de taninos a un material resistente a la putrefacción con estabilidad al calor y a la humedad, que se realiza en 5 operaciones:



Figura 5. Operación de curtido

a) Acondicionamiento de las pieles.

Para que el agente curtiente actúe, es necesario realizar un acondicionamiento previo a la piel basado en salar y descarnar.

Salado.- El salado es una de las técnicas más antiguas de conservación de pieles que consiste en aplicar una cierta cantidad de sal por el lado de la carne. Cumple la función de preservar la piel contra agentes externos como bacterias y hongos, contribuye a deshidratar la piel y facilitar el retiro de la carne adherida en la operación de descarnado.

- Procedimiento para el salado de las pieles.

Paso 1. Pesar las pieles que han sido previamente descarnadas.

Paso 2. Cubrir totalmente por el lado carne con una cantidad de sal equivalente al 30% de su peso.

Paso 3. Apilar las pieles una sobre otras.

Paso 4. Dejar reposar por espacio de 3 a 4 días bajo sombra a temperatura ambiente.

Descarnado.- El descarnado consiste en retirar toda la carne que se encuentra adherida a la piel.

- Procedimiento para el descarnado de las pieles.

Paso 1. Colocar la piel sobre el tablero de madera con el lado de la carne hacia arriba.

Paso 2. Con la ayuda de un cuchillo afilado o ranchetas, descarnar la piel hasta lograr retirar la carne adherida y alcanzar el espesor deseado.

Paso 3. Recortar las aletas y la cola de la piel.



Figura 6. Descarnado de la piel de Paiche.

b) Remojo.

El remojo tiene por objeto lograr que la piel retorne a su estado de hinchamiento natural mediante la eliminación de la suciedad, restos de sangre y productos utilizados durante su conservación. Es necesario que este proceso se lleve a cabo en las dos etapas explicadas a continuación.

- **Pre remojo.-** Cuya finalidad es sacar la sal y los residuos de carne que aún se encuentran adheridas a la piel después del descarnado, unos dos o tres lavados con agua a temperatura ambiente.

- **Remojo principal.-** Cumple la función de humectar la piel, además de remover su grasa natural de la piel.

Procedimiento para la preparación del remojo.

Paso 1. Pesar las pieles descarnadas.

Paso 2. Pesar el 0,5% de desengrasante y el 0,15% de bactericida y 200% de agua.

Paso 3. Diluir el desengrasante en agua en una proporción de 1 a 5.

Paso 4. Diluir el bactericida en agua en una proporción de 1 a 5.

Paso 5. En una tina de 30 a 50 litros, colocar el 200% de agua a temperatura ambiente.

Paso 6. Añadir en la tina desengrasante y el bactericida diluido mientras se remueve constantemente durante 5 minutos.

Paso 7. Acondicionar las pieles y remover constantemente por 5 horas.

Paso 8. Después de una hora, remover esporádicamente por 5 horas.

Paso 9. Dejar reposar toda la noche.

Paso 10. Al día siguiente, controlar el remojo según lo que se indica a continuación.

Tabla 5. Control en el remojo.

1	Cortar una tira de piel de aproximadamente 1x3 cm del lado de la cabeza. En el corte colocar de 2 a 3 gotas del indicador de remojo, se debe observar una coloración azul que indica que el remojo se ha completado.
2	Llenar una probeta de 250 ml con baño de remojo e introducir el densímetro Baume, este debe indicar mejor o igual a 2 unidades.
3	El pH del baño de remojo debe estar entre 6,5 y 7,5.

Paso 11. Enjuagar las pieles.



Figura 7. Enjuague de las pieles.

c) Desengrase.

El desengrase tiene por finalidad remover la grasa de la piel mediante el uso de productos desengrasantes. El descarnado también contribuye a la eliminación de la grasa.

Procedimiento para el desengrase de pieles.

Paso 1. Colocar las pieles enjuagadas de la etapa de remojo en una tina.

Paso 2. Pesar el 1% de desengrasante y el 0,5% de humectante.

Paso 3. Diluir el desengrasante en agua en una proporción de 1 a 5 en un recipiente.

Paso 4. Diluir el humectante en agua en una proporción de 1 a 5 en otro recipiente.

Paso 5. Vertir agua a una temperatura entre 28° y 30°C en la tina hasta cubrir las pieles.

Paso 6. Acondicionar los insumos químicos preparados según los pasos 2,3 y 4, removiendo suavemente por 30 minutos. Dejar reposar por otros 30 minutos y escurrir.

Paso 7. Repetir los pasos 2, 3, 4,5 y 6 removiendo por espacio de una hora con movimientos intermitentes.

Paso 8. Retirar las pieles a otra tina y lavar con el 0,5% de humectante.

Paso 9. Enjuagar las pieles con agua a temperatura ambiente.

Paso 10. Realizar el control de calidad del desengrase, que consiste en verificar la textura de la piel, para lograrlo se desliza la mano sobre el lado de la carne y flor de piel. Las pieles no deben presentar tacto graso.



Figura 8. *Desengrase de la piel*

d) Piquelado.

El piquelado se realiza para llevar las pieles a un pH ácido antes de la curtición de tal forma que el agente curtiente pueda fijarse adecuadamente en la piel. Generalmente se utiliza agua, sal y ácido para conseguir el piquelado. Este proceso se realiza en las siguientes etapas.

- **Preparación de la salmuera.**- Se utiliza sal común para evitar que las pieles se hinchen en el ambiente ácido.

Paso 1. Preparar el baño en una tina con agua al 100% a temperatura ambiente.

Paso 2. Acondicionar el 7% de sal y remover por un periodo de 15 minutos hasta la disolución completa de la sal.

Paso 3. Realizar el control de calidad de la salmuera, el cual consiste en llenar una probeta de 250 ml con salmuera e introducir el densímetro de Baumé. Este debe indicar entre 6° y 7° Baumé. Si no alcanza este valor, se corrige adicionando sal (ver imagen 5).

Paso 4. Introducir las pieles en la tina que contiene la salmuera mientras se remueve, realizar este proceso durante 30 minutos (ver imagen 6).



Figura 10. Introducción de las pieles a la salmuera.



Figura 9. Control de densidad (*Be) de la salmuera.

- **Preparación de acidificación.**- El tratamiento ácido se consigue con el uso de ácido fórmico, sulfúrico y ácidos orgánicos de marcas comerciales que garanticen un curtido controlado.

Paso 1. Diluir cada parte de ácido orgánico en agua a temperatura ambiente en una proporción de 1 a 10.

Paso 2. Acondicionar a la salmuera que contiene las pieles la primera parte del ácido orgánico (0,5%) lentamente con agitación suave durante 30 minutos.

Paso 3. Acondicionar la segunda parte del ácido orgánico (1,5%) y seguir removiendo durante 2 horas. Seguir agitando intermitentemente hasta el final del día.

Paso 4. Dejar en reposo toda la noche.

Paso 5. Al día siguiente, realizar el control de calidad en el acidificado. Para realizarlo se hace un pequeño corte con un cuchillo en la parte de la cabeza y en la muestra agregamos una gota de verde de bromo cresol, se tiene que verificar la coloración verde (ver figura).



Figura 11. Verificación del contenido ácido con el indicador bromo cresol.

e) Curtido.

El propósito del curtido es detener la degradación de la piel mediante la fijación de curtientes al colágeno que la forma y le confiere estabilidad frente al calor y la humedad.

La combinación de agente curtientes vegetales es aplicada para definir las cualidades de la piel producida. La fuente de extracto le da a cada tipo de tanino vegetal un carácter distinto que se refleja en el color, plenitud, firmeza y tiesura de la piel producida.

Formula.

Tabla 6. Insumos químicos para el proceso de curtido

N°	Insumos Químicos	Porcentaje	
1	Fungicida	0,2 %	
2	Extracto quebracho	10%	} Parte 1
3	Extracto de acacia	5%	
4	Dispersante	0,5%	
5	Extracto de quebracho	10%	
6	Extracto de acacia	5%	
7	Dispersante	0,5%	
8	Ácido orgánico	0,2%	

Paso 1. En el mismo baño de piquelado, adicionar el 0,2% de fungicida y remover por 15 minutos.

Paso 2. Pesar en dos partes el curtiente vegetal (el 10% de extracto de quebracho y el 5% de extracto de acacia) y 0,5% de dispersante.

Paso 3. Mezclar y diluir cada parte con agua a una temperatura de 35°C

Paso 4. Acondicionar la primera parte del curtiente vegetal y remover por 60 minutos luego remover en forma intermitente durante el día.

Paso 5. Dejar reposar toda la noche.

Paso 6. Al día siguiente, controlar el nivel de teñido según el control de curtido (cortar una muestra pequeña del lado más grueso y otra del lado más delgado de la piel, y observar el avance de la penetración del curtiente vegetal).

Paso 7. Acondicionar la segunda parte del curtiente vegetal.

Paso 8. Remover por 120 minutos. Luego remover en forma intermitente por lo menos durante 7 horas.

Paso 9. Al día siguiente controlar el atravesado del curtiente según el control de curtido descrito en el paso 6.

Paso 10. Si el atravesado no se ha completado, continuar en el mismo baño con remoción intermitente por 1 o 2 días más hasta que no se aprecie ninguna línea blanca en el corte de la piel.

Paso 11. Luego de que el curtiente haya atravesado totalmente el cuero, adicionar 0,2% de ácido orgánico diluido en agua en una proporción de 1 a 10 y remover por 60 minutos. Dejar reposar hasta el día siguiente.

Paso 12. Al día siguiente, lavar, escurrir y retirar las pieles de la tina. Se debe dejar en reposo, orear bajo sombra por espacio de 24 a 48 horas.



Figura 12. Pieles curtidas en proceso de reposo.

3.1.5. Técnica e instrumentos para la recolección de datos

3.1.5.1 Técnicas de recolección de datos

- **Análisis de laboratorio:** Esta técnica nos proporcionara los datos de tres parámetros, aceites y grasas, DBO5, DQO. Análisis de laboratorio: Esta técnica nos proporcionó los datos de tres parámetros, aceites y grasas, DBO5, DQO. Los análisis se realizaron en el laboratorio SERVICIOS ANALITICOS GENERALES S.A.C – SAG., laboratorio acreditado por INACAL.

Para el análisis de aceites y grasas se utilizó el método EPA-821-R-10-001 Method 1664 Rev. B. N-Hexane Extractable Material (HEM; oil and Grease) and Silica Gel Treated N- hexane extractable material (SGT- Hem; Non- polar Material) by extraction and Gravimetry. 2010.

Para el análisis de DBO5 se utilizó el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.

Para los análisis de DQO se utilizó el método SMEWW-APHA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed, 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.

Los datos de PH y TEMPERATURA fueron recolectados al momento de realizar la electrocoagulación, por medio de sensores que venían instalados en el equipo de electrocoagulación.

3.1.5.2 Instrumentos

- probeta

- 10 envases de vidrio ámbar de 1 l.

- 10 botellas plásticas de 250 ml.

- 10 botellas plásticas de 500 ml
- 2 baldes de 20 l.
- plumón indeleble, lapicero
- tablero para apuntes

3.1.6. Procesamiento de recolección de datos

La investigación cuenta con 9 tratamientos dados en intervalos de 5 min, durante 45 minutos de electrocoagulación. Según se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Tratamientos y repeticiones

TRATAMIENTO	REPETICIONES
0-5 min	3
0-10 min	3
0-15 min	3
0-20 min	3
0-25 min	3
0-30 min	3
0-35 min	3
0-40 min	3
0-45 min	3

Las muestras serán tomadas del punto de salida de aguas tratadas del reactor electrolítico tal como se muestra en la figura 13.

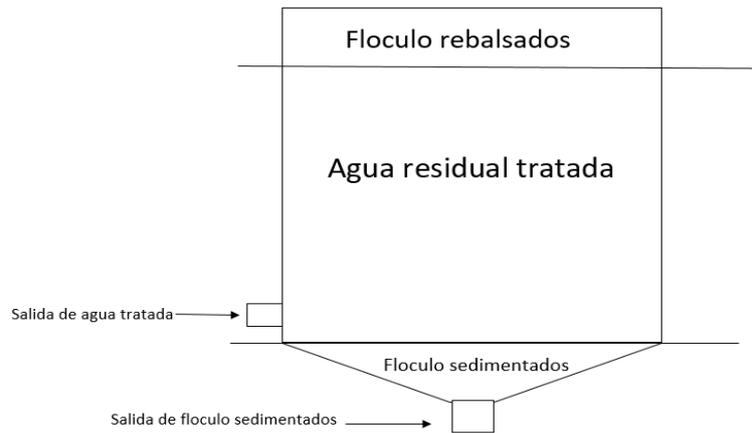


Figura 13. Esquema de reactor electrolítico.

Los datos de las muestras serán ingresados en el formato de cadena de custodia proporcionada por el laboratorio particular, quienes realizarán los análisis de las aguas tratadas en los parámetros de ACEITES Y GRASAS, DBO5 Y DQO. Se puede visualizar el formato de la cadena de custodia en el anexo 1.

3.1.7. Tratamiento de datos.

Los datos recolectados fueron procesados en el programa IBM SPSS STATISTICS 23, donde fueron sometidos a un análisis estadístico descriptivo, para determinar la media, mediana, varianza, mínimo, máximo y el rango de cada uno de los parámetros por cada tratamiento realizados en la etapa de campo, con un porcentaje de probabilidad del 95%.

CAPITULO IV.

4.1. RESULTADOS.

- ACEITES Y GRASAS

En la figura 14 se puede observar como la línea que representa a los niveles de aceites y grasas descienden rápidamente, conforme se va sometiendo a un mayor tiempo de electrocoagulación, en la muestra testigo se obtiene 342,0 mg/L y en la figura se observa que en minuto 5 de electrocoagulación nos da un resultado de 110 mg/L teniendo una remoción de aceites y grasas de 232 mg/L.

Este descenso en el grafico llega hasta el minuto 20 de electrocoagulación donde los niveles de aceites y grasas son de 12.8 mg/L, posterior a ello se nota que los niveles de aceites y grasas empiezan a elevarse, para luego estabilizarse en los minutos 40 y 45 de electrocoagulación.



Figura 14. Aceites y grasas sobre tiempo.

- DBO5

En figura 15 se puede observar a la línea que representa a los niveles de DBO5 que tiene las aguas tratadas en cada uno de los tiempos que fueron sometidas a la electrocoagulación. En la muestra testigo tenemos como dato que el DBO5 es de 1933 mg/L, teniendo un descenso hasta el minuto 20 llegando a tener 674.4 mg/L.

Luego se observa que en el minuto 25 empezó a elevarse y partir del minuto 30 y 35 se empieza a estabilizar el DBO5 de igual manera en los minutos 40 y 45 donde los niveles de DBO5 llegan a 795.46 mg/L

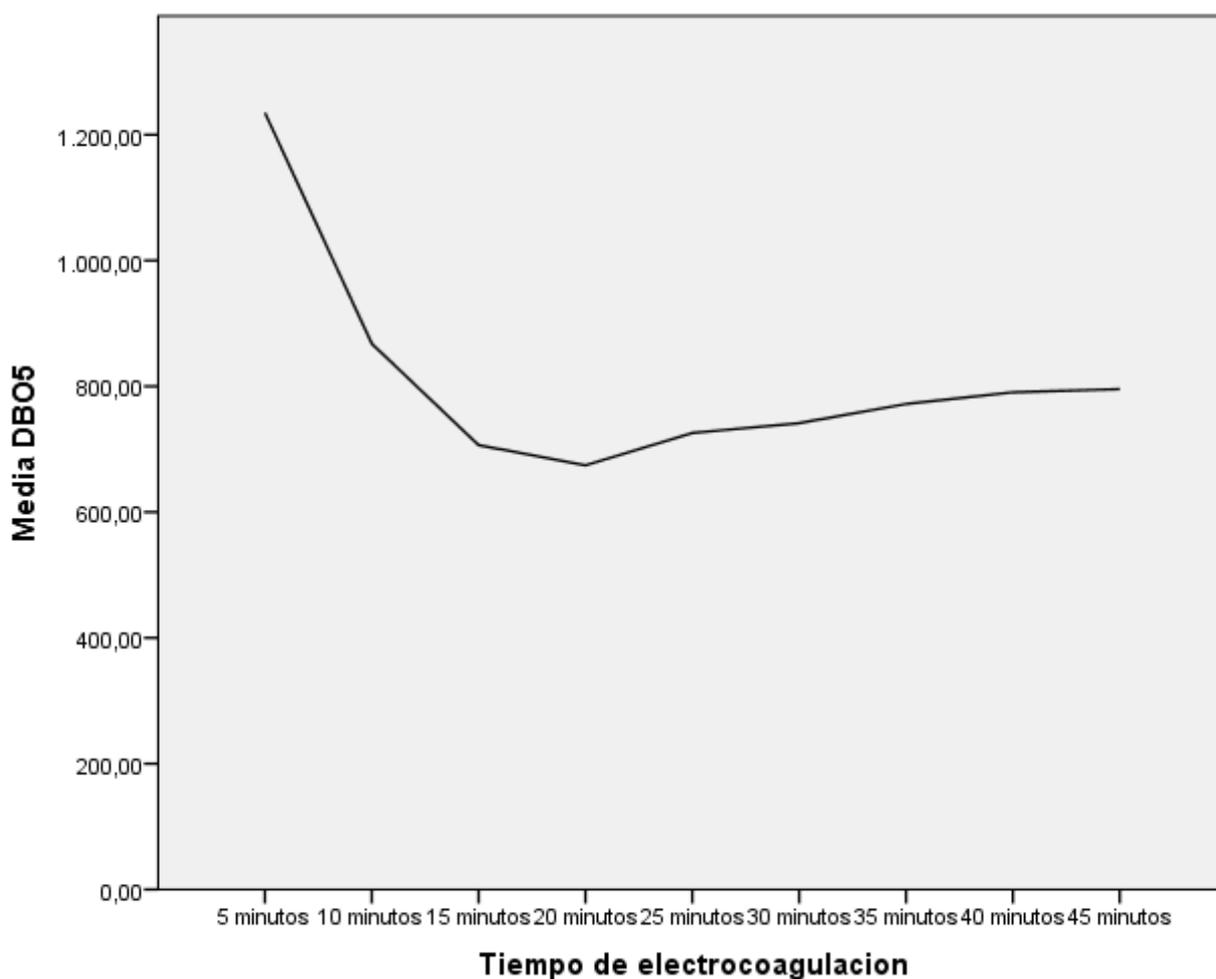


Figura 15. Demanda biológica de oxígeno sobre tiempo.

- DQO

En la figura 16 se puede observar que la línea que representa a los niveles de DQO que tienen las aguas en cada uno de los tiempos que fueron sometidas a la electrocoagulación. La muestra testigo arrojó un valor de 7547 O₂mg/L., luego en el minuto 5 se puede observar que los niveles de DQO bajaron a 5513.3 O₂mg/L teniendo una reducción considerable en ese tiempo.

En el minuto 20 se puede observar que los niveles de DQO han llegado a 2657.52 O₂mg/L, para luego subir a 4056.21 O₂mg/L en el minuto 25 y llegar al minuto 45 con 5180.25 O₂mg/L.

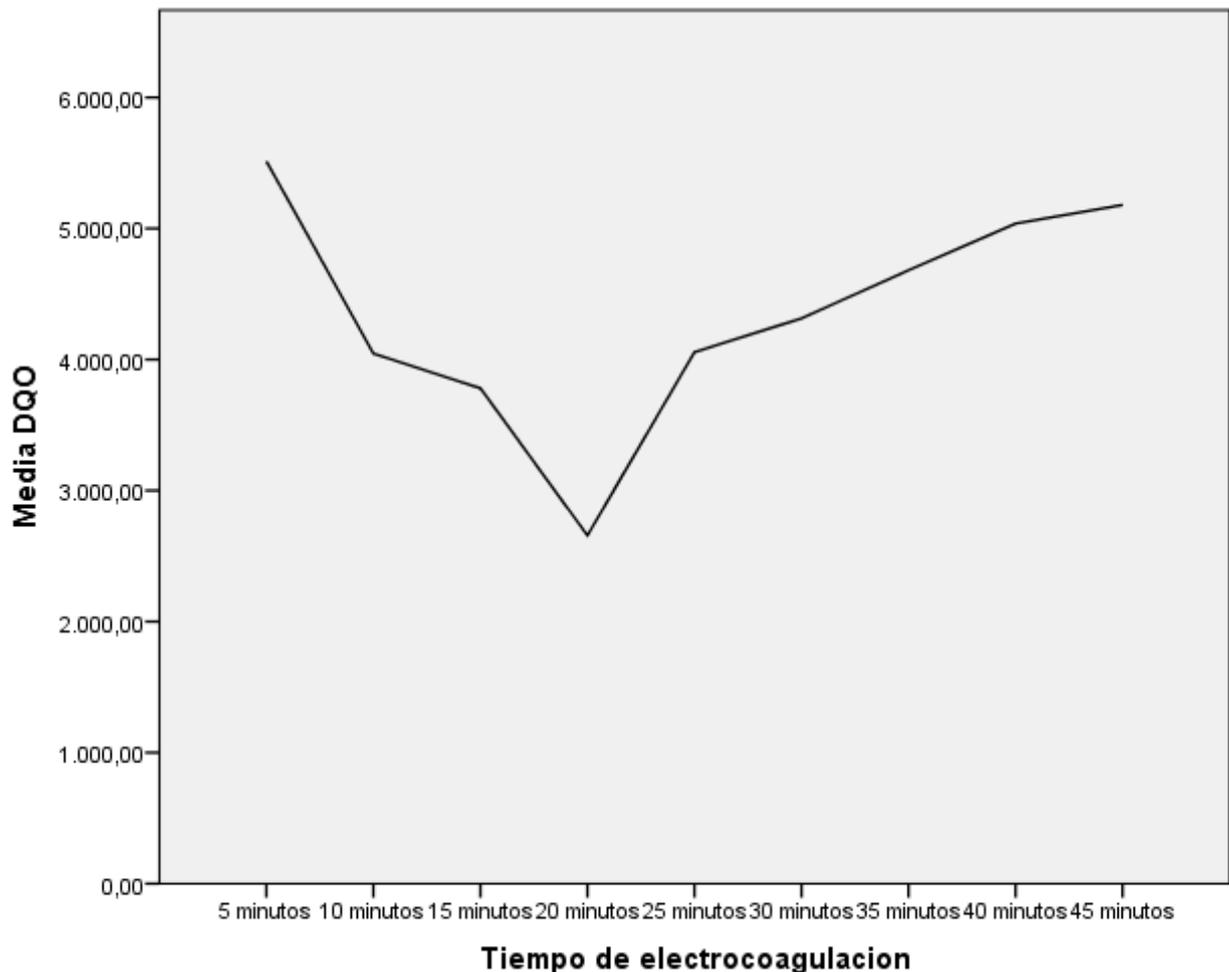


Figura 16. Demanda química de oxígeno sobre tiempo.

- **pH**

En la figura 17 se puede observar que en el minuto 5 de electrocoagulación los niveles de pH son de 3.39, en la muestra testigo se tiene valores de 3.1, conforme va avanzando el tiempo de electrocoagulación se puede observar que el pH va subiendo progresivamente hasta tener un valor de 9.053 en el minuto 45.

También se puede observar que el aumento de pH entre el minuto 35 y el minuto 45 son en pequeñas cantidades, a diferencia de los niveles del minuto 5 y 15.

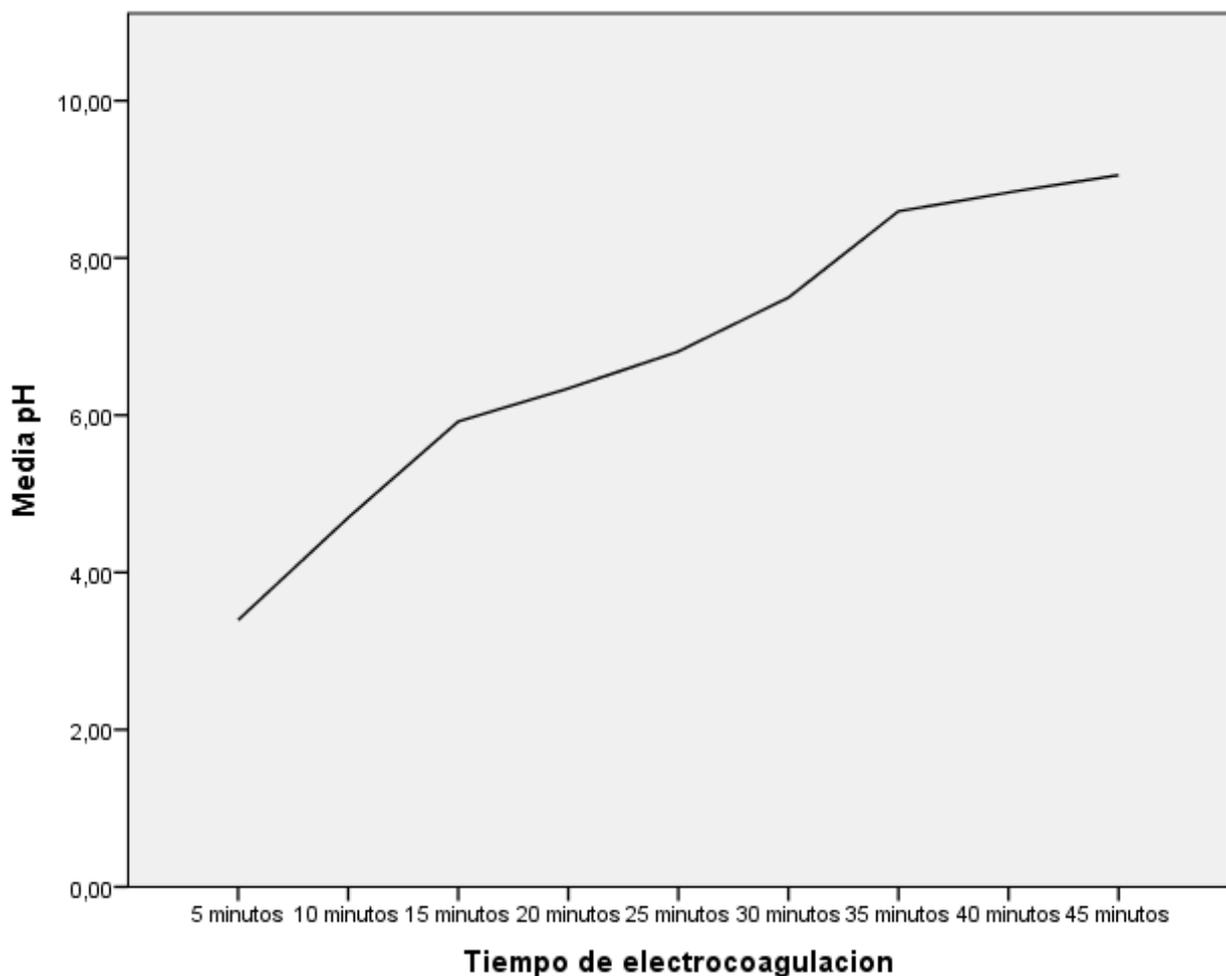


Figura 17. Potencial de hidrogeno sobre tiempo

- **Temperatura**

En la figura 18 se puede observar que la temperatura en el minuto 5 es de 28.35 °C, y en el minuto 45 es de 31.72 °C teniendo así una diferencia de 3.37 °C entre ambos tiempos, se aprecia un comportamiento estable a lo largo de todos los tratamientos realizados en los diversos tiempos de electrocoagulación.

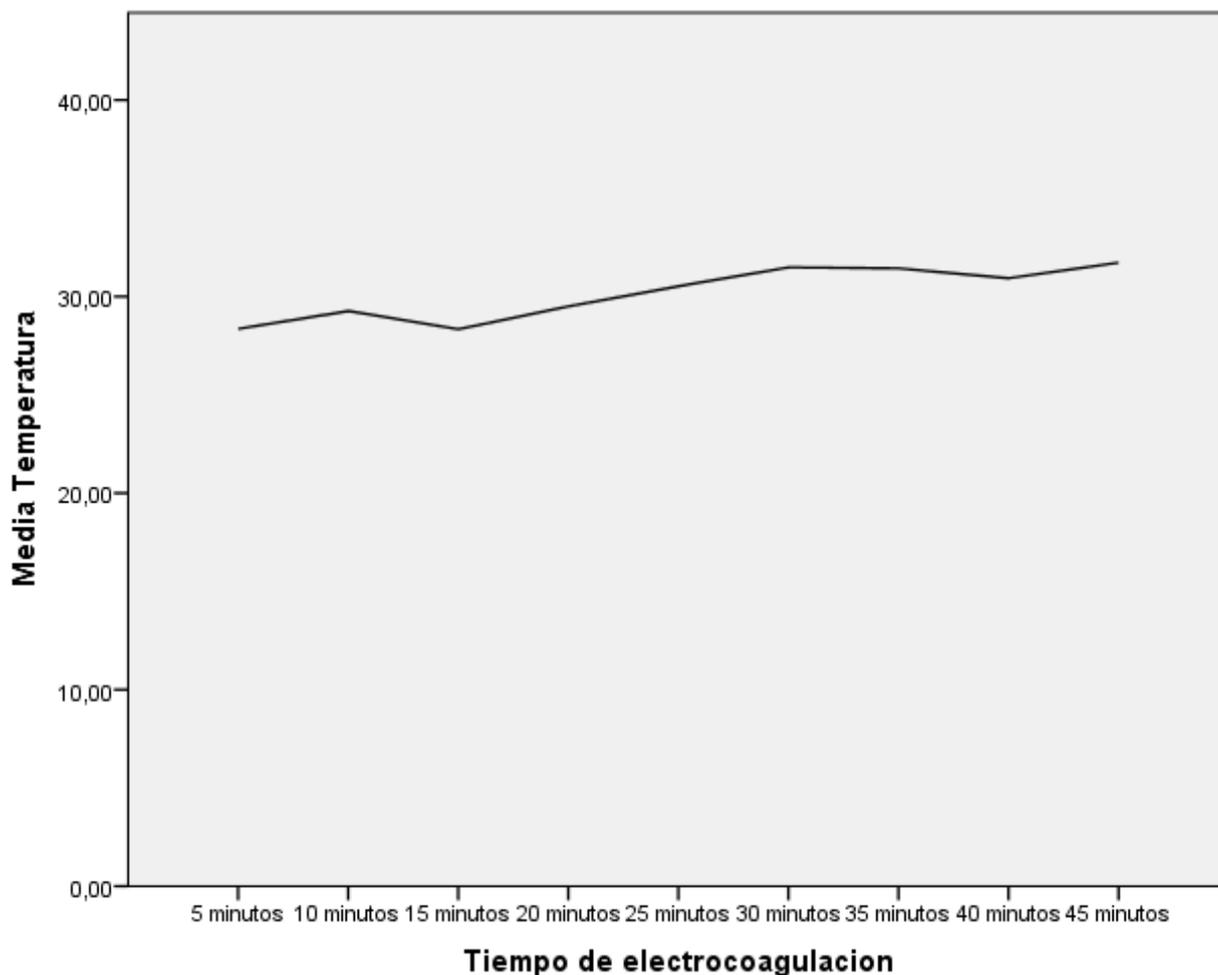


Figura 18. Temperatura sobre tiempo.

4.2. DISCUSION

- El incremento de pH a condiciones ácidas ha sido atribuido a la reacción del hidrógeno en el cátodo dada por $H_2O + 2e \rightarrow H_2 + 2OH^-$. 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 (Restrepo, P. Arango, A. & Garces, L., 2006).

En este comentario de Restrepo, nos da a entender por qué nuestros valores de pH en los primeros tratamientos empiezan a subir, pero también hace mención que las aguas residuales alcalinas puede decrecer, en nuestra investigación en el minuto 30 de electrocoagulación, ya se había obtenido aguas con 7.49 pH, en el minuto 35 del tratamiento ya se contaba con niveles alcalinos de 8.59 pH, para lo cual a partir de ese momento según Restrepo debió decrecer los niveles de pH, siendo todo lo contrario en los siguientes tiempos de tratamiento los niveles de pH fueron subiendo hasta llegar a 9.053 pH en el minuto 45 del tratamiento, dando a entender que efectivamente dependerá de la naturaleza de contaminante para determinar algunos comportamientos del pH durante el proceso de electrocoagulación.

- El tiempo de residencia, indican algunos autores determina que, a mayor valor, mayor es la cantidad de sólidos formados, debido a que se favorece tanto los procesos de electrodos como la floculación y precipitación de los sólidos. Se producen más gases, que, al ascender, llevan las partículas de óxido a la superficie en forma de espuma y a su vez promueve el crecimiento de los flóculos y su posterior precipitación. Obtiene una mayor precipitación de los mismos en la medida que el pH aumenta (Aguilar, 2015).

En los resultados obtenidos en aceites y grasas nos da a entender que si el proceso de electrolisis continua después de haber llegado a su tiempo optimo estos flóculos se rompen y se separan teniendo nuevamente contaminantes en el agua, no siempre al formarse más espuma significara que este ascendiendo más contaminantes, esto se puede notar en el color que tiene la espuma durante el proceso de electrocoagulación.

- En el D.S. N° 003-2002-PRODUCE nos da a conocer los límites máximos permisibles donde los valores para las nuevas empresas que se dediquen a la actividad de curtiembre, que viertan sus aguas en alcantarillado y a cuerpos de aguas superficiales son de 6 – 9 pH, temperatura de 35 °C, aceites y grasas de 50 mg/L, DBO5 de 500 mg/L y DQO de 1500 O2mg/L. En los resultados obtenidos tenemos en el proceso de electrocoagulación son de 6.34 pH, temperatura de 29.49 °C, aceites y grasas de 13.1 mg/L, DBO5 674.4 mg/L y DQO de 2657.52 O2mg/L. teniendo que los resultados en DQO no llegan a cumplir con lo requerido por el decreto supremo de igual manera para el parámetro de DBO5.

CAPITULO V.

5.1. CONCLUSIONES

1. Se determinó que el sistema de electrocoagulación es adecuado para el tratamiento de aguas residuales de curtiembre.
2. La calidad de aguas tratadas por el sistema de electrocoagulación fueron óptimas en algunos parámetros como es el caso de pH, Temperatura, Aceites y Grasas.
3. El tiempo óptimo para tratar las aguas residuales de curtiembre es al minuto 20 de electrocoagulación.

5.2. RECOMENDACIONES.

1. Se recomienda agregar un sistema de sedimentación en el punto de salida de aguas tratadas, para obtener mejores resultados en los parámetros de DQO y DBO5.
- 2 Los reactores electrolíticos tienen que ser debidamente recubiertos por un aislante eléctrico que tal manera que no haya sobrecarga de energía evitando así el aumento de la temperatura.
3. En otras investigaciones se requiere hacer pruebas teniendo como variante la distancia de las placas, el voltaje y amperaje.
4. El uso de EPPs es, indispensable para manipular las aguas residuales, por que estas se encuentran con un pH 3 a 4 lo cual puede generar irritaciones.
5. Se debe probar los sensores y calibrar si es necesario antes de usar el sistema de electrocoagulación.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- "Carta del agua" . (1986). Europa : Consejo de Europa .
- Aguilar, E. (2015). Evaluacion de la eficiencia de una celda de electrocoagulacion a escala de laboratorio para el tratamiento de agua. Lima.
- Alberto, P. M. (2016). Tratamiento de las Aguas Residuales del Proceso de Curtido en Pieles por proceso Fisico-Quimico de la Curtiembre de la Facultad de Ingenieria Quimica de la UNA-PUNO. *Tratamiento de las Aguas Residuales del Proceso de Curtido en Pieles por proceso Fisico-Quimico de la Curtiembre de la Facultad de Ingenieria Quimica de la UNA-PUNO*. PUNO, PUNO, PERU: Repositorio Institucional UNA-PUNO.
- Álvaro, A. R. (2005). La Electrocoagulación: Una Alternativa para el Tratamiento de Aguas Residuales. *Lasallista de Investigación*. , 49-56.
- ANA, A. N. (2013). *Situacion actual y perspectivas en el sector Agua y Saneamiento en el Peru*. Obtenido de <http://www.camara-alemana.org.pe/downloads/2-130311-ANA.pdf>
- Angelinetti, A y Cantera, C. (2006). *Remojo, Depilado y sus aguas Residuales. Problemas y Soluciones*. Buenos Aires: CITEC.
- Antonio brack y Cecilia Mendiola. (2012). *ECOLOGIA DEL PERU* . Obtenido de ECOLOGIA DEL PERU : <http://www.peruecologico.com.pe>
- Arango, A. (2005). La electrocoagulacion: Una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista lasallista* , 49-56.
- Artiga, A. (2005). *Distribucion a la mejora del tratamiento biologico de aguas residuales de la industria de curtido*. España.
- Barco, H. R. (2012). *Fisica principios de electricidad y Magnetismo*. . Colombia.
- Barco, H. Rojas,E. y Restrepo E. (2012). *Fisica principios de electricidad y magnetismo. Manizales*, 171.
- Camacho, D. A. (2013). *Sistema de Gestion de Riesgos y Salud para el mejoramiento de los procesos de produccion en la empresa curtiembre Quisapincha*. Obtenido de https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5729/1/Tesis_t830id.pdf
- Campos, C. V. (2013). *Analisis y mejora de procesos de una curtiembre ubicada en el ciudad de trujillo*. . Peru.
- Chang, R. (2002). *Quimica*. Mexico: Companies.
- Condor Basantes, Ericka Elizabeth y Paillacho Coque, Paola Vanessa. (2016). *Evaluacion del consumo y calidad del agua en el proceso de curtido en la industria del cuero en la empresa ecuatoriana de curtidos Salazar, Periodo 2014-*

2015. Obtenido de <https://docplayer.es/125289026-universidad-tecnica-de-cotopaxi.html>
- Energia, M. d. (2013). *Reglamento tecnico de instalaciones electricas-RETIE*.
- Garcia, M. (1993). *Guia tecnica para la minimizacion de residuos en curtiembre*. Lima: Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- GARCIA, P. J. (Setiembre de 2017). *Tratamiento de Aguas Residuales de la industria de curtiembre mediante metodo de electrocoagulacion para la reduccion de la demanda quimica de oxigeno y cromo*. Obtenido de http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/3594/De%20la%20cruz%20Garcia%2c%20Silva%20Salazar%20y%20Inca%20Gomez_titulo%20quimica_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- GUOHUA, C. (13 de Octubre de 2003). *Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology*. Obtenido de *Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology*: www.elsevier.com/locate/seppur
- J. Fernando Lario-Meño; Carlos Gonzales Taranco; Yennifer Morales Olivares. (2015). Las Aguas Residuales y sus Consecuencias en el Peru . *Saber y Hacer*, 15-16.
- J. Fernando Larios-Meño; Carlos Gonzales Taranco; Yennifer Morales Olivares. (2015). Las Aguas Residuales y sus consecuencias en el Peru. *Saber y Hacer*, 14.
- J.Fernando Larios-Meño; Carlos Gonzales Taranco; Yennyfer Morales Olivares . (2015). Las Aguas Residuales y sus consecuencias en el Peru. *Saber y Hacer*, 12 - 13.
- Khandegar, V & Saroha, A. (2013). Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent-A review. *Journal of environmental management*.
- Malvino, P. (1999). Principios de electronica. *Mc Graw Hill*, 1094.
- Mendez, R. (2007). *Produccion limpia en la industria de curtiembre*. Servicio de publicacion e intercambio Cientifico.
- Mijaylova, P. y Juarez, M. . (2004). *Remocion de sulfuros en efluentes de pelambre para su recuperacion y aprovechamiento*. Colombia.
- Mollah, M. Yousuf A., Scheennach, Robert, Parga, Jose. and COcke, David, L. (23 de diciembre de 2000). *Electrocoagulation science and applications. Journal of hazardous materials*. Obtenido de www.elsevier.nl/locate/jhazmat
- MOLLAH, M. Yousuf A., SCHENNACH, Robert, PARGA, Jose R., and COCKE, David L. (23 de Julio de 2000). *Electrocoagulation (EC)-science and applications. Journal of Hazardous Materials B84*. Obtenido de *Electrocoagulation (EC)-science and applications. Journal of Hazardous Materials B84*: www.elsevier.nl/locate/jhazmat

- Moscoso, J. (2011). *Estudio de Opciones de Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales en Lima Metropolitana*. Lima: Water University of Stuttgart.
- Murillo, C. (2005). *Optimizacion de parametros reguladores del proceso de engrase en la produccion de cuero de alpaca*. Puno.
- Murillo, C. E. (2005). *Optimizacion de parametros reguladores del proceso de engrase en la produccion de cuero de Alpaca*. Puno.
- Portilla, P. A. (2013). *Analisis tecnico ambiental del proceso de curtidura serrano de la ciudad de ambato y diseño de la planta de tratamiento de las aguas residuales*. Ecuador.
- Restrepo, A. (2006). *La electrocoagulacion: retos y oportunidades en el tratamiento de agua*. .
- Restrepo, P. Arango, A. & Garces, L. (2006). *La electrocoagulacion: retos y oportunidades en el tratamiento de agua*.
- Rey de Castro Rosas, A. C. (2013). *Recuperacion de cromo (III) de efluentes de curtido para control ambiental y optimizacion del proceso productivo*. Lima.
- Reynolds, K. (2002). *Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamerica: Identificacion del problema*. Obtenido de <http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/delalavesepoct02.pdf>
- Riccio Yauri, L. F. (2015). *Remocion de Contaminantes de Aguas Residuales urbanas del colector aguas de las virgenes por electrocoagulacion, a nivel de laboratorio, utilizando como fuente energetica un panel fotovoltaico*. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/4171>
- Romero, R. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales por lagunas de estabilizacion*. Mexico.
- SUNASS. (2008). *Estudio Diagnostico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Peru y Propuestas en solucion*. . Obtenido de [http://www.proagua.org.pe/files/de62b65581b727d66847f48aa52fbbd/Libro_PT AR.pdf](http://www.proagua.org.pe/files/de62b65581b727d66847f48aa52fbbd/Libro_PT_AR.pdf)
- Tayupanda, P. S. (2010). *Diseño de un sistema de tratamiento de agua residual del proceso de pelambre para su reutilizacion, curtiembre pieles Puma*. Ecuador.
- UNESCO. (2003). *AGUA PARA TODOS, AGUA PARA LA VIDA. PARIS*. Obtenido de <http://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf>
- UNESCO. (2017). *Aguas residuales: El recurso desaprovechado. Naciones Unidas, la ciencia y la cultura*, 51. Obtenido de *Aguas residuales: El recurso desaprovechado*.: <http://unesdoc.unesco.org.pdf.org>
- Yee-Batista, C. (Diciembre de 2013). *Un 70% de las aguas residuales de Latinoamerica vuelven a los rios sin ser tratados*. Obtenido de <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>>

ANEXOS

ANEXO 1. Cadena de custodia de monitoreo de agua.

O.S. 177498

SAG S.A.C.

CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO - DE AGUAS Y SUELOS

FR-005
Versión: 05
F.E: 10/2016
Página: 1 de 1

Cliente: Dante Abrial Rios Alvarez Contacto: _____
 Lugar: Universidad Nacional de Ucayali Empresa: _____
 E-mail: estrela@unayali.com.pe Proyecto: _____
 Carta/Cotización: 2019-07VF-115-1

MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO ó CÓDIGO DEL CLIENTE	FECHA	HORA	TIPO DE MATRIZ	PARAMETROS IN SITU	ANÁLISIS DE LABORATORIO	MUESTREO POR CLIENTE	MUESTREO POR SAG	N° Informe	CÓDIGO DE LABORATORIO	DATOS ADICIONALES
MT	30/07/19	2:10 pm	A. Residual	DBP Ri Cepstrin		X		19080045		
Elec 5	30/07/19	4:30 pm				X		19080046		
Elec 10	30/07/19	4:35 pm				X		19080047		
Elec 15	30/07/19	4:40 pm				X		19080049		
Elec 20	30/07/19	4:50 pm				X		19080049		
Elec 25	30/07/19	4:55 pm				X		19080050		
Elec 30	30/07/19	5:05 pm				X		19080051		
Elec 35	30/07/19	5:15 pm				X		19080052		
Elec 40	30/07/19	5:20 pm				X		19080053		
Elec 45	30/07/19	5:30 pm				X		19080054		

MUESTREO POR CLIENTE MUESTREO POR SAG

N° Informe: 15281-2019

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES
PERIODO
 01 AGO 2019
 RECEPCIÓN DE MUESTRAS SAG

Observaciones de Muestreo: _____

Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable del muestreo: Dante Rios Alvarez Firma(s): _____
 Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable o Supervisor en campo: _____ Firma(s): _____

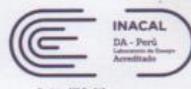
Recibido en laboratorio: N/A Día/Hora: 13:00

Figura 19. Cadena de custodia de monitoreo de aguas

ANEXO 2. Metodología de ensayo.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



INFORME DE ENSAYO N° 135281 - 2019 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL	: DANTE ADRIEL RÍOS ÁLVAREZ
DOMICILIO LEGAL	: AV. LLOQUE YUPANQUI MZ. 2 LT 5 - MANANTAY - UCAYALI- CORONEL PORTILLO
SOLICITADO POR	: DANTE ADRIEL RÍOS ÁLVAREZ
REFERENCIA	: ELECTROCOAGULADOR
PROCEDENCIA	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	: 2019-08-01
FECHA(S) DE ANÁLISIS	: 2019-08-01 AL 2019-08-09
FECHA(S) DE MUESTREO	: 2019-07-30
MUESTREADO POR	: EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	: LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C	Unidades
Aceites y grasas (HEM)	EPA-821-R-10-001 Method 1664 Rev. B. N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry, 2010	0.5 ^(a)	mg/L
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test.	2.00 ^(a)	mg/L
Demanda Química de oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method.	10.0	O ₂ mg/L

L.C.: límite de cuantificación.
(a) Expresado como límite de detección del método.



Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

**EXPERTS
WORKING
FOR YOU**

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.
EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.
OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.
• Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Rios Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima Página 1 de 2

• Central Telefónica (511) 425-8885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Figura 20. Metodología de ensayo en el laboratorio.

ANEXO 3. Tablas de resumen estadístico.

Tabla 8. Resumen de datos estadísticos de aceites y grasas

ACEITES Y GRASAS						
TIEMPO	MEDIA	MEDIANA	VARIANZA	MINIMO	MAXIMO	RANGO
5 min	109,7	109,8	0,13	109,3	110	0,7
10 min	70,7	70,8	0,43	70	71,3	1,3
15 min	41,06	41	0,643	40,3	41,9	1,6
20 min	13,1	12,8	0,49	12,6	13,9	1,3
25 min	34,83	34,9	0,643	34	35,6	1,6
30 min	48,03	48	0,063	47,8	48,3	0,5
35 min	76,6	76,5	1,123	75,7	77,8	2,1
40 min	83,63	83,6	0,563	82,9	84,4	1,5
45 min	92,4	92	0,973	91,8	93,6	1,8

Tabla 9. Resumen de la demanda química de oxígeno.

DQO						
TIEMPO	MEDIA	MEDIANA	VARIANZA	MINIMO	MAXIMO	RANGO
5 min	5513,3	5513,43	0,086	5513	5513,56	0,56
10 min	4046	4047	13	4042	4049	7
15 min	3780,69	3780,45	0,709	3780	3781,63	1,63
20 min	2657,52	2657	1,137	2656,82	2658,75	1,93
25 min	4056,21	4056,32	0,93	4055,87	4056,45	0,58
30 min	4314,28	4314,21	0,324	4313,76	4314,86	1,13
35 min	4681,07	4681	0,048	4680,9	4681,32	0,42
40 min	5037,56	5037,56	0,106	5037,24	5037,89	0,65
45 min	5180,25	5180,3	0,052	5180	5180,45	0,45

Tabla 10. Resumen de la Demanda Biológica de Oxígeno

DBO5						
TIEMPO	MEDIA	MEDIANA	VARIANZA	MINIMO	MAXIMO	RANGO
5 min	1235,16	1235	1,123	1234,2	1236,3	2,1
10 min	867,86	867,5	1,663	866,8	869,3	2,5
15 min	706,46	706	2,123	705,3	708,1	2,8
20 min	674,4	674,5	1,83	673	675,7	2,7
25 min	725,9	726,4	1,703	724,5	727	2,5
30 min	741,4	741,5	0,163	741	741,8	0,8
35 min	771,93	771,8	0,503	771,3	772,7	1,4

40 min	790,53	790,3	1,143	789,6	791,7	2,1
45 min	795,46	795,48	0,002	795,41	795,5	0,09

Tabla 11. Resumen de la temperatura

TEMPERATURA						
TIEMPO	MEDIA	MEDIANA	VARIANZA	MINIMO	MAXIMO	RANGO
5 min	28,35	28,37	0,003	28,3	28,4	0,1
10 min	29,26	29,25	0,031	29,1	29,45	0,35
15 min	28,34	28,34	0,012	28,23	28,45	0,22
20 min	29,49	29,5	0,141	29,12	29,87	0,75
25 min	30,52	30,56	0,13	30,15	30,87	0,72
30 min	31,48	31,6	0,063	31,2	31,66	0,46
35 min	31,43	31,47	0,008	31,33	31,5	0,17
40 min	30,93	30,9	0,063	30,7	31,2	0,5
45 min	31,72	31,78	0,051	31,48	31,92	0,44

Tabla 12. Resumen del pH.

PH						
TIEMPO	MEDIA	MEDIANA	VARIANZA	MINIMO	MAXIMO	RANGO
5 min	3,39	3,43	0,017	3,25	3,5	0,25
10 min	4,69	4,7	0,016	4,57	4,82	0,25
15 min	5,92	5,92	0,002	5,87	5,97	0,1
20 min	6,34	6,21	0,1	6,11	6,7	0,59
25 min	6,81	6,89	0,045	6,57	6,97	0,4
30 min	7,49	7,53	0,007	7,4	7,56	0,16
35 min	8,59	8,59	0,016	8,47	8,72	0,25
40 min	8,83	8,83	0,003	8,78	8,89	0,11
45 min	9,053	9,1	0,01	8,94	9,12	0,18

ANEXO 4. Proceso de obtención de datos.



Figura 21. Muestras final del proceso de electrocoagulación.



Figura 22. Piel en proceso de curtido



Figura 23. Acondicionamiento del sistema de electrocoagulación.



Figura 24. Calibración de sensores.