

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



“COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LA DEPURACIÓN DE EFLUENTES RESIDUALES DE INDUSTRIAS DE COLAPEZ, UTILIZANDO UN TRATAMIENTO CONVENCIONAL Y UN ALTERNATIVO DE ELECTROCOAGULACIÓN EN EL PIRS -2019”

Tesis presentada por los Bachilleres:

Lobatón Calderón, Marhiam Sofía

Hualpa Arroyo, Luis Guillermo

para optar por el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Asesor:

Dr. Roque Rodríguez, Francisco Javier

Arequipa – Perú

2019

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
INFORME DICTAMEN BORRADOR DE TESIS

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

Comparación de la eficiencia en la depuración de efluentes residuales de
industrias de Ica, utilizando un tratamiento convencional y un alternativo de electrocoagulación
en el PIRS

Presentado por el (los) Bachiller (es):

Luis Guillermo Hualpa Araya

Mariam Sofía Lobatón Calderón

Nuestro DICTAMEN es:

Favorable

OBSERVACIONES:

Ninguna

Arequipa, 09 de Octubre del 2019

Lizbeth C.

DICTAMINADOR
Eng. Lizbeth Marianella Campos Obizaqui
Cod. 3124



DICTAMINADOR
M.Sc. Ing. Jostelyn M. Parades Zuvala
Cod. 3043

DICTAMINADOR

Dr. Blgo. Armando J. Brenazas Rodríguez
Cod. 2829

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios y a la Virgen María por guiar nuestro camino.

A nuestros padres por darnos la vida y brindarnos la oportunidad de continuar con nuestra formación profesional, ofreciéndonos día a día su apoyo incondicional y motivándonos a ser mejores profesionales y personas.

A nuestro asesor Dr. Ing. Francisco Javier Roque Rodríguez por apoyarnos continuamente en el desarrollo y ejecución de nuestra investigación.

A los Ingenieros Midwar Ancco y Kevin Tejada por su apoyo, colaboración y orientación constante durante el desarrollo de nuestra investigación.

Al Dr. Armando Arenazas, Mg. Joshelyn Paredes y a la Mg. Lizbeth Campos por su tiempo y recomendaciones brindadas durante la revisión de nuestro trabajo, las cuales permitieron culminar de manera exitosa nuestra investigación.

A nuestros profesores, amigos y compañeros que durante los cinco años de nuestra formación profesional nos acompañaron e impulsaron a ser mejores.

Muchas Gracias.

DEDICATORIA

A mis padres Jacqueline y Francisco por ser los pilares de mi vida, mi abuelito Manuel y mi abuelita Luz a la cual tengo presente siempre y a mi hermano Favio, por ser el motivo principal que me impulsan a seguir adelante, ser mejor profesional y persona.

A todos mis amigos y personas que estuvieron durante mi desarrollo profesional y me apoyaron incondicionalmente.

Marhiam

A mis padres Natividad y Percy quienes me apoyaron toda mi vida y es gracias a ellos que puedo seguir con mi desarrollo personal y profesional. A mis hermanos por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y cariño.

A todos mis amigos quienes estuvieron presentes durante todo o parte de mi desarrollo profesional gracias por los buenos momentos compartidos y sus consejos.

Luis

RESUMEN

Se comparó la efectividad en la depuración de los efluentes de una fábrica de colágeno ubicada en el Parque Industrial de Río Seco de la ciudad de Arequipa (PIRS), empleando dos metodologías de tratamiento, una convencional de coagulación – floculación química y otra alternativa de electrocoagulación. Para ambos tratamientos se construyeron estructuras de acrílico, para el primer tratamiento esta estructura contó con 3 secciones, las dos primeras de coagulación-floculación y una tercera de sedimentación implementada con lamelas; para la electrocoagulación la estructura constó de dos secciones, una celda de electrocoagulación, y una sección de sedimentación con lamelas.

En el caso del tratamiento convencional se utilizó sulfato de aluminio como coagulante, cuya dosis óptima se obtuvo con pruebas preliminares de test de jarras, el tiempo de agitación fue de 15 minutos a 100 RPM y el de sedimentación 15 minutos. Para el tratamiento alternativo se utilizaron 6 electrodos de aluminio de 2 mm de espesor conectados en paralelo a una fuente de alimentación de 5A que trabajó a 2V, con un tiempo de contacto de 15 minutos y 15 minutos de sedimentación en el decantador lamelar.

Luego de realizados ambos tratamientos, se tomaron muestras por cada efluente tratado y se llevaron a analizar los parámetros de turbidez, sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos en solución y sólidos en suspensión, para luego ser comparados con los parámetros iniciales del efluente y finalmente analizar estos datos estadísticamente mediante pruebas ANOVA, Tukey, prueba de Welch Games-Howel. Se obtuvieron porcentajes de remoción de 91,48%, 91,38% y 94,57% para sólidos totales, sólidos en solución y sólidos en suspensión, respectivamente, para el tratamiento convencional; mientras que para el tratamiento alternativo se obtuvieron porcentajes de remoción de 91,65%, 90,73% y 93,48% en el mismo orden, determinándose que no hay una diferencia estadística significativa para los resultados obtenidos por ambos métodos. La turbidez presentó un incremento del 12,65% en el caso del tratamiento convencional y en el alternativo se incrementó en 30,18% y se determinó que la diferencia con el valor inicial no es significativa. Por otro lado, los sólidos sedimentables se redujeron en 2,32% en el caso de la coagulación-floculación química, no habiendo diferencia significativa con los valores iniciales, sin embargo, hubo un incremento de 121% en el caso de la electrocoagulación lo que muestra una diferencia significativa con los valores iniciales del efluente residual.

Palabras clave: Turbidez, sólidos totales, sólidos en solución, sólidos en suspensión, sólidos sedimentables, coagulación, floculación, electrocoagulación.

ABSTRACT

The effluent purification effectiveness of a collagen factory located in the Industrial Park of Río Seco in the city of Arequipa (PIRS) was compared, using a conventional treatment of chemical coagulation - flocculation and another alternative of electrocoagulation. Acrylic structures were constructed for both treatments, for the first treatment the structure had 3 sections, the first two for the coagulation-flocculation process and the third one was a lamellar settling tank; for the electrocoagulation the structure consisted of two sections, an electrocoagulation cell and the lamellar settling tank.

In the case of conventional treatment, aluminum sulfate was used as a coagulant, whose optimal dose was obtained with preliminary jar tests, the stirring time was 15 minutes at 100 RPM and the settling time was 15 minutes. For the alternative treatment, 6 aluminum electrodes of 2 mm thick were connected in parallel to a 5A power supply that worked at 2V, with a contact time of 15 minutes and 15 minutes of sedimentation in the lamellar settling tank.

After both treatments were carried out, samples were taken for each treated effluent and the parameters of turbidity, settleable solids, total solids, solids in solution and suspended solids were analyzed, and then compared with the initial parameters of the effluent and finally analyzed this data statistically using ANOVA, Tukey, Welch and Games-Howell tests. Removal percentages of 91.48%, 91.38% and 94.57% were obtained for total solids, solids in solution and solids in suspension, respectively, for the conventional treatment; while for the alternative treatment, removal percentages of 91.65%, 90.73% and 93.48% were obtained in the same order, determining that there is no significant statistical difference for the results obtained by both methods. Turbidity showed an increase of 12.65% in the case of conventional treatment and in the alternative it increased by 30.18% and it was determined that the difference with the initial value is not significant. On the other hand, settleable solids were reduced by 2.32% in the case of chemical coagulation-flocculation, there being no significant difference with the initial values, however, there was an increase of 121% in the case of electrocoagulation which shows a significant difference with the initial values of the residual effluent.

Keywords: Turbidity, total solids, solids in solution, suspension solids, settleable solids coagulation, flocculation, electrocoagulation.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas la preocupación por el tema ambiental ha ido incrementándose en toda la población, especialmente en el cuidado del agua, ya que este componente ambiental es responsable de la vida en el planeta.

A nivel nacional, las diferentes industrias, progresivamente están implementando métodos de tratamiento de los efluentes generados durante su proceso productivo, dado que, la legislación ambiental y las sanciones tanto administrativas, económicas y legales se han ido intensificando a través de los años, volviéndose así más exigentes en cuanto a los estándares que manejan y a su cumplimiento; afectando directamente los intereses de las industrias. Sin embargo, el porcentaje de industrias que tratan sus efluentes aún es bajo en comparación con otros países a nivel mundial, conociéndose que el 70% aproximadamente de las aguas residuales en el país no son tratadas (Larios-Meño, González, & Morales, 2015) cifra que es realmente alarmante.

A nivel regional, el Parque Industrial de Río Seco, presenta desde hace años un grave problema por la falta de tratamiento de los efluentes que generan las diversas industrias situadas en este. Dichos efluentes durante los últimos años han generado diversos impactos y consecuencias tanto en los ecosistemas existentes como en la población situada en los alrededores del PIRS, afectando y disminuyendo así la calidad de vida que puede tener dicha población. Este problema se suscita básicamente por la inadecuada gestión por parte de las diferentes autoridades locales, así como por la falta de compromiso por parte de los diversos empresarios que poseen algún tipo de industria en la zona. Los principales efectos se han presentado en las quebradas aledañas, ya que las lagunas de oxidación instaladas en la zona, con el objetivo inicial de tratar los efluentes generados por las diversas industrias han quedado obsoletas, recibiendo así todos los efluentes generados por las diversas industrias situadas en el PIRS.

Uno de los tipos de industria situada en el PIRS son las fábricas productoras de colágeno hidrolizado, cola animal y derivados, cuyos efluentes tiene como característica principal un alto contenido en materia coloidal suspendida y orgánica, la cual no ha sido hidrolizada durante el proceso productivo, así como valores elevados de pH. Estos coloides poseen un tamaño entre 1 y 1000 nm. con composiciones variadas (Martínez Navarro, 2007). La mayor parte de estas industrias en la actualidad no están tratando sus efluentes, por lo que estos, están siendo vertidos de manera directa al sistema de alcantarillado, ocasionado diversos problemas en las

tuberías que los transportan como obstrucciones, calcificaciones, etc. así como el incremento tanto en la dificultad y en los costos de operación para el tratamiento de efluentes. Las pocas industrias que tratan sus efluentes generalmente lo hacen mediante métodos de tratamiento convencional, los cuales en muchos casos resultan ser eficientes pero polutos, por el tipo de insumos o productos químicos que utilizan, pudiendo ocasionar así diversos efectos o consecuencias tanto en la salud de la población como en los demás seres vivos y componentes ambientales. Uno de los métodos más utilizados para el tratamiento de aguas residuales es el de coagulación – floculación química en donde se adiciona generalmente sales de Hierro o Aluminio para eliminar la repulsión entre partículas, mediante la disminución o desaparición de fuerzas electroestáticas (Martínez Navarro, 2007), de tal manera que los coloides o partículas que se encuentran suspendidas en el efluente incrementen su tamaño y puedan precipitar por acción de la gravedad. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, por el tipo de insumos químicos que se utilizan para la desestabilización de dichas partículas se consideran un método de tratamiento contaminante. A pesar de ello, durante los últimos años se han ido presentando otros métodos de tratamiento emergentes y menos contaminantes, como es el caso de la Electrocoagulación, en el cual se pretende generar los compuestos coagulantes in situ, mediante la disolución de láminas ya sea de hierro o de aluminio (Martínez Navarro, 2007), de tal modo que al igual que el principio de coagulación química, se busque desestabilizar las partículas coloidales ocasionando que estas precipiten. Este método permite un mejor control de la dosificación de los reactivos y por lo tanto ahorro en los costos de operación (Martínez Navarro, 2007); a su vez este método se considera menos contaminante que el de la coagulación química, ya que en este no se utilizan insumos químicos que puedan ocasionar contaminación alguna.

El presente trabajo de investigación pretende conocer cuál de los anteriores métodos de tratamientos de efluentes resulta ser más eficientes para el tratamiento de efluentes industriales provenientes de fábricas productoras de colágeno hidrolizado, cola animal y derivados, de tal modo que se pueda conocer sobre la eficiencia de estos métodos de tratamiento para este efluente en específico.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCIÓN	v
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xiii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
A. Diagnóstico Situacional.....	1
1) Situación actual sobre el tratamiento de aguas residuales en América Latina, Perú y Arequipa.....	1
2) Situación del Parque Industrial de Río Seco y sus efluentes.....	3
B. Formulación del Problema	4
1) Descripción del Problema.....	4
2) Formulación del Problema.....	5
3) Definición del Problema.....	5
C. Hipótesis.....	6
D. Variables independientes y dependientes.....	6
1) Variables independientes.....	6
2) Variable dependiente	7
3) Operacionalización de variables independientes y dependientes	8
E. Objetivos	8
1) Objetivo General.....	8
2) Objetivos Específicos	9
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO.....	10
A. Marco Legal	10

B. Marco Teórico	14
1) Ubicación de la fábrica	14
2) Aguas residuales o efluentes líquidos.....	14
3) Colapez y cola animal.....	22
4) Obtención de la materia prima.....	23
5) Descripción del proceso industrial	25
6) Procesos de depuración o tratamiento de aguas residuales	27
7) Implicancias ambientales del vertimiento de efluentes sin tratar	27
8) Coagulación química	28
8) Floculación	32
9) Electrocoagulación	35
10) Marco Conceptual.....	40
C. Antecedentes y Estado del Arte	42
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	46
A. Tipo de investigación	46
1) Nivel de investigación	46
2) Metodología de investigación.....	46
B. Campo de verificación	46
C. Determinación de la población, muestra y muestreo	47
1) Población	47
2) Muestra	47
3) Muestreo	47
D. Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos	48
1) Técnicas	48
2) Instrumentos	48
E. Materiales y equipos.....	48
1) Equipos	48

2) Reactivos e insumos	48
3) Material de vidrio	48
4) Otros	49
F. Metodología.....	49
1) Caracterización fisicoquímica de los efluentes residuales de centros productores de colapez, cola animal y derivados	50
2) Determinación de la eficiencia de depuración del tratamiento fisicoquímico convencional en los parámetros de pH, sólidos y turbidez.....	51
3) Determinación de la eficiencia de depuración del tratamiento alternativo de electrocoagulación en los parámetros de sólidos y turbidez	57
4) Comparación de la eficiencia de ambas metodologías para el tratamiento de efluentes de industria de colapez en los parámetros de Sólidos y Turbidez	63
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	64
A. Caracterización fisicoquímica del efluente residual generado por la fábrica de cola animal, colapez y derivados	64
B. Determinación de la eficiencia de depuración del tratamiento fisicoquímico convencional en los parámetros de sólidos, turbidez y pH	67
1) Pruebas preliminares para la obtención del rango de dosis óptima de coagulante	67
2) Determinación de la dosis óptima de coagulante	70
3) Diseño y construcción del sistema de tratamiento convencional de coagulación-floculación.....	73
4) Implementación y operación del sistema de tratamiento convencional de coagulación y floculación.....	74
C. Determinación de la eficiencia de depuración del tratamiento alternativo de electrocoagulación en los parámetros de sólidos y turbidez	76
1) Pruebas preliminares para la obtención del número de electrodos a utilizar en el sistema de electrocoagulación.....	76
2) Diseño y construcción del sistema de tratamiento alternativo de electrocoagulación	78

3) Implementación y operación del sistema de tratamiento alternativo de electrocoagulación	79
D. Comparación de la eficiencia de ambas metodologías para el tratamiento de efluentes de industria de colapez en los parámetros de Sólidos y Turbidez	83
1) Análisis de los resultados obtenidos para ambos métodos de tratamiento	83
3) Comparación de los tratamientos de coagulación química y electrocoagulación	87
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
A. CONCLUSIONES	90
B. RECOMENDACIONES	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
ANEXOS	100
ANEXO I: Plano de ubicación de la fábrica productora de colapez, cola animal y derivados	101
ANEXO II: Diagrama de flujo del proceso industrial	102
ANEXO III: Análisis de datos en extenso	103
Resultados de Turbidez de efluente tratado a diferentes dosis de coagulante y con tiempos de agitación y sedimentación de 10 y 15 minutos.	103
DOSIS COAGULANTE ÓPTIMA	105
ELECTROGOAGULACIÓN	108
ANEXO IV: Certificado de calibración del multiparámetro YSI.....	110
ANEXO V: Resultados de Análisis fisicoquímicos de efluente.....	112

Lista de Tablas

Tabla 1: Variables independientes	6
Tabla 2: Variable dependiente	7
Tabla 3: Operacionalización de variables independientes y dependientes	8
Tabla 4: Valores Máximos admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario	12
Tabla 5: Categorización de la industria productora de cola animal colapez y derivados	13
Tabla 6: Estándares de calidad ambiental para cuerpos de agua	13
Tabla 7: Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y su procedencia....	16
Tabla 8: Residuos sólidos obtenidos del procesamiento de piel vacuna salada	24
Tabla 9: Dimensiones del sistema de tratamiento convencional coagulación-floculación.....	53
Tabla 10: Dimensiones del sistema de tratamiento alternativo, electrocoagulación	58
Tabla 11: Resultados fisicoquímicos de la caracterización del efluente.....	65
Tabla 12: Comparaciones múltiples para tiempos de 10 y 15 minutos	69
Tabla 13: Análisis de varianza para 80 ppm y 120 ppm con tiempos de 10 y 15 minutos.....	69
Tabla 14: Análisis de varianza para los valores de pH reportados	70
Tabla 15: Análisis de varianza para los valores de turbidez reportados	70
Tabla 16: Análisis de varianza para los valores de SST reportados	71
Tabla 17: Comparaciones múltiples para los parámetros de pH, turbidez y SST en la optimización de dosis de coagulante.....	71
Tabla 18: Resultados del análisis de los efluentes tratados con el sistema de coagulación - floculación.....	74
Tabla 19: Análisis de varianza para turbidez empleando electrocoagulación	77
Tabla 20: Análisis de varianza para sólidos empleando electrocoagulación.....	77
Tabla 21: Comparaciones múltiples para los parámetros de turbidez y sólidos totales disueltos utilizando el método de electrocoagulación con 4 y 6 electrodos	78
Tabla 22: Resultados del análisis de los efluentes tratados con el sistema de electrocoagulación	82
Tabla 23: Resultados obtenidos del análisis de los efluentes tratados con coagulación química y electrocoagulación	83
Tabla 24: Valores obtenidos para la corrección de Welch	84
Tabla 25: Comparaciones múltiples de los parámetros estudiados entre los valores iniciales del agua residual y luego de ambos tratamientos	85

Lista de Figuras

Figura 1: Vista aérea del sistema de tratamiento convencional.....	49
Figura 2: Vista aérea del sistema de tratamiento convencional.....	54
Figura 3: Vista frontal del sistema de tratamiento convencional.....	55
Figura 4: Vista aérea del sistema de tratamiento alternativo	59
Figura 5: Vista frontal del sistema de tratamiento alternativo	60
Figura 6: Muestreo del efluente de estudio. A) Pozo de recolección de muestra del efluente de fábrica de colágeno; B) Llenado de frascos con el efluente de estudio para análisis correspondientes	64
Figura 7: Efluente de fábrica de colapez, cola animal y derivados	67
Figura 8: Ensayos preliminares - Test de jarras.....	68
Figura 9: Determinación de la dosis óptima de coagulante - Test de jarras	72
Figura 10: Vista frontal del sistema de tratamiento convencional.....	73
Figura 11: Vista aérea del sistema de tratamiento convencional.....	74
Figura 12: Operación del sistema de tratamiento convencional de coagulación – floculación	76
Figura 13: Sistema de electrocoagulación, vista aérea	79
Figura 14: Sistema de electrocoagulación, vista lateral.....	79
Figura 15: Formación de burbujas durante el tratamiento de electrocoagulación.....	80
Figura 16: Formación de óxido en los electrodos debido al tratamiento de electrocoagulación	81
Figura 17: Flóculos formados y sedimentados en el tratamiento de electrocoagulación	81
Figura 18: Gráfico comparativo de los resultados de remoción u obtenidos para las metodologías de tratamiento estudiadas	86

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Símbolos y fórmulas químicas

- **Al:** Aluminio.
- **Al (OH)₃:** Hidróxido de Aluminio.
- **Al₂ (SO₄)₃:** Sulfato de Aluminio.
- **Al(OH)₄⁻:** Ion Hidroxilo de Aluminio.
- **As:** Arsénico.
- **B:** Boro.
- **Ca⁺²:** Ion Calcio.
- **CaO:** Óxido de Calcio
- **Cd:** Cadmio.
- **Cl:** Ion Cloro.
- **CN⁻:** Cianuro.
- **Cr⁻⁶:** Cromo Hexavalente.
- **Cr:** Cromo Total.
- **Cu:** Cobre.
- **Fe(OH)₂:** Hidróxido Ferroso:
- **Fe (OH)₃:** Hidróxido Férrico.
- **H₂:** Hidrógeno.
- **HCO³⁻:** Ion Bicarbonato.
- **H⁺:** Ion Hidrógeno.
- **Hg:** Mercurio.
- **H₂O:** Agua
- **Mg⁺²:** Ion Magnesio.
- **Mn:** Manganeseo.
- **MgO:** Óxido de Magnesio.
- **Ni:** Níquel.
- **NH⁻⁴:** Nitrógeno Amoniacal.
- **O₂:** Oxígeno.
- **OH⁻:** Ion Hidróxido.
- **Pb:** Plomo.
- **SO₄⁻²:** Sulfatos
- **S⁻²:** Sulfuros.

- **Zn:** Zinc.

Acrónimos

- **A y G:** Aceites y grasas.
- **APYMECO:** Asociación de Pequeñas y Medianas Empresas de Curtiembres, Fábricas de Cola y Derivados de Cuero.
- **ANOVA:** Análisis de Varianza.
- **CA:** Corriente Alterna.
- **CD:** Corriente Directa.
- **DBO₅:** Demanda Biológica de Oxígeno.
- **DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno.
- **ECA:** Estándares de Calidad Ambiental
- **EPS:** Empresa Prestadora de Servicio.
- **GL:** Grado de Libertad.
- **GRA:** Gobierno Regional de Arequipa.
- **LMP:** Límites Máximos Permisibles.
- **MINAM:** Ministerio del Ambiente.
- **NTU:** Unidades Nefelométricas de Turbidez.
- **OD:** Oxígeno Disuelto
- **OMS:** Organización Mundial de la Salud
- **pH:** Potencial de Hidrógeno.
- **PIRS:** Parque Industrial de Río Seco.
- **PRODUCE:** Ministerio de la Producción.
- **PTAR:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
- **SDT:** Sólidos Disueltos Totales
- **RPM:** Revoluciones por Minuto.
- **SS:** Sólidos Sedimentables.
- **SST:** Sólidos Suspendidos Totales.
- **ST:** Sólidos Totales.
- **TDS:** Sólidos Totales Disueltos.
- **VMA:** Valores Máximos Admisibles.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A. Diagnóstico Situacional

1) *Situación actual sobre el tratamiento de aguas residuales en América Latina, Perú y Arequipa.*

El 80% de la población en Latinoamérica vive en ciudades, además estudios indican que gran parte de estas se encuentran próximas a fuentes de contaminación. A esto se suma el hecho de que el 70% de las aguas residuales de Latinoamérica no son tratadas, y que por el contrario, el agua es extraída, usada y devuelta contaminada a ríos y demás cuerpos de agua (Larios-Meoño et al., 2015).

Como menciona el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2017) la cobertura de tratamiento de aguas residuales a nivel nacional es baja, sin embargo, ha habido una mejora entre los años 2013 y 2015. Asimismo, se indica que la cobertura nominal del tratamiento de dichas aguas en el sector urbano para finales del 2015 fue de aproximadamente 70%, siendo este tratamiento realizado 50 Empresas Prestadoras de Servicios (EPS) existentes; evidenciándose además problemas técnicos y operativos en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) existentes, mostrando un desempeño deficiente. Se señala además que la legislación actual es inconsistente y en algunos casos inadecuada o incompleta.

En el ámbito industrial, el sector de saneamiento ha desarrollado normatividad sobre los Valores Máximos Admisibles (VMA) que deben cumplir los efluentes industriales para su disposición en el alcantarillado sanitario, normatividad que está siendo implementada por la mayoría de EPS a partir del 2013, cuyo propósito es presionar a los usuarios no domésticos para que traten sus efluentes antes de ser descargados al alcantarillado, de incumplir la norma, el usuario deberá pagar elevadas sumas de dinero y en caso se excedieran ciertos parámetros, se procederá al cierre del servicio de desagüe. Sin embargo, el control de las descargas industriales es limitado o inexistente, por lo cual se presentan cargas orgánicas excesivas para las PTAR municipales existentes, las cuales asumen los costos de tratamiento, generándose así problemas técnicos y operativos que derivan en un desempeño deficiente (SUNASS, 2017).

A nivel regional, a partir de enero de 1969 se puso en marcha la operación de la PTAR Chilpina, la cual contaba con un sistema convencional biológico de Tanques Imhoff, tratando inicialmente 250 L/s de aguas residuales que posteriormente aumentó a 350 L/s. Años más tarde en 1991 se contempló en el proyecto “Arequipa II”, la rehabilitación de la PTAR Chilpina, sin embargo, dicho proyecto no se implementó debido a problemas del Directorio de ese entonces. Años después la Junta de Accionistas de SEDAPAR realizó una Alianza de tipo Privada-Pública con Sociedad Minera Cerro Verde, quien ofreció construir la PTAR Enlozada para Arequipa Metropolitana y financiarla a cambio de reusar con fines mineros 1000 lps de los 1792 lps de agua tratada que se obtendrían, construyéndose e inaugurándose en el 2015, entrando en funcionamiento al año siguiente, obligándose de esta manera a cerrar a PTAR Chilpina, la cual obtuvo su Plan de Cierre en Octubre del 2016, cuya implementación sería en dos (Saravia Ramos, 2017).

Se cuenta además con la PTAR Escalerilla que tiene como objetivo el tratamiento de las aguas residuales del Sector de Cono Norte de los distritos de Cerro Colorado y Yura; fue diseñada para tratar un caudal promedio de 0,233 m³/s, esta infraestructura tiene un diseño para la recolección y tratamiento de aguas residuales hasta el año 2036 (Paredes, 2016), dicha planta fue inaugurada en Agosto del 2015 y la ejecución del proyecto se realizó gracias a la colaboración del sector público y privado, interviniendo el Gobierno Regional, la empresa SEDAPAR y los municipios de Cerro Colorado y Yura (Correo, 2015).

Actualmente se vienen sumando esfuerzos de diferentes sectores económicos de la región, buscando que diferentes industrias puedan tratar los efluentes generados durante su proceso productivo, tal es el caso de la Empresa Inca Tops, la cual con ayuda de la Universidad Católica de Santa María y el Instituto de Investigación y Desarrollo para el Sur han desarrollado una planta piloto para el reúso de sus aguas industriales, dicha planta fue inaugurada el 20 de Julio del 2018 (Del Mar, 2018)

2) *Situación del Parque Industrial de Río Seco y sus efluentes*

El Parque Industrial de Río Seco (PIRS) se formó aproximadamente hace 30 años; el proyecto inicial buscaba en este solo operen curtiembres, las cuales en ese tiempo se encontraban instaladas en las riberas del Río Chili, a pesar de ello, posteriormente se abrió para todo tipo de industrias. A finales de la década de los 90 nace asociación APYMECO, constituida por la mayor parte de las industrias de curtiembre, las cuales se trasladaron a los terrenos del Parque Industrial ubicado en el distrito de Cerro Colorado. El Gobierno Regional de Arequipa asumió el compromiso de construir seis lagunas de oxidación y una planta de tratamiento con el dinero obtenido de la venta de terrenos; sin embargo, esto no ocurrió, por el contrario, el Gobierno Regional sólo construyó una laguna completa, debido al incumplimiento de los productores industriales con sus pagos. Esta situación ha llevado que la única laguna construida haya superado su volumen de diseño sirviendo actualmente solo como depósito e incluso se ha perdido un préstamo del extranjero que posibilitaría el tratamiento de las aguas (Zevallos Valdivia, 2014).

La capacidad de la laguna construida en el PIRS es de 28 000 m³ de agua, la cual ha estado al borde del colapso más de una vez; por lo que sus aguas han sido derivadas hacia la quebrada de Añashuayco, generando así serios daños a la cantera. Debido a la amenaza de una posible denuncia por parte de la Fiscalía del Ambiente hacia el Gobierno Regional de Arequipa y las empresas del PIRS, es que se propuso la construcción de una segunda laguna. Posteriormente se construyó una tercera laguna, la cual no se encuentra implementada con una geomembrana la cual permite el contacto directo de efluentes con el suelo. Estas lagunas sólo sirven como depósito de aguas negras, dado que no existe tratamiento alguno, estas aguas presentan altos valores de carga orgánica, sulfuro y cromo, además de pelos y grasas provenientes del proceso de curtido (Zevallos Valdivia, 2014).

Actualmente en el PIRS operan grandes fábricas de medicamentos, textiles, insumos alimenticios, etc.; sin embargo, el 90% de las industrias ubicadas allí están constituidas por curtiembres, siendo muchas de ellas clandestinas, además de nuevas fábricas en funcionamiento. Algunas empresas que lo conforman son: A y B Inversiones Comerciales E.I.R.L., TEXTILON S.A., SAZONADORES BATAN, INKABOR S.A.C., LABORATORIO PORTUGAL S.A., Planta Industrial UNSA, Curtiembre La Unión S.R.L., Curtiembre Los Ángeles, Curtiembre Maqui Leather S.A.C., Disercur S.A.C, MAXSEIN S.R.L., INCOGEL,

Procinsur S.R.L., Postes Arequipa S.A., Curtiembre Austral S.R.L, entre otras (Chávez, 2013). Sin embargo, actualmente no se tiene un número exacto de las empresas que operan en el PIRS debido al deficiente control de las autoridades.

En general, la zona industrial y las áreas urbanas no tienen una delimitación definida y por lo tanto las aguas residuales industriales y las aguas residuales urbanas se mezclan en los ríos, dificultándose de este modo la determinación del aporte de contaminación que le corresponde a la industria. Sin duda alguna, las industrias en la ciudad contribuyen con una porción de carga en relación a la carga contaminante total. Sin embargo, aún se desconoce la real magnitud del aporte de cada industria, debido a la falta de información técnica y a la actitud poco cooperativa de estas (Sotomayor, 2006).

B. Formulación del Problema

1) Descripción del Problema

La industria productora de cola animal, colapez y derivados, utiliza como materia prima, subproductos derivados del proceso de curtido de pieles, lo cual otorga un valor agregado a estos y aporta al desarrollo económico y social de nuestra ciudad. Sin embargo, esta industria como muchas otras en el PIRS produce efluentes altamente contaminantes, debido a su composición característica, los cuales son vertidos directamente al alcantarillado y transportados de manera indirecta al ambiente.

Actualmente en la ciudad de Arequipa, del total de industrias existentes en el Parque Industrial de Río Seco, aproximadamente cerca del 5% constituyen empresas dedicadas a la producción de Cola Animal, colapez y derivados, las cuales trabajan de manera continua durante todo el año produciendo efluentes con caudales aproximados de 12 m³/día. Según información extraoficial de los propietarios de estas empresas que decidieron realizar la caracterización de sus efluentes, se obtuvo como resultado una composición con porcentajes promedio mayores al 80% de proteínas, cerca de un 1,5% de grasas, así como valores de pH altamente alcalinos y elevados valores de sólidos totales, los cuales al ser comparados con la normativa ambiental vigente, exceden aproximadamente más de 10 veces los valores dispuestos en el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA. Estos efluentes al no recibir tratamiento alguno, afectan la red de alcantarillado pudiendo ocasionar incrustaciones de carbonato de calcio, además de la deposición de sólidos en las tuberías, generando así la obstrucción de estas. Así mismo, la

presencia de sulfatos y sulfuros acelera el deterioro de materiales de concreto y cemento. La liberación de estos efluentes sin previo tratamiento puede ocasionar diversos impactos en el ambiente, entre los cuales se pueden mencionar el deterioro de los cuerpos de agua receptores, generando una disminución significativa de la cantidad de oxígeno disuelto, afectando así la vida acuática y comprometiendo los usos posteriores de esta. El impacto también puede verse reflejado en el suelo, afectando su estructura y acelerando el proceso de erosión; de esta manera se afectaría el potencial uso de este (Lazo Cuentas, 2017).

Las principales causas de dicho problema radican en la ineficiente gestión de los efluentes, el incumplimiento de la normativa vigente y la ineficaz fiscalización que actualmente se realiza, lo cual se encuentra directamente relacionado con la falta de educación y conciencia ambiental en la población.

A pesar de que el problema se encuentra presente desde hace muchos años en nuestra ciudad, no se han implementado estrategias y medidas adecuadas para solucionarlo, existiendo incluso un acuerdo con el Gobierno Regional de Arequipa (GRA) para la construcción de una planta de tratamiento y seis lagunas de oxidación; de las cuales únicamente se encuentran construidas dos, y solo una de ellas se encuentra implementada con una geomembrana; sin embargo, estas actualmente sólo sirven como depósito de los diferentes efluentes que se generan en el PIRS, lo que ha ocasionado que se supere inclusive su capacidad de almacenamiento, liberándose estos de manera directa al ambiente (Lazo Cuentas, 2017).

2) *Formulación del Problema*

Actualmente en el Parque Industrial de Río Seco (PIRS) existen pocas fábricas de cola animal, colapez y derivados que tratan sus efluentes, y estas escasas industrias utilizan tratamientos en su mayoría convencionales y polutos, los cuales generan impactos ambientales significativos.

3) *Definición del Problema*

Según lo expuesto anteriormente cabe cuestionarse:

¿Los efluentes de industrias de colapez tratados con métodos de electrocoagulación mostrarán resultados más eficaces que los tratados con métodos convencionales físico-químicos?

C. Hipótesis

Dado que los efluentes industriales de fábricas de colapez son tratados generalmente con métodos fisicoquímicos convencionales, mostrando una eficacia de depuración baja; es probable que, al compararlo con el tratamiento alternativo de electrocoagulación, este último resulte más eficaz en su depuración.

D. Variables independientes y dependientes

1) *Variables independientes*

a) *Conceptualización de variables:*

Como variables independientes del proyecto de investigación tenemos a los tipos de tratamientos que serán comparados, en cada uno de estos presenta una variable en específico.

- ***Tratamiento convencional físico químico:*** Busca la desestabilización de las partículas coloidales mediante la adición de un agente químico denominado coagulante, es necesario poder determinar la dosis óptima del coagulante para que el tratamiento resulte efectivo. Se considera como tratamiento convencional dado que es altamente utilizado a nivel mundial para el tratamiento de diferentes aguas residuales. La variable a trabajar en este tratamiento es la dosis de coagulante expresando en mg/L o ppm.
- ***Tratamiento alternativo de electrocoagulación:*** Es un proceso electroquímico cuyo objetivo es desestabilizar los contaminantes presentes en el agua residual, mediante la inducción de corriente eléctrica utilizando placas metálicas (electrodos), los cuales generan coagulante in situ como efecto de la disolución de electrodos. La variable a trabajar es la cantidad de electrodos en el sistema expresado en pares.

b) *Operacionalización de variables:*

Tabla 1: *Variables independientes*

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de tratamiento	Variable	Indicador	Unidad
Tratamiento físico químico convencional	Coagulante	Dosis de coagulante	mg/L
Tratamiento alternativo de electrocoagulación	Electrodos de aluminio	Cantidad de electrodos	Unidad

2) *Variable dependiente*

a) *Conceptualización de la variable*

- ***Eficacia de depuración de contaminantes:*** Es la cantidad de contaminantes removidos del agua residual, el cual se calcula utilizando los valores de carga contaminante antes del tratamiento (valores iniciales) y valores luego del tratamiento (valores finales), los parámetros considerados para evaluar dicha eficiencia fueron: ST y pH.

b) *Operacionalización de la variable*

Tabla 2: Variable dependiente

Variable	Indicador	Unidad
Eficiencia de remoción de contaminantes	Porcentaje de remoción	%

Fuente: Elaboración propia.

3) *Operacionalización de variables independientes y dependientes*

Tabla 3: *Operacionalización de variables independientes y dependientes*

Tipo de variable	Variable		Indicador	Subindicador
	Tipo de tratamiento	Variable		
Variables independientes	Tratamiento convencional	Coagulante	Dosis de coagulante	mg/l
	Tratamiento alternativo	Electrodos de aluminio	Cantidad	Unidad
Variable dependiente	Eficiencia de remoción de contaminantes		Porcentaje de remoción de Turbidez	NTU
			Porcentaje de remoción de Sólidos Sedimentables Totales	mg/L
			Porcentaje de remoción de Sólidos Totales	mg/L
			Porcentaje de remoción de Sólidos en Solución	mg/L
			Porcentaje de remoción de Sólidos en Suspensión	mg/L

Fuente: Elaboración propia.

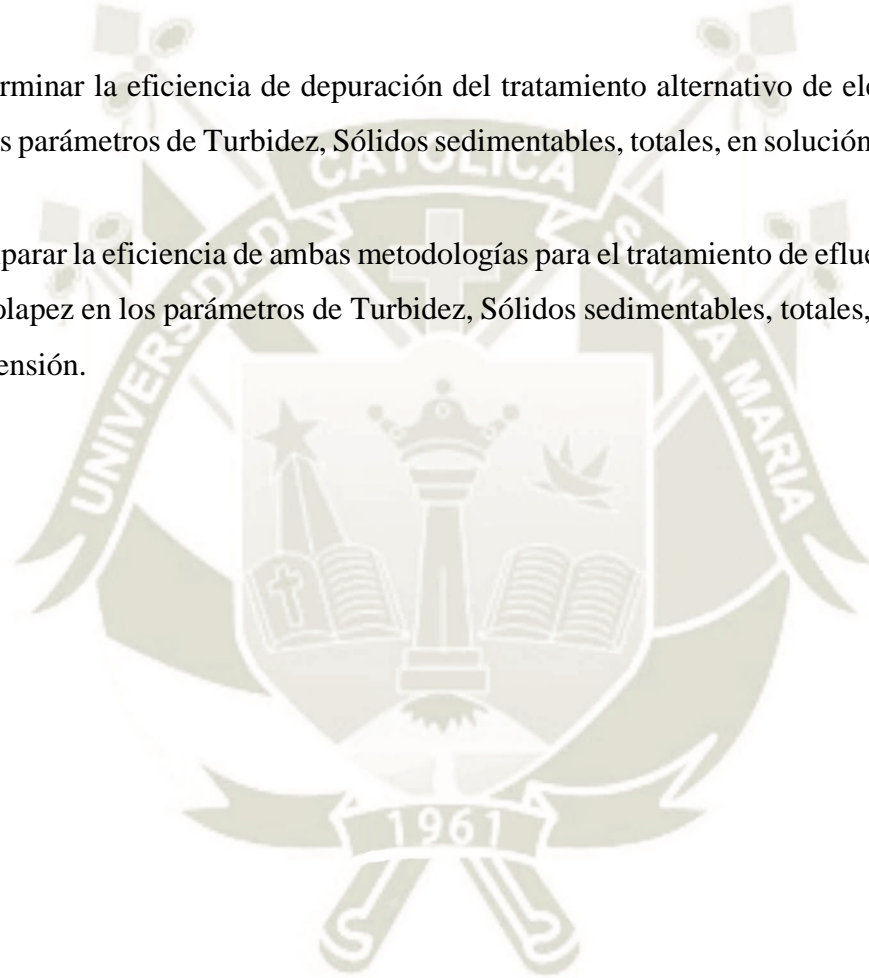
E. Objetivos

1) *Objetivo General*

Comparar la eficacia de depuración de efluentes residuales de centros productores de Cola animal, colapez y derivados mediante un tratamiento físico-químico convencional y uno alternativo de electrocoagulación.

2) *Objetivos Específicos*

- Caracterizar fisicoquímicamente los efluentes residuales generados por fábricas de cola animal, colapez y derivados en el Parque Industrial de Río Seco.
- Determinar la eficiencia de depuración del tratamiento físico químico convencional en los parámetros de Turbidez, Sólidos sedimentables, totales, en solución y en suspensión.
- Determinar la eficiencia de depuración del tratamiento alternativo de electrocoagulación en los parámetros de Turbidez, Sólidos sedimentables, totales, en solución y en suspensión.
- Comparar la eficiencia de ambas metodologías para el tratamiento de efluentes de industria de colapez en los parámetros de Turbidez, Sólidos sedimentables, totales, en solución y en suspensión.



CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

A. Marco Legal

Durante los últimos años el tema ambiental a nivel mundial ha ido tomando mayor importancia, por lo que la normativa ambiental tanto a nivel nacional como internacional se ha ido convirtiendo más rigurosa.

De este modo se han establecido mecanismos de protección del ambiente, ya que se ha considerado como un bien jurídico autónomo, es decir, que su protección ya no depende de la afectación de otros bienes jurídicos relacionados a este, sino que según estudios, el ambiente se ha considerado como sustento indispensable para la vida (Hernández-Martínez, 2011). Es por esto que para el tratamiento y monitoreo de efluentes de industrias de colapez se ha considerado la siguiente normativa ambiental:

- La Constitución Política del Perú:
 - Artículo 2 establece que “Toda persona tiene derecho a la paz, la tranquilidad, disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida” (Constitución Política del Perú, 1993)
 - Artículo 195 indica que “Los gobiernos locales promueven el desarrollo y la economía local, y la prestación de los servicios públicos de su responsabilidad, en armonía con las políticas y planes nacionales y regionales de desarrollo. Son competentes para: Desarrollar y regular actividades y/o servicios en materia de educación, salud, vivienda, saneamiento, medio ambiente, sustentabilidad de los recursos naturales, transporte colectivo, circulación y tránsito, turismo, conservación de monumentos arqueológicos e históricos, cultura, recreación y deporte, conforme a la Ley General del Ambiente” (Constitución Política del Perú, 1993).
- Ley General del Ambiente (Ley N° 28611.), establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de cumplir a una efectiva gestión ambiental en contribución a la protección del ambiente para mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.
- Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338) su reglamento y sus modificatorias; en el artículo 2 establece que el agua es patrimonio de la Nación y su dominio es inalienable e imprescriptible, no existe propiedad privada sobre el agua, únicamente se otorga su uso a personas naturales o jurídicas. Asimismo, en el artículo 79 menciona que es la Autoridad

Nacional quien autoriza el vertimiento de aguas residuales ya sea a un cuerpo de agua continental o marina, considerando la opinión del MINAM y en concordancia con los ECA y los LMP además de considerar si dicho vertimiento afecta o no la calidad del cuerpo receptor, la vida acuática y sus bienes asociados; prohibiendo así el vertimiento directo o indirecto de aguas residuales si no se cuenta con dicha autorización

- Ley General de Servicios de Saneamiento (Ley 26338) y su modificatoria el D.L. 1240, establecen las normas que rigen la prestación de servicios de saneamiento, dentro de los cuales se incluye el servicio de alcantarillado sanitario y pluvial, mencionando que es responsabilidad del Estado mediante sus entidades competentes regular y supervisar la prestación de dichos servicios, los cuales deben ser brindados por las EPS (Empresas Prestadoras de Servicios), estas a su vez tienen la obligación de garantizar la calidad y continuidad de los servicios. Asimismo, se menciona que los usuarios de los servicios de saneamiento tienen la obligación de hacer un uso adecuado de estos y no descargar en las redes públicas efluentes o elementos que contravengan las normas de calidad establecidas.
- Valores Máximos Admisibles (VMA) De Las Descargas De Aguas Residuales No Domésticas en el Sistema De Alcantarillado Sanitario (DS N 010 2019 VIVIENDA), menciona que en concordancia con el artículo 25 del D.L. 1280 (Ley del Marco de Gestión y Prestación de Servicios de Saneamiento) establece la prohibición del vertimiento en el alcantarillado sanitario sustancias o elementos extraños que incumplan las normas vigentes sobre la calidad de efluentes, quedando prohibido que los usuarios descarguen al sistema de alcantarillado aguas residuales no domésticas que excedan los Valores Máximos Admisibles (VMA), con excepción de que el usuario no doméstico realice el pago respectivo por el exceso en la concentración vertida; caso contrario se suspenderá los servicios de saneamiento. La finalidad de la aprobación de dicha normativa es prevenir el deterioro de las instalaciones, infraestructuras sanitarias, maquinarias y equipos, a fin de asegurar su adecuado funcionamiento y garantizar la sostenibilidad tanto en el sistema de alcantarillado como en el tratamiento de los efluentes, asimismo, disminuir el riesgo del personal que tenga contacto con dichos efluentes

Tabla 4: *Valores Máximos admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario*

Parámetro	Unidad	Simbología	VMA para descarga al alcantarillado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	1000
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	SST	500
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	100
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsénico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	B	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN-	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/l	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Níquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Sulfatos	mg/l	SO ₄ ⁻²	1000
Sulfuros	mg/l	S ⁻²	5
Zinc	mg/l	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	NH ⁺⁴	80
Potencial Hidrógeno	unidad	pH	6-9

Sólidos Sedimentables	ml/l/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

Fuente: D.S. 010-2019-MINAM

- R.M. N° 116 2012 VIVIENDA, la cual establece los parámetros de monitoreo y control para las actividades según Clasificación Industrial Uniforme para usuarios no domésticos., la cual aplica a los Valores Máximos Admisibles. De acuerdo al tipo de actividad de industria los parámetros a controlar se detallan a continuación:

Tabla 5: *Categorización de la industria productora de cola animal colapez y derivados*

Código CIU	Descripción	Parámetros
1511	Curtido y adobo de cueros, adobo y teñidos de pieles	DBO ₅ , DQO, Sólidos Suspendidos, Aceites y Grasas, pH, Temperatura, Sólidos Disueltos, Cr, Cr ⁺⁶ , NH ₄ , SO ₄ , S ⁻² .

Fuente: R.M. N° 116-2012-VIVIENDA

- D.S. N° 004 2017MINAM que deroga el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, respecto a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA para el agua, mencionando que dichos estándares son obligatorios para la determinación de los usos de los cuerpos de agua; así como referentes para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental; por lo que los titulares de la actividad económica deberán de prevenir o controlar los impactos que estas vayan a generar. Asimismo, se menciona las categorías de los ECA para agua.

Tabla 6: *Estándares de calidad ambiental para cuerpos de agua*

CATEGORÍA 1:			CATEGORÍA 2:				CATEGORÍA 3:	
Poblacional y Recreacional			Actividades de extracción y Cultivo Marino Costeras y Continentales				Riego de vegetales y bebida de animales	
Subcategoría A		Subcategoría B	C1:	C2:	C3:	C4:	D1:	D2:
Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		Aguas superficiales destinadas para recreación	Extracción y cultivo de moluscos	Extracción y cultivo de otras especies	Otras actividades marino portuarias	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas	Vegetales de tallo	Bebidas de animales
A1:	A2:	A3:	B1:	B2:				

Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contaminación primaria	Contacto secundario	Equinodermos y tunicados en agua costeras.	hidrobiológicas en aguas marino costeras	As, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	gigas en lagos o lagunas	bajo y alto
---	---	---	------------------------	---------------------	--	--	--	--------------------------	-------------

Fuente: D.S. 004-2017-MINAM

- D.S. N° 017 2015 PRODUCE Reglamento de Gestión Ambiental para la Industria Manufacturera y Comercio Interno, cuyo fin es propiciar el desarrollo sostenible de las actividades manufactureras y de comercio interno; buscando incorporar medidas de prevención, corrección y mejora continua en la gestión ambiental; así como la adopción de procesos productivos y actividades que usen tecnologías e insumos limpios, buscando lograr una producción sana, incorporando mecanismos de participación ciudadana y propiciando la Ecoeficiencia, eficiencia energética y responsabilidad social. Los titulares de las industrias son responsables del adecuado manejo ambiental de los ruidos, emisiones, efluentes, residuos, vibraciones, o cualquier daño que su actividad productiva genere, por lo que deberá presentar Reportes ambientales, en los cuales debe consignar los resultados de las acciones de monitoreo, seguimiento y control de los compromisos asumidos en su Instrumento de Gestión Ambiental.

B. Marco Teórico

1) Ubicación de la fábrica

La empresa se encuentra ubicada en el Parque Industrial de Río Seco (PIRS) en el distrito de Cerro Colorado, departamento y provincia de Arequipa. El acceso al PIRS puede realizarse mediante 2 vías: a) Vía aérea desde Lima hasta Arequipa, con un tiempo aproximado de 45 minutos; b) Vía terrestre desde Lima hasta Arequipa por la Panamericana Sur con una duración de 16 horas aproximadamente (Chávez, 2013).

La distancia aproximada en línea recta desde el centro de la ciudad hasta la fábrica de Colapez es de 7.90 kilómetros. (ANEXO I).

2) Aguas residuales o efluentes líquidos

Lapeña, Seónez y colaboradores, citados por Roque Rodríguez (2016) mencionan que el agua representa uno de los recursos fundamentales cuya utilización diaria en la totalidad de las actividades antropogénicas genera una gran variedad de aguas residuales, las cuales poseen orígenes diferentes: a) usada como medio de transporte; b) usada en lavados, enjuagues y jardines; c) en procesos de transformación industrial como solvente universal; d) como sub-producto de procesos físicos de productos de filtración o destilación; e) medio de transferencia de calor; entre otros.

Se considera como agua residual a aquellas aguas cuyas características originales han sido alteradas o modificadas debido a su utilización en actividades humanas y que además, por su calidad requieren de un tratamiento previo antes de ser reutilizadas, vertidas hacia un cuerpo receptor o descargadas hacia el sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

Pérez (2012) define las aguas residuales como “el conjunto de aguas que llevan elementos extraños ya sea por causas naturales y/o provocadas de manera directa o indirecta por las actividades humanas”.

Las aguas residuales denominadas también efluentes según la Real Academia de la Lengua Española son definidos como los líquidos procedentes de una planta industrial. Son las descargas o salidas de flujos líquidos residuales, tratados o sin tratar, producto de cualquier proceso industrial. Los efluentes son de naturaleza química o biológica y poseen un valor altamente tóxico, lo cual constituye un factor de contaminación si estos son dispuestos al aire libre y a su vez, pueden ser recuperables si se les aplica un tratamiento y control adecuado (Lazo Cuentas, 2017).

a) Clasificación de las aguas residuales

- **Aguas Residuales domésticas:** Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos y demás, provenientes de las actividades humanas (OEFA, 2014).
- **Aguas Residuales industriales:** Son aquellas resultantes del proceso productivo, en donde se incluyen las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras(OEFA, 2014). En este tipo de aguas no se consideran las aguas residuales domésticas ni las aguas de escorrentía pluvial (Rigola, 1999).

- **Aguas Residuales municipales:** Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales industriales previamente tratadas, las cuales son admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (OEFA, 2014).

b) Composición de las aguas residuales industriales

Las aguas residuales generalmente contienen dentro de su composición materiales solubles, insolubles y coloidales; los cuales son contaminantes para el medio receptor en donde se depositan (Chávez, 2013). Las aguas residuales presentan sustancias indeseables las cuales son las responsables de producir color en las aguas, aumentar su turbiedad, y generar otras características; provocando que estas sean tóxicas incluso para la vida acuática o el hombre, si es que este entra en contacto con ellas. Las sustancias contaminantes además, pueden alterar el pH de las aguas, generando otros cambios en estas (Barba, 2002). Las aguas residuales presentan cierta composición de acuerdo a su procedencia, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7: *Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y su procedencia*

Características	Procedencia
Propiedades físicas	
Color	Agua residual doméstica e industrial, desintegración natural de materiales orgánicos.
Olor	Agua residual en descomposición, vertidos industriales.
Sólidos	Agua de suministro, agua residual doméstica e industrial, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales.
Constituyentes químicos orgánicos	
Carbohidratos	Aguas residuales comerciales e industriales.
Grasa animal	Agua residual doméstica, comercial e industrial.
Aceites y grasas	Residuos agrícolas.
Pesticidas	Vertidos industriales.

Características	Procedencia
Fenoles	Aguas residuales domésticas y comerciales.
Proteínas	Aguas residuales domésticas e industriales.
Agente Tenso activos	Desintegración natural de materiales orgánicos.
Constituyentes químicos inorgánicos	
Alcalinidad	Agua residual doméstica, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
Cloruros	Agua de suministros, aguas residuales domésticas, infiltración del agua subterránea, ablandadores de agua
Metales pesados	Vertidos industriales.
Nitrógeno	Aguas residuales domésticas y residuos agrícolas
pH	Vertidos industriales.
Fósforo	Aguas residuales domésticas e industriales, escorrentía residual.
Azufre	Aguas de suministro, aguas residuales
Compuestos tóxicos	Vertidos industriales
Gases	
Sulfuro de Hidrógeno	Descomposición de aguas residuales domésticas.
Metano	Descomposición de aguas residuales domésticas.
Oxígeno	Aguas de suministro, infiltración del agua residual.
Constituyentes Biológicos	
Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento.
Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento.
Protistas	Aguas residuales domésticas, plantas de tratamiento.
Virus	Aguas residuales domésticas.

Fuente: Barba Ho, 2002.

Según Barba (2002), existe un gran número de contaminantes en el agua y que estos pueden ser clasificados en siete grandes grupos, que se mencionan a continuación:

- **Microorganismos patógenos:** Entre estos se consideran diferentes tipos de bacterias, virus, etc. los cuales pueden ser causantes de diversas enfermedades. En países subdesarrollados, la generación de enfermedades por el desarrollo de estos microorganismos patógenos son la principal causa de muerte prematura, afectando principalmente a los niños quienes adquieren dichas enfermedades por medio de la presencia de heces en el agua; debido a ello es que se considera como un parámetro de gran importancia el número de bacterias coliformes presentes para la medición de la salubridad en aguas. Por lo que la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que existan cero colonias de coliformes fecales por cada 100 ml. de agua (Barba, 2002).
- **Desechos orgánicos:** Se consideran dentro de esta clasificación a los restos orgánicos producidos por humanos, animales, etc.; en los que se incluye las heces y cualquier otro material que pueda ser descompuesto por acción de bacterias aeróbicas las cuales consumen oxígeno durante este proceso. Estos desechos cuando se encuentran en grandes cantidades estimulan el desarrollo de las bacterias que a su vez consumen oxígeno provocando la disminución de este, por lo que el agua se vuelve un medio no habitable para peces y demás seres vivos acuáticos. Los índices de medición de contaminación por estos desechos son el Oxígeno Disuelto (OD) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (Chávez, 2013).
- **Sustancias químicas inorgánicas:** Dentro de estas se incluyen ácidos, sales y metales pesados; los cuales en cantidades altas pueden generar graves daños a seres vivos, reducir el rendimiento agrícola y aumentar la corrosión de equipos utilizados para el trabajo con agua (Chávez, 2013).
- **Nutrientes vegetales inorgánicos:** Los nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua y son necesarias para el desarrollo de las plantas; sin embargo, si estas sustancias se encuentran en cantidades excesivas en el agua, se produce un crecimiento desmesurado de algas y otros organismos generando así la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y demás organismos del medio mueren, estos sufren un proceso de descomposición por acción de los microorganismos presentes en el produciendo el agotamiento de oxígeno, lo que hace imposible sobrevivencia de otros seres vivos. Por lo que como resultado se obtiene un agua inutilizable y maloliente (Chávez, 2013).

- **Compuestos orgánicos:** Sustancias como el petróleo, gasolina, plaguicidas, etc., terminan en el agua y permanecen periodos largos de tiempo, dada su composición química, las cuales presentan moléculas complejas y difíciles de degradar por los microorganismos (Chávez, 2013).
- **Sedimentos y materiales suspendidos:** Las partículas desplazadas del suelo por acción del agua junto con otros materiales que se encuentran suspendidos en el agua, generan en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación hídrica. Dado que, generan altos índices de turbidez, lo que dificulta el desarrollo de organismos y a su vez, estos sedimentos se acumulan destruyendo lugares de alimentación y desove de peces (Chávez, 2013).
- **Agentes Tensioactivos:** Estas sustancias están formadas por moléculas de gran tamaño, que son ligeramente solubles en agua y a su vez son causantes de la aparición de espumas en las PTAR y la superficie de cuerpos de agua receptores de efluentes residuales (Cajigas, 1995).
- **Contaminación térmica:** El agua liberada como producto de las operaciones de centrales energéticas o procesos industriales presenta temperaturas elevadas, lo cual provoca la disminución de la capacidad de ríos o embalses de contener oxígeno y por lo tanto afecta la vida de los organismos que allí habitan (Chávez, 2013).

c) Parámetros de medición de la calidad de aguas

- **Olor:** La determinación de olor es uno de los parámetros más importantes para el adecuado funcionamiento de las instalaciones de tratamiento de efluentes. Existe una variedad de compuestos olorosos que se van descomponiendo en condiciones anaeróbicas, generalmente estos olores son generados por los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica (Cajigas, 1995).
- **Color:** Antiguamente, para la descripción de un agua residual, se utilizaba el término condición junto con la composición y la concentración. Esto se refería a la edad del agua residual, la cual puede ser determinada de manera cualitativa en función a su color y olor. Un agua residual reciente suele tener un color grisáceo, sin embargo, a medida que el tiempo transcurre y que dicha agua es transportada a través de las redes de alcantarillado, y mientras se van desarrollando condiciones próximas a las anaerobias, el color de dicha agua se va tornando gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente tornarse de color negro. Es aquí donde el agua residual se clasifica como

séptica. Este color se debe a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro, el cual es liberado en condiciones anaerobias junto con los metales que se encuentran presentes en el agua residual (Cajigas, 1995).

- **Temperatura:** La temperatura de las aguas residuales, generalmente es más elevada que el agua presente en el suministro, esto se debe principalmente a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y de los procesos industriales. La temperatura media anual del agua residual, en función a la ubicación geográfica varía entre 10 y 21°C. Este parámetro es muy importante debido a la influencia que presenta en el desarrollo de la vida acuática, así como en las reacciones químicas y las velocidades de reacción. El aumento de las velocidades de reacción química producidas por un aumento de temperatura, combinado con la reducción del oxígeno generada por la misma razón, produce el agotamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto. Durante la estación de verano; estos efectos son amplificados cuando la cantidad de agua residual vertida en los cuerpos receptores son mayores. Además es necesario considerar, que el cambio abrupto de temperatura, puede generar un aumento en la mortalidad de la vida acuática y a su vez una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos (Cajigas, 1995)
- **Materia orgánica:** El 75% de los sólidos suspendidos y el 40% de sólidos filtrables en las aguas residuales son de naturaleza orgánica, los cuales provienen de los reinos animal y vegetal y de actividades humanas relacionadas a la síntesis de compuestos orgánicos. Estos compuestos, están formados por carbono, hidrógeno y oxígeno, y en algunos casos también nitrógeno, azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son proteínas (40%-60%), hidratos de carbono (25-50%), y aceites y grasas (10%). Otro compuesto cuya presencia es importante en los efluentes es la urea, sin embargo, debido a la velocidad de descomposición que esta posee, raramente está presente en aguas que no sean muy recientes (Chávez, 2013).

Junto con las proteínas, los hidratos de carbono, las grasas y los aceites y la urea, el agua residual también contiene pequeñas cantidades de moléculas orgánicas sintéticas cuya estructura puede ser desde muy simple a extremadamente compleja. Por otro lado, dado el incremento en la síntesis de moléculas orgánicas, el número de estas en aguas residuales aumenta cada año, en los últimos años este hecho ha complicado notablemente los procesos de tratamiento de aguas debido a la imposibilidad o a la

extremada lentitud de los procesos de descomposición biológica de dichos compuestos (Cajigas, 1995).

- **Proteínas:** Su composición química es compleja e inestable, adoptando diferentes mecanismos de descomposición, es así, que algunas son solubles en agua mientras que otras son insolubles. Todas presentan carbono en su estructura, también oxígeno e hidrógeno y como característica distintiva, presentan una elevada cantidad de nitrógeno, cercano al 16%; pudiendo contener además azufre, fósforo y hierro. Las proteínas y la urea son las causantes de la presencia de nitrógeno en los efluentes y la existencia de elevadas cantidades de estas en un agua residuales puede generar olores desagradables durante los procesos de descomposición (Chávez, 2013).
- **Hidratos de carbono:** Los hidratos están compuestos por carbono, oxígeno e hidrógeno, en donde los más comunes presentan seis átomos de carbono por molécula. Incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de manera; los cuales se encuentran presentes en el agua residual. Algunos hidratos son solubles en agua, como los azúcares; mientras otros son insolubles, como el almidón(Cajigas, 1995).
La celulosa, considerando volumen y resistencia a la descomposición es el hidrato con mayor presencia en el agua residual y por lo tanto uno de los más importantes, a pesar de ello, puede ser descompuesta sin dificultad por acción de diferentes hongos, especialmente si se presenta condiciones ácidas (Cajigas, 1995).
- **Materias inorgánicas:** Existen diferentes componentes inorgánicos presentes tanto en aguas residuales como naturales que tienen importancia en la determinación y control de la calidad del agua, de manera natural las concentraciones de estas sustancias pueden aumentar cuando el agua tiene contacto con formaciones geológicas, debido a que en el recorrido del agua se disuelve parte de las rocas y minerales. En el caso de las aguas residuales no es común que se traten con el objetivo específico de eliminar dichos constituyentes inorgánicos, salvo ciertos residuos industriales. Los constituyentes inorgánicos pueden aumentar su concentración debido al proceso de evaporación, el cual elimina parte del agua superficial, dejando así sustancias inorgánicas en el agua (Cajigas, 1995).
- **Materias solubles:** Las materias solubles, forman parte del residuo seco que queda luego del proceso de evaporación de una muestra de agua residual filtrada. Generalmente son sales inorgánicas y numerosas combinaciones de sustancias orgánicas solubles en agua. Sin embargo mientras las sales como los cloruros y sulfatos

no son modificadas en los tratamientos de aguas residuales, las combinaciones de sustancias orgánicas disueltas si sufren una importante degradación por acción de las bacterias (Chávez, 2013).

- **Aceites y grasas:** Aquí se engloba a las grasas de animales, aceites, ceras, entre otros componentes presentes en las aguas residuales. Las grasas animales y los aceites, son compuestos de alcohol (ésteres) o glicerol (glicerina). Los glicéridos de ácidos grasos que se presentan en estado líquido a temperatura ambiente se denominan aceites, mientras que las que están en estado sólido, reciben el nombre de grasas. Químicamente ambas sustancias son parecidas y están compuestas por carbono, oxígeno e hidrógeno en diferentes proporciones (Cajigas, 1995).. Para determinar el contenido de grasa se debe realizar una extracción de la muestra con triclorotifluoroetano, dado que la grasa es soluble en este compuesto (Chávez, 2013)..

3) *Colapez y cola animal*

La cola animal y colapez pueden ser extraídos de fuentes naturales y diversas, las colas animales son un material muy versátil y ampliamente usado en el ámbito artístico. Estas han sido utilizadas desde la antigüedad y son uno de los materiales más comunes en obras de arte tradicional, así como en los tratamientos de restauración actuando como adhesivo, aglutinante o consolidante (Bailach Bartra, Fuster López, Yusa Marco, Talens Oliag, & Vicente Palomino, 2011)

a) *Colágeno*

“El colágeno es una escleroproteína que posee una estructura fibrosa y es muy poco soluble en agua. Forma parte de la matriz extracelular del tejido conectivo y se encuentra en la piel huesos, tendones, cartílagos, etc.; teniendo una estructura característica en cada uno de estos tejido dependiendo con la función que desempeña en ellos (Teijón, 2006)”. Esta proteína se compone principalmente por aminoácidos y representa cerca del 30% de la materia proteica animal, siendo a su vez una proteína que garantiza la elasticidad del cuerpo y la regeneración de la piel, cartílagos y huesos; por lo es considerada la proteína más abundante de los seres superiores, pudiendo incluso representar un tercio de todas las proteínas que constituyen el cuerpo (Jordán Núñez, 2012).

La piel de los animales está compuesta de proteínas (90 a 95% de sólidos o 35% de su peso), lípidos, carbohidratos, sales minerales y agua; siendo el colágeno la proteína que se encuentra presente en mayor cantidad. Las fibras de colágeno, se encuentra en el tejido conectivo conocido como sarcolema y son insolubles en agua, pero solubles en ácidos, álcalis y solventes a temperaturas ordinarias (Kanagaraj, Velappan, Babu, & Sadulla, 2006).

El colágeno posee mayor cantidad de propiedades de hinchamiento en sistemas acuosos y alcalinos en ausencia de concentración de sales, además se caracteriza por su alto contenido de glicina (33%) (Kanagaraj et al., 2006).

4) Obtención de la materia prima

La fuente de obtención de materia prima para la producción de colágeno y cola animal son los desechos sólidos generados en la industria de cuero (Kanagaraj et al., 2006).. En esta industria la materia prima es la piel vacuna, ovina y caprina principalmente que después de ser procesadas se genera una gran variedad de desechos, entre efluentes líquidos y residuos sólidos (curtidos y no curtidos del proceso productivo) (Cantera & Bértola, 1999). Dentro de estos últimos se puede encontrar principalmente recortes de piel, desechos de queratina, desechos de pulpa, etc. En esta industria se genera aproximadamente 800 kg de desechos sólidos por cada tonelada de cuero producido; los cuales están constituidos principalmente de proteína, la cual si no es tratada correctamente constituye un problema de contaminación, sin embargo, estos desechos sólidos pueden ser hidrolizados y utilizados como subproductos útiles (Kanagaraj et al., 2006).

Los recortes de piel pueden ser reaprovechados para que mediante su procesamiento se pueda obtener pegamento, gelatina y colágeno reconstituido; mientras que los recortes de la corteza y del cuero acabado pueden ser convertidos en pegamento y fertilizantes. Sin embargo, las características del producto que pueda ser obtenido a partir del procesamiento de los mencionados residuos dependen de la composición del producto de desecho original y de las condiciones de tratamiento específicas. Existen investigaciones realizadas que demuestran que se pueden utilizar los recortes o desechos de recortes de cuero para la preparación u obtención de gelatina a través de un tratamiento con enzimas, pero únicamente después de sido sometidos por un tratamiento previo para desnaturalizar el colágeno. Los residuos de carne pueden ser

utilizados para la producción de pegamento, gelatina y en algunos casos para alimentos de aves (Kanagaraj et al., 2006).

Los productos de proteínas gelificables se aíslan del tratamiento con cromo, debido a que presentan un alto contenido de cenizas no solo por el álcali, sino también por el alto contenido de minerales en el sustrato original, lo que a su vez ayuda a la extracción de la proteína gelificable; es por ello, que durante la preparación comercial de la gelatina, es habitual pasar las soluciones de proteínas a través de una resina de intercambio iónico para reducir el contenido de cenizas y mejorar la calidad del producto (Kanagaraj et al., 2006).

En el siguiente cuadro se muestran los kilogramos de residuos originados durante la producción de cuero y los porcentajes de colágeno que se encuentra en cada residuo. Dichos datos están basados en una tonelada de piel vacuna (1000 kg.), del sólo 26% se convertirá en cuero como producto final (260 kg.), mientras que de colágeno puede obtenerse 50% (500 kg.); estos datos evidencian el gran potencial que tienen los residuos de la industria del cuero para su reaprovechamiento (Cantera & Bértola, 1999).

Tabla 8: *Residuos sólidos obtenidos del procesamiento de piel vacuna salada*

Tipo de sólido	Cantidad de residuos	
	(kg)	Colágeno total (%)
Carnazas (tejido adiposo y restos de carne)	200	8,0
Recortes de piel depilada	100	6,0
Descarnes curtidos con sales de cromo (III), no utilizables	110	16,0
Virutas de cromo, residuo de la operación de rebajado para la igualación del espesor del cuero	125	15,0
Recortes de cuero curtido con sales de cromo (III)	20	2,8
Polvo del esmerilado de la superficie del cuero semiterminado	2	0,3
Recortes de cuero semiterminado	32	1,9

Cuero plena flor	380	38,0
Cuero descarne	120	12,0

Fuente: Santos Cantera & Bértola, 1990.

5) Descripción del proceso industrial

Contiene las siguientes etapas (ANEXO II)

- **Recepción y Selección:** La materia prima procede de las curtiembres, por lo que es acopiada y trasladada a la fábrica, allí se separan los retazos que serán cortados tanto de las patas como de las mejillas, dependiendo de la calidad de colágeno que se desee producir (Chávez, 2013).
- **Recorte y Pesado:** El cortado se realiza manualmente por los trabajadores de la fábrica empleando cuchillos artesanales para esta labor, la materia prima se extiende sobre caballetes de madera y se recorta a un tamaño promedio de un pie cuadrado (ft²), este proceso se realiza para obtener piezas que son fácilmente manejables. Posteriormente se pesa 720 kg. de materia prima para que esta pueda ingresar al proceso de producción (Chávez, 2013).
- **Pre-lavado:** La materia prima recortada se transporta y deposita en las piletas de lavado, en donde se la lava con agua fría por un tiempo de aproximadamente 30 minutos, posteriormente se purga el agua residual de lavado y se descargan las piletas llevando la materia prima hacia el área de caleo (Chávez, 2013).
- **Caleo:** Para realizar este proceso, es necesario preparar un baño de cal que consiste en una solución de agua (165L) con cal (18kg.). La materia prima se baña en esta solución y se coloca en pozos de caleo por un tiempo de 3 a 4 semanas (Chávez, 2013).
- **Desencalado:** Este proceso es realizado en botales, el cual consiste en un primer lavado de la materia prima (03 partidas por día 1080 kg. de materia prima o carnaza) con agua fría (1 m³), una vez purgada el agua residual de lavado, se continúa con el segundo lavado (Chávez, 2013).
- **Neutralizado:** Este proceso busca reducir el pH de la materia prima que es altamente alcalino debido a los procesos anteriores, para lo cual se recarga agua fría (1 m³) en el botal y se adiciona ácido sulfúrico (10 kg.), contando con que los botales existentes se encuentren cargados cada uno de 1690 kg. de materia prima. El tiempo de neutralizado depende de las variaciones de pH, para lo cual se realizan mediaciones por cada hora de agitación (Chávez, 2013).

- **Enjuague:** Luego de purgar el agua residual del proceso de neutralizado, se realiza el enjuague en dos etapas, la primera consiste en recargar nuevamente el botal con agua fría (1 m^3) y se adiciona sulfato de aluminio (5g.). Luego de purgar este enjuague, se procede a la segunda etapa, el cual consiste solo en un lavado con agua fría (1 m^3) (Chávez, 2013).
- **Cocinado:** En este proceso se obtiene el colágeno disuelto, también conocido como gelatina. La materia prima descalcada proveniente del último enjuague se coloca en pailas donde se adiciona agua fría. Las cocinas son encendidas a fuego alto por un tiempo de 6 horas, luego el fuego es reducido al mínimo por 3 horas más, buscando que las pailas alcancen una temperatura máxima de 75°C y mínima de hasta 70°C . Luego de 6 horas de cocción se realiza la purga del primer cado que es filtrado y luego envasado (Chávez, 2013).
- **Envasado en caliente y coagulación:** El envasado de los caldos filtrados se realiza manualmente en bandejas metálicas y plásticas, aquí se mantiene en reposo para su coagulación de manera natural a temperatura ambiente y bajo sombra, aproximadamente por 12 horas (Chávez, 2013).
- **Desmolde y corte:** Cada bandeja con el caldo coagulado, pasa por un baño de agua tibia para poder ser desmoldado para luego a la máquina de corte, que debe ser graduada según el grosor del corte que se quiera obtener, obteniendo de esta manera las tabletas coaguladas, las cuales regresarán a la bandeja de moldeo para ser trasladadas al área de extendido. El grosor de las tabletas depende de la condiciones de húmedas existentes en el ambiente, de acuerdo a la estación del año en curso (Chávez, 2013).
- **Extendido:** El extendido se realiza sobre bastidores, expuestos al aire y al sol por el tiempo que sea necesario para su secado, oscilando el tiempo más usual de secado promedio entre 3 a 4 días (Chávez, 2013).
- **Molienda o Refinado:** Luego romper las tabletas secas, el producto triturado es refinado con la molienda, posteriormente a esta se obtendrá el colágeno de primera, segunda y tercera calidad, los cuales están listos para su envase (Chávez, 2013).

6) *Procesos de depuración o tratamiento de aguas residuales*

La depuración consiste en la eliminación de impurezas y contaminantes presentes en las aguas residuales (Hernández Muños, 2001). Para ello, existe una gran variedad de tratamientos aplicables a las aguas residuales; dependiendo del tipo de contaminante que se pretende eliminar.

- **Procesos físicos:** Son los procesos en los que predomina la acción de las fuerzas físicas. Estos fueron los primeros aplicados para el tratamiento de las aguas residuales, entre ellos destacan el mezclado, floculación, sedimentación, transferencia de gases y filtración; todos estos son considerados como operaciones unitarias típicas (Cajigas, 1995).
- **Procesos químicos:** Son métodos en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes, se obtiene a través de la adición de productos químicos o mediante el desarrollo de reacciones químicas, dichos procesos son conocidos como procesos químicos unitarios. Entre estos encontramos a la precipitación por adición de sustancias químicas, adsorción y desinfección (Cajigas, 1995).
- **Procesos biológicos:** Son procesos en los que la eliminación de los contaminantes se realiza mediante la actividad biológica de seres vivos. Su principal aplicación es la eliminación o remoción de sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual, ya sea que este se encuentre como coloide o como disolución. Estas sustancias se convierten en gases que serán liberados hacia la atmósfera y en tejido celular biológico eliminable por sedimentación (Cajigas, 1995).

7) *Implicancias ambientales del vertimiento de efluentes sin tratar*

- Las aguas residuales arrojadas directamente a cuerpos de agua ocasionan efectos negativos en la vida acuática y en el uso posterior de esa agua, los peces mueren por una disminución del Oxígeno Disuelto (OD) y el agua se convierte en no apta para consumo humano (Macías Gómez , y otros, 2006).
- El suelo tiene la capacidad de neutralizar cierta carga contaminante, sin embargo, los niveles de contaminación deben de ser contralados, evitando dañar la estructura y calidad del suelo, ya que se puede afectar las propiedades físicas y estructura de este, afectando así a la biota existente en él (Macías Gómez , y otros, 2006).

- En aguas superficiales se da contaminación de estas aguas y la biota, ocasionando el disfuncionamiento del sistema ecológico por las pérdida de los depredadores superiores debido a la inhibición del crecimiento y a posteriores problemas reproductivos (FAO, 2013)

8) Coagulación química

La coagulación es un proceso en el que se produce la desestabilización química de los elementos coloidales debido a que se neutralizan las fuerzas que los mantienen separados a través de la adición de un agente coagulante químico y posterior agitación de la mezcla. Este tipo de tratamiento comúnmente es muy eficaz, sin embargo, puede llegar a presentar costos elevados cuando no se realiza de la manera correcta. Una de las principales ventajas es costo del tratamiento, ya que se elimina una gran cantidad de sustancias de diversos tipos con una inversión menor si se compara con otros métodos. La dosis de coagulante resulta ser una parte clave de este proceso ya que, si esta no es la correcta se puede llegar a una degradación acelerada de la calidad del agua a tratar que representa además gastos de operación no justificados. De esta manera, la dosis de coagulante resulta ser un condicionante del buen funcionamiento de las unidades de decantación en las cuales será imposible realizar una etapa de clarificación cuando este parámetro no está bien ajustado (Portada Mamani, 2016).

a) Mecanismos de coagulación

La desestabilización de las partículas coloidales puede ser obtenida mediante los siguientes mecanismos fisicoquímicos:

- **Comprensión de la doble capa:** Este mecanismo se produce cuando dos partículas semejantes se aproximan, es entonces que sus capas difusas interactúan y se genera una fuerza de repulsión cuyo potencial estará en función de la distancia que separa a estas dos partículas y caerá de forma acelerada si incrementa el número de iones de carga opuesta al de las partículas, lo cual se consigue únicamente con los iones del coagulante químico. Existe además un potencial de atracción denominado fuerzas de Van der Waals que es dependiente de los átomos que constituyen las partículas y de la densidad de estos (Andía, 2000).
- **Adsorción y neutralización de cargas:** Las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie y son estas las que atraen a los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y conforman la primera capa que es adherida al

coloide. La potencial zeta es el potencial en la superficie del plano de cillazamiento, también denominado potencial electrocinético el cual rige el desplazamiento de coloides la interacción entre estos. Mediante el proceso de coagulación se consigue la anulación del potencial a través de la acción de elementos de coagulación-floculación, en dicho proceso se deberá complementar la mezcla natural del efluente, debido al movimiento browniano, con una agitación mecánica o hidráulica. Determinar una adecuada dosis de coagulante resulta indispensable, ya que cuando se adiciona un exceso de coagulante se puede producir la estabilización de la carga de la partícula, lo cual se genera debido a que el exceso de coagulante se absorbe en la superficie de la partícula coloidal produciendo una carga invertida a la carga original (Andía, 2000).

- **Atrapamiento de partículas en un precipitado:** Una vez desestabilizadas las partículas coloidales, estas pueden ser atrapadas dentro de un flóculo cuando se adiciona suficiente cantidad de coagulante como el sulfato de aluminio o cloruro férrico. Debido a la presencia de ciertos aniones y las partículas coloidales se acelerará la formación del precipitado. Las partículas coloidales cumplirán el rol de anillo cuando se forma el flóculo, lo cual puede tener una relación inversa entre turbiedad y cantidad de coagulante requerido (Andía, 2000).
- **Adsorción y puente:** El agente coagulante que se adiciona al agua a tratar debe ser un polímero con cadenas muy largas que contienen grupos químicos capaces de absorber partículas coloidales (Andía, 2000)., de esta manera la molécula de polímero puede absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los demás espacios son libres para absorber otras partículas. Debido a ello se dice que las moléculas de polímeros forman una especie de puente entre las partículas coloidales (Andía, 2000).

b) Coagulantes químicos

- Los coagulantes químicos son productos capaces de producir una reacción química al interactuar con componentes químicos presentes en el agua a tratar formando un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se utiliza (Andía, 2000).

Los principales coagulantes químicos utilizados para realizar un tratamiento de coagulación son:

- Sulfato de Aluminio
- Aluminato de Sodio
- Cloruro de Aluminio
- Cloruro Férrico
- Sulfato Férrico
- Sulfato Ferroso
- Polielectrolitos (ayudante de floculación).

Dentro de las sustancias mencionadas, las de uso más común son las sales de aluminio y hierro, estas sustancias al ser incorporadas al agua producen una serie de reacciones muy complejas en donde los productos resultantes de la hidrólisis son más eficaces que los iones mismos. Estas sales, además, reaccionan con la alcalinidad del agua produciendo hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman parte de los precipitados (Andía, 2000).

c) Factores que influyen en la coagulación

Con el fin de optimizar el proceso de coagulación es necesario que se tenga en cuenta los siguientes factores:

- **Influencia del pH:** Este parámetro es definido como el logaritmo del inverso de la concentración de hidrogeniones (H^+): $pH = -\log \{H^+\}$ (CORTOLIMA, 2007).
El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, ya que para cada agua existe un rango de pH óptimo en el que la coagulación tiene lugar rápidamente, esto depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua. El rango de pH dependerá del tipo de coagulante que se utilice y de la naturaleza del agua que se quiera tratar. En caso la coagulación se realice fuera del rango de pH óptimo se deberá aumentar la cantidad del coagulante y en consecuencia la dosis requerida será alta, aumentando los costos del tratamiento (Andía, 2000)..Cada coagulante opera con mayor efectividad en un determinado rango de pH, presentando una máxima remoción de contaminación (Rodríguez Ramírez & Zapata Jáuregui, 2015)
- **Influencia de las Sales Disueltas:** Las sales contenidas dentro del agua ejercen las siguientes influencias sobre los procesos de coagulación y floculación (Andía, 2000):
 - Modificación del rango de pH óptimo

- Modificación del tiempo requerido para la floculación
- Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos
- Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente
- **Influencia de la Temperatura del Agua:** La temperatura influye en el tiempo requerido para la adecuada formación de coágulo, existiendo una relación inversamente proporcional entre estos, es decir, a menor temperatura, mayor tiempo se requerirá para la formación del coágulo (Rodríguez Ramírez & Zapata Jáuregui, 2015). La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta. De la misma forma temperaturas muy elevadas desfavorecen también a la coagulación, mientras que una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad lo cual produce dificultades en la sedimentación de un flóculo (Andía, 2000).
- **Influencia de la Dosis del Coagulante:** La cantidad del coagulante a añadir ejerce una influencia directa sobre la eficiencia de la coagulación, de este modo:
 - Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, por lo que la formación de los microflóculos es muy escasa y por lo tanto la turbiedad resultante es elevada (Andía, 2000).
 - Alta cantidad de coagulante genera la inversión de la carga de la partícula, formando gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños que tienen velocidades de sedimentación muy bajas y por lo tanto la turbiedad resultante es igualmente elevada (Andía, 2000)..
 - La selección del tipo de coagulante y la cantidad óptima de aplicación deben ser determinados a través de los ensayos de pruebas de jarra (Andía, 2000).
- **Influencia de Mezcla:** La mezcla resulta importante ya que el grado de agitación determinará si el proceso se realizará de forma completa, es así que turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada. Debido a esto, la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua para producir la reacción química de neutralización de cargas antes descrita. Durante este tipo de tratamiento existen dos momentos, el primero en que él se debe realizar una agitación rápida y de corta duración y la segunda en donde el grado de agitación disminuye para favorecer a la creación de los microflóculos (Andía, 2000).

- **Influencia de la Turbidez:** La turbidez se define como el grado de opacidad producido en el agua por el material particulado en suspensión, este parámetro nos da una idea de la concentración de las sustancias en el agua, las cuales determinan la transparencia del agua puesto que son las que limitan el paso de luz a través de ella. La turbidez es un parámetro muy importante de la coagulación química debido a que según las características iniciales del agua a tratar se puede hallar una dosis de coagulante en la cual la turbidez obtenida luego del tratamiento es más baja (CORTOLIMA, 2007).
- **Concentración de los coloides:** Tiene un impacto importante tanto en la dosis óptima requerida como en la eficiencia de la coagulación. La dosis de coagulante requerida para la desestabilización de una dispersión coloidal se encuentra directamente relacionada con la cantidad de partículas coloidales presentes en la disolución (Rodríguez Ramírez & Zapata Jáuregui, 2015).
- **Potencial Zeta:** Representa la carga neta de las partículas coloidales, lo que quiere decir que mientras más alto es el valor del potencial zeta, mayor será la magnitud de la potencia repulsiva, y por lo tanto el sistema coloidal será más estable. Durante el proceso de coagulación los coagulantes adicionados proporcionan cargas de signo contrario para eliminar este potencial (Rodríguez Ramírez & Zapata Jáuregui, 2015).

d) Fases de la coagulación

El proceso de coagulación se realiza de manera rápida y presenta las siguientes etapas (Andía, 2000).

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión
- Formación de compuestos químicos poliméricos
- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides
- Adsorción mutua de coloides
- Acción de barrido

8) Flocculación

Este proceso se produce gracias a la agitación de la masa coagulada para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. En algunas ocasiones puede que los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no sean lo suficientemente grandes como para

sedimentar con la rapidez deseada, por lo que se debe añadir un floculante para reunir los coloides en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados. Este proceso se debe realizar con un mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos si se realiza una agitación intensa se romperían los enlaces y no se volverían a formar en su tamaño y fuerza óptimos (Andía, 2000).

a) Tipos de floculación

- **Floculación Pericinética:** Esta se produce debido movimiento natural de las moléculas del agua, se encuentra inducida por la energía térmica, este movimiento se denomina también como el movimiento browniano (Andía, 2000)..
- **Floculación Ortocinética:** Está basada en la colisión de las partículas debido al movimiento del agua que es generado mediante la adición una energía exterior de la masa pudiendo ser esta mecánica o hidráulica. Luego de la coagulación es necesario que se produzca la aglomeración de los microflóculos y para que esto suceda se produce primero la floculación pericinética siendo sucedida luego por la floculación ortocinética (Andía, 2000).

b) Parámetros de la floculación

Los parámetros que se caracterizan la floculación son los siguientes:

- Floculación Ortocinética (Se da por el grado de agitación proporcionada: Mecánica o Hidráulica)
- Gradiente de Velocidad (energía necesaria para producir la mezcla)
- Número de colisiones (choque entre microflóculos)
- Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación)
- Densidad y tamaño de flóculos
- Volumen de lodos (los flóculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación)

c) Floculantes

Los floculantes son polímeros o polielectrolitos con pesos moleculares muy elevados, son moléculas orgánicas solubles en agua formadas por bloques denominados monómeros, repetidos en cadenas larga. Estos floculantes pueden tener diversas naturalezas como son mineral, orgánico natural y orgánico de síntesis (Andía, 2000).

- **Floculantes Minerales:** Dentro de este tipo la más utilizada es la sílice activada, debiendo esta ser preparada antes de emplear, su preparación delicada y presenta el riesgo de gelatinización (Andía, 2000).
- **Floculantes Orgánicos Naturales:** Referido a polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales. Dentro de estos se encuentran los alginatos, cuya estructura polimérica son los ácidos manuránicos y glucónicos (Andía, 2000).
- **Floculantes Orgánicos de Síntesis:** Dentro de este tipo se encuentran los de uso más extendido, son macromoléculas de cadena larga obtenidos por asociación de monómeros sintéticos con masa molecular elevada de 106 a 107 gr/mol, estos se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros (SNF FLOERGER, 2014):
 - Aniónicos, se utilizan en la sedimentación de partículas minerales (SNF FLOERGER, 2014).
 - Neutros o no iónicos se utilizan en la sedimentación de partículas tanto orgánicas como inorgánicas (SNF FLOERGER, 2014).
 - Catiónicos, son empleados en la sedimentación de partículas de origen orgánico (SNF FLOERGER, 2014).

d) Factores de influencia

- **Dosis óptima de polímero:** Es la cantidad máxima de polímero que puede ser absorbido para generar el sistema de floculado, con la condición de que ningún enlace de la superficie sea roto luego de la formación de los flóculos (Rodríguez Ramírez & Zapata Jáuregui, 2015).
- **Agitación:** Una adecuada agitación será necesaria tanto durante la dosificación del polímero como durante la formación del flóculo. Cuando inicie la etapa de floculación, lo recomendable es reducir la velocidad de agitación para evitar efectos de cizalladura que genere la ruptura mecánica de los flóculos (Rodríguez Ramírez & Zapata Jáuregui, 2015)..

- **Peso molecular del polímero:** Es una de las propiedades del polímero que determina la eficiencia de la floculación. Con un polímero de mayor peso molecular se genera un mayor número de moléculas que pueden ser adsorbidas y utilizadas por las partículas, por lo que se optimiza la dosis de polímero y se incrementa la velocidad de sedimentación (Rodríguez Ramírez & Zapata Jáuregui, 2015).
- **Superficie de los sólidos:** La dosis óptima de floculante es inversamente proporcional a la superficie específica del sólido, es decir, a mayor tamaño o superficie de la partícula se reduce la dosis de floculante (Rodríguez Ramírez & Zapata Jáuregui, 2015).

9) *Electrocoagulación*

Es un proceso electroquímico que produce la desestabilización las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, a través de la inducción de corriente eléctrica en el agua mediante la utilización de placas metálicas paralelas de diversos materiales, siendo el hierro y el aluminio son los más utilizados (Arango Ruiz, 2005).

Durante este proceso de electrocoagulación se generan coagulantes in situ debido a la disolución de iones de aluminio o de hierro de los electrodos de estos materiales. La generación de iones metálicos tiene lugar en el ánodo y en el cátodo, donde hay liberación de burbujas de hidrógeno gaseoso las cuales ayudan a la flotación de las partículas floculadas, las que posteriormente deberán ser retiradas (Arango Ruiz, 2005).

Durante este proceso se van a desarrollar distintos procesos tanto físicos como químicos, estos se describen a continuación:

- En un inicio en los electrodos se llevarán a cabo reacciones que aportarán iones positivos y negativos. El ánodo, conocido también como electrodo de sacrificio ya que esta placa será la que se disuelva en el proceso, es el que aportará los iones metálicos necesarios para la coagulación (Restrepo, Arango, & Garcés, 2006).
- Los iones que se producen al igual que en la coagulación química, desestabilizan las cargas que poseen los materiales coloidales del agua residual. Una vez neutralizadas las cargas se permitirá la formación de agregados de contaminantes dándose la coagulación (Restrepo et al., 2006).
- Los iones aportados por los electrodos pueden eliminar los contaminantes del agua residual a través de dos mecanismos: uno de ellos a través de reacciones químicas y

precipitación y el otro por medio de procesos físicos de agregación de coloides, los cuales pueden sedimentar o flotar de acuerdo a su densidad (Restrepo et al., 2006).

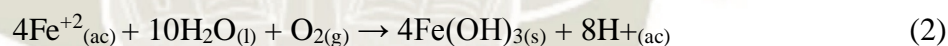
- Las reacciones que sufren los contaminantes durante el proceso son: hidrólisis, electrólisis, reacciones de ionización y formación de radicales libres. Dichas
- reacciones van a permitir la eliminación de la carga contaminante del agua de distintas formas (M Yousuf A Mollah, Schennach, Parga, & Cocke, 2001).

a) Reacciones en el proceso de electrocoagulación

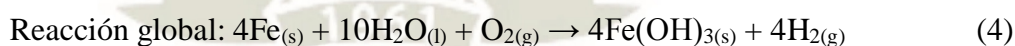
En la actualidad los materiales más utilizados para este tipo de tratamiento son el hierro y el aluminio por lo que se describirán las reacciones de estos metales durante la electrocoagulación (Restrepo et al., 2006).

En caso de utilizar una placa de hierro como ánodo, se han propuesto dos mecanismos capaces de explicar la formación in situ de dos posibles coagulantes, pudiendo ser estos el hidróxido ferroso Fe(OH)_2 o hidróxido férrico Fe(OH)_3 (Restrepo, Arango, & Garcés, 2006).

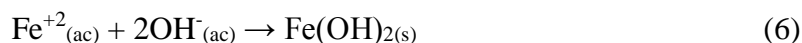
- Formación del hidróxido férrico Fe(OH)_3
 - En el ánodo ocurren las siguientes reacciones:



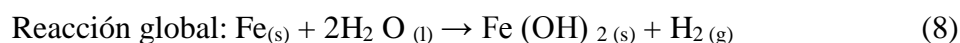
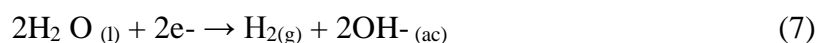
- En el cátodo ocurre la reacción:



- Formación del hidróxido ferroso Fe(OH)_2
 - En el ánodo se dan las reacciones:



- En el cátodo:

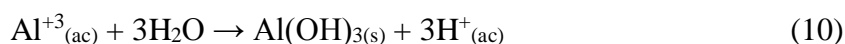


Luego de formados los hidróxidos de hierro los coloides se aglomeran, en especial los de carga negativa y luego otras partículas contaminantes que interactúan con estos aglomerados, son

removidos debido a la formación de complejos o por atracciones electrostáticas (Larue, Vorobiev, Vu, & Durand, 2003).

Cuando el aluminio actúa como ánodo las reacciones son las siguientes.

- En el ánodo:



- En el cátodo:



Los iones Al^{+3} en combinación con los iones OH^- reaccionan para formar algunas especies monoméricas como $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}_2(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, y otras poliméricas, tales como $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+}$, $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{4+}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+}$, $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$ y $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{5+}$ que debido a procesos de precipitación forman el $\text{Al}(\text{OH})_{3(\text{s})}$, como se muestra en la reacción de ánodo. El $\text{Al}(\text{OH})_{3(\text{s})}$ es una sustancia amorfa de carácter gelatinoso, que expone una gran área superficial con propiedades absorbentes y que es la indicada para los procesos de adsorción y atracción de las partículas contaminantes (Larue et al., 2003)..

b) Factores que afectan al proceso de electrocoagulación

- **pH:** El pH influye sobre la eficiencia de la corriente en el proceso de solubilidad del metal para formar hidróxido. Se ha observado en diferentes investigaciones que el pH varía durante el proceso de electrocoagulación, y esta variación es dependiente del material de los electrodos y del pH inicial del agua a tratar. El pH durante el proceso puede incrementarse para aguas residuales ácidas, efecto atribuido a la generación de hidrógeno molecular que se origina en el cátodo. En contraposición, en aguas residuales alcalinas el pH puede decrecer y, dependiendo de la naturaleza del contaminante puede influir sobre la eficiencia del proceso (Restrepo et al., 2006).

Se ha determinado en algunos casos que la mayor eficiencia en la remoción de un contaminante se da dentro de un rango específico de pH, el cual puede ser amplio. En términos generales las mejores remociones se han obtenido para valores de pH cercanos a 7. Ejemplos de esta situación se pueden ver en la remoción de arsénico en aguas de consumo, donde el mayor porcentaje de remoción de arsénico se da en valor de pH

entre 6 y 8, y las mejores remociones de turbiedad y DQO para las aguas residuales de la industria textil se dan en un pH de 7 (Restrepo et al., 2006).

Las reacciones que se dan durante el proceso de electrocoagulación le dan al medio acuoso capacidad buffer. Especialmente en aguas residuales alcalinas, esta propiedad previene grandes cambios de pH con lo cual son menores las dosificaciones de sustancias químicas para regular el pH (Restrepo et al., 2006).

- **Densidad de corriente:** Como las variables eléctricas en el proceso de electrocoagulación son los parámetros que más influyen en la remoción del contaminante de un agua residual y están ligados a factores económicos, se debe prestar mayor atención a su estudio. La eficiencia en la remoción y el consumo de energía se incrementan con el aumento en la densidad de corriente. Para algunas conductividades del medio acuoso el consumo de energía se incrementa proporcionalmente con los aumentos de conductividad, lo que conlleva a un consumo mayor de energía. Para altos consumos de energía se presentan pérdidas por la transformación de energía eléctrica en calórica, produciéndose un aumento en la temperatura del medio acuoso. El suministro de corriente al sistema de electrocoagulación determina la cantidad de iones de aluminio Al^{+3} o hierros Fe^{+2} , liberados por los respectivos electrodos. En general un aumento de la densidad de corriente genera un aumento en la remoción de contaminante. Una densidad de corriente demasiado grande produciría una disminución significativa en la eficiencia. La selección de la densidad de corriente podría realizarse teniendo en cuenta otros parámetros de operación, como pH y temperatura (Restrepo Osorno, 2009). 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 et al., 2006)..
- **Conductividad:** Un incremento en la conductividad eléctrica genera a su vez un incremento en la densidad de corriente. Cuando se mantiene constante el voltaje alimentado a la celda de electrocoagulación y adicionalmente el incremento de la conductividad, manteniendo la densidad de corriente constante, se produce una disminución del voltaje aplicado (Restrepo et al., 2006).

La adición de algunos electrolitos produce un aumento en la conductividad del agua residual. Además, se ha podido evidenciar que los iones de cloruro pueden reducir efectos adversos de iones como HCO^{3-} y SO^{4-} , 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 éstos, decreciendo así la eficiencia de la corriente. Se recomienda, sin embargo, que para un proceso de electrocoagulación normal se mantengan cantidades de Cl^- alrededor del 20% (Restrepo Osorno, 2009).

- **Temperatura:** Los efectos de la temperatura sobre la electrocoagulación no han sido muy investigados, pero se ha encontrado que la eficiencia en la corriente se incrementa inicialmente hasta llegar a 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 en el caso se utilice el aluminio como material para las placas (Restrepo et al., 2006)..
- **Tiempo:** A mayor tiempo de residencia valor, mayor es la cantidad de sólidos formados, debido a que se favorece tanto los procesos la floculación y precipitación de los sólidos. Además, a mayor tiempo de contacto se producen más gases que al ascender llevan las partículas de óxido a la superficie en forma de espuma y a su vez se promueve el crecimiento de los flóculos y su posterior precipitación. Sin embargo, las variaciones en este factor son estadísticamente menos significativas que las variaciones de pH, ya que éste, está muy vinculado a la constante del producto de solubilidad (K_{ps}) 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 Ascon, 2015).

10) Marco Conceptual

a) Aguas residuales:

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

b) Agua residual de proceso

Cualquier agua que durante la fabricación o procesamiento entra en contacto directo o resulta de la producción o uso de cualquier materia prima, producto intermedio, producto terminado, subproducto o producto de desecho (EPA, 1992).

c) Valores máximos admisibles

Valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, es un valor que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales (OEFA, 2014).

d) Coagulación química

Es el proceso de desestabilización de las partículas coloidales contenidas en el agua residual (Restrepo Osorno, 2009). Esta desestabilización química se origina por la neutralización de las fuerzas que mantienen separadas a las partículas debido a la adición de coagulantes químicos y a la aplicación de la energía de mezclado (Andía Cardenas, 2000).

e) Prueba o test de jarras

Es un método de simulación de los procesos de coagulación y floculación realizada a nivel de laboratorio, el que permite obtener agua de buena calidad, fácilmente separable por decantación (Andía Cardenas, 2000). Se puede definir también como un conjunto de vasos de precipitado

en los que a un volumen constante de agua se le adiciona diferentes dosis de coagulante y se ejecutan mezclas rápidas y lentas a través de un conjunto de paletas que componen el agitador múltiple, con las que se obtienen condiciones hidráulicas similares en todas las muestras (Barajas & León, 2015).

f) Dosis óptima de coagulante

Es la cantidad de coagulante a adicionar durante el proceso de tratamiento del agua, la cual debe de ser determinada con anterioridad; esta cantidad dependerá del grado de turbidez que presente el agua a tratar. Esta dosis es considerada como el volumen indicado de coagulante a una concentración determinada con la cual se logrará conseguir la formación de flóculos con mayor compactación y velocidad de sedimentación, lo que a su vez permitirá obtener un mayor porcentaje de reducción de la turbidez (Barajas & León, 2015).

g) Electrocoagulación

Es un proceso que utiliza la electricidad para la eliminación de contaminantes en el agua que se encuentran suspendidos, disueltos o emulsificados. El proceso consiste en inducir corriente eléctrica en el agua residual a través de placas metálicas paralelas, de diversos materiales; los más comunes son el hierro y aluminio. La corriente genera las reacciones químicas que desestabilizan a los contaminantes que se encuentran presentes en el agua residual (Arango Ruiz, 2005). La técnica se basa en la disolución electroquímica de los electrodos; la formación de iones hidróxido en el cátodo, mientras que los iones metálicos forman complejos con hidróxidos de hierro o aluminio, los cuales son coagulantes eficientes (Pérez-Sicairos, Morales-Cuevas, Félix-Navarro, & Hernández-Calderón, 2011). La generación de iones metálicos se da en el ánodo, mientras que en el cátodo hay a liberación de burbujas de hidrógeno gaseoso, las cuales ayudan a la flotación de las partículas floculadas (Arango Ruiz, 2005).

h) pH

Es la medida de la concentración de iones de hidrógeno del agua o agua residual, expresado como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno expresado en mg/L. Los valores de pH iguales a 7 indican una neutralidad de las aguas, pH inferior a 7 indican acides y pH con valores superiores a 7 indican basicidad (EPA, 1992).

i) Sólidos totales disueltos

Son la suma total de minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua. Es una medida del contenido de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en el líquido en forma molecular, ionizada o coloidal (Panachlor, 2017).

j) Sólidos suspendidos totales

Son partículas o sustancias que no se disuelven ni se asientan en el agua; no pueden pasar a través de un tamiz de dos micro centímetros y se encuentran suspendidos indefinidamente en una solución (Panachlor, 2017)

k) Sólidos sedimentables

Son los materiales de cualquier tamaño que no se mantienen suspendidos o disueltos y que no están sujetos a retención de movimiento, excluye tanto a los sólidos totales disueltos (TDS) y a los sólidos suspendidos totales (SS). Estos sólidos pueden incluir grandes partículas o moléculas insolubles (Panachlor, 2017)

l) Partículas coloidales

Se varconsidera así a las partículas con diámetros entre 10^{-6} y 10^{-9} m, estas partículas están conformadas por sólidos suspendidos de origen orgánico e inorgánico, sin embargo, presentan un menor tamaño, además de una velocidad de sedimentación más lenta (Romero & Vargas, 2007).

C. Antecedentes y Estado del Arte

El tratamiento de aguas residuales a nivel nacional aún no es completo. Según un estudio realizado sobre el estado actual del tratamiento y reúso de las aguas residuales, se menciona que la cobertura de tratamiento de las aguas residuales en el Perú es baja; aunque ha ido mejorando entre los años 2013 y 2015. Además, se indica que para finales del año 2015 la

cobertura nominal del tratamiento de aguas servidas del sector urbano fue de 70%. Asimismo, se señala que la legislación actual es inconsistente y en algunos casos es inadecuada o incompleta, ya que no existe una normativa nacional para el reúso de las aguas, por lo que actualmente se está empleando la de la OMS del año 2006. Del mismo modo indica que el control de las descargas industriales es limitado o inexistente, ya que no se ha comprobado dicho control en las descargas, lo que conlleva a que se presenten cargas orgánicas excesivas para las PTAR municipales en funcionamiento, las cuales asumen el costo de dicho tratamiento, y a su vez presentan problemas técnicos y operativos, por lo que su desempeño es deficiente (SUNASS, 2017).

En ciudad de Arequipa, específicamente en el Distrito de Cerro Colorado se tiene el problema del Parque Industrial de Río Seco, el cual inició décadas atrás con las industrias de curtido de pieles que estaban ubicadas en ese tiempo en la ribera del río Chili, dada esta situación la Gerencia Regional de Arequipa (GRA) decidió reubicarlas en el PIRS hace 30 años aproximadamente, asumiendo como compromiso inicial la construcción de seis lagunas de oxidación y una planta de tratamiento con el dinero obtenido de la venta de terrenos. Sin embargo, solo se logró construir dos lagunas, dado que los pagos por parte de los empresarios no fueron completados (GRA, 2015).

En la actualidad solo existe una laguna de oxidación culminada, la cual posee una capacidad de 28 000 m³ aproximadamente ha superado su capacidad más de una vez derivando así los efluentes que llegan a ella a la quebrada de Añashuayco. Debido al caudal que ha estado siendo vertido a dicha quebrada, y por diferentes amenazas de denuncias que recaerían sobre el Gobierno Regional y las empresas situadas en el PIRS, se acondicionó una segunda laguna y años más tarde se construyó una tercera, la cual no está implementada con geomembrana (Zevallos Valdivia, 2014).

En el PIRS se ubican una gran cantidad de fábricas de diferentes rubros de producción, entre ellas curtiembres y fábricas productoras de colágeno. Los efluentes provenientes de las diferentes fábricas son en su mayoría vertida al alcantarillado y este es conducido a las lagunas de oxidación, las cuales como se ha mencionado anteriormente no brindan un verdadero tratamiento, afectando así a poblaciones aledañas y generando impactos al ambiente. Las fábricas dedicadas a la producción de colágeno, colapez y cola animal obtienen su materia prima a partir de recortes de pieles de ganado vacuno. Este tipo de industria, generan efluentes

con características ácidas, alcalinas, con alto contenido orgánico (principalmente tejido conectivo no hidrolizado); los cuales son vertidos en su mayoría sin tratamiento previo alguno, superando así los límites establecidos en la normativa ambiental vigente (Chávez, 2013).

Para el tratamiento de los efluentes de industrias productoras de colapez, colágeno y cola animal, se tiene la investigación llevada a cabo por Chávez Linares (Chávez, 2013) quien trató estos efluentes utilizando un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) de acero inoxidable con un volumen de 18 L., el reactor presentó cuatro compartimientos; cada uno de estos con una capacidad volumétrica de 4,60 L. El reactor estuvo en operación durante 45 días, trabajando bajo condiciones mesofílicas en dos etapas: La primera etapa en Batch en donde se inoculó las bacterias provenientes de los lodos activados del reactor y la segunda etapa fue la puesta en marcha del reactor en donde se comenzó la circulación del efluente con un flujo de entrada de 25 ml/min con un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 12 horas, luego de este periodo se obtuvieron los resultados, notándose una reducción del valor de pH en un 25.5% ; temperatura en 10% ; salinidad, conductividad y SDT en un 30% aproximadamente; el oxígeno disuelto presento un aumento del 50%.

Existen distintos métodos para el tratamiento de aguas o efluentes residuales. Existen métodos convencionales, siendo más difundido y aplicado el de la coagulación química mediante la utilización de sales generalmente de aluminio o hierro. Como refiere (Song, Williams, & Edyvean, 2004) empleando este método con sulfato de aluminio y cloruro férrico para el tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre se pueden alcanzar eficiencias de remoción de entre un 38% y 46% de para sólidos en suspensión, un 30-37% de eliminación de DQO total. Así mismo, se pudo determinar que el cloruro férrico obtuvo mejores resultados que el sulfato de aluminio.

Además, existen métodos emergentes, los cuales están presentando resultados efectivos con procedimientos innovadores, entre ellos encontramos la coagulación floculación, el cual ha demostrado ser un buen pre-tratamiento para los efluentes hipersalinos, en especial para disminuir su DQO coloidal. (Ellouze, Amar, Boufi, & Salah, 2003), realizaron su investigación empleando la coagulación coloidal en efluentes de industrias procesadoras de calamar usando sulfato de aluminio a una concentración de 165 mg/L seguido de floculación con MgO a 750 mg/L y poli-dimetilo cloruro de amonio a 35 mg/L; logrando reducir la turbidez y la DQO del efluente en 7 NTU y 90% respectivamente.

Se realizó una comparación entre los procesos de electrocoagulación y coagulación convencional para el tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre artesanal; la electrocoagulación utilizó electrodos de hierro, aplicando una densidad de corriente de 0,4 A. y variando el tiempo de electrólisis de 0 a 40 minutos. Para la coagulación se utilizó el ión sulfato férrico. Los resultados obtenidos mostraron que las remociones más elevadas después de la electrocoagulación fueron 71,15; 98,26 y 86,59% para la DQO, el color y la turbidez respectivamente. La coagulación química obtuvo una disminución de la DQO de hasta 83.17%, mientras que las remociones de color y turbiedad fueron 99,81 y 98,62% respectivamente. Se señala además en la investigación que, si bien la coagulación química produce a valores más eficientes de remoción después del tratamiento, la electrocoagulación produce valores de pH casi neutros y también disminuye conductividad débilmente y que por el contrario, la coagulación química aumenta la acidez del efluente y su conductividad. Por lo tanto, debido a que el tratamiento de electrocoagulación presenta valores cercanos de pH neutro y valores de conductividad menores luego de ser aplicado, los efluentes tratados obtenidos pueden ser reciclados si se implementan tratamientos posteriores. (Tchamango, Kamdoun, Donfack, Babale, & Ngameni, 2016)

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

A. Tipo de investigación

De acuerdo al tipo de investigación realizada, el presente trabajo se considera como un trabajo de investigación aplicada cuantitativa, dado que, se ha trabajado en base a las necesidades y/o requerimientos reales de una industria de colapez, ubicada en el Parque Industrial de Río Seco.

1) Nivel de investigación

Por la naturaleza de la investigación, esta es considerada como un estudio descriptivo.

2) Metodología de investigación

La investigación realizada fue experimental, para lo cual se hizo uso de materiales y ensayos de laboratorio, los cuales permitieron obtener los resultados mostrados en el siguiente capítulo.

B. Campo de verificación

El presente estudio se realizó en el Parque Industrial de Río Seco (PIRS), ubicado en el distrito de Cerro Colorado en la provincia y departamento de Arequipa en el año 2019. La ubicación de la planta se muestra en el ANEXO I y sus coordenadas UTM WGS-84 (Zona 19K) son las siguientes:

- Norte: 8190450.00 m S
- Este: 223099.00 m E

C. Determinación de la población, muestra y muestreo

1) Población

La población motivo del presente trabajo de investigación está conformada por los efluentes de las fábricas o industrias de colapez, colágeno y cola animal, las cuales por el área de estudio elegido se encuentran ubicadas en el Parque Industrial de Río Seco (PIRS) en el distrito de Cerro Colorado – Arequipa; además, según información extraoficial de algunos propietarios este tipo de fábricas constituyen cerca del 5% del total de industrias existentes en el PIRS.

2) Muestra

La muestra utilizada fue el efluente tomado de la fábrica de colapez ubicada en el Parque Industrial de Río Seco, cuyas coordenadas de ubicación han sido mencionadas en el punto 3.2. Esta fábrica fue elegida ya que como se mencionó anteriormente, la presente investigación es de tipo aplicada, y dicha fábrica nos proporcionó la facilidad de realizar diferentes muestreos con el objetivo de que una vez concluido el presente trabajo de investigación, los datos resultantes puedan servirles para la implementación del tratamiento de sus efluentes industriales.

3) Muestreo

Los muestreos realizados fueron tomados al azar y obtenidos de un pozo colector ubicado al final del área de proceso, en dicho pozo se almacenó el efluente obtenido de las diferentes etapas del proceso productivo con la finalidad de obtener una muestra representativa y homogenizada de todas las etapas productivas.

D. Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos

1) Técnicas

- Registro de datos in situ
- Análisis de datos por terceros

2) Instrumentos

- Hojas de Microsoft Excel 2010
- Cuaderno de campo
- Informes de laboratorio
- SPSS v21
- Statgraphics XV

E. Materiales y equipos

1) Equipos

Multiparámetro marca YSI PROFESSIONAL PLUS/CABLE PRO10102030-4M, turbidímetro modelo VELP TB1 turbidimeter, balanza analítica marca Sartorius SECURA324-1S, Equipo de jarras con 6 agitadores (100 RPM/cu), fuente de alimentación marca PowerSupply (0-30V / 5A), multiparámetro marca Analytical Instruments modelo PHT-026.

2) Reactivos e insumos

150 gr. De Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) en grado industrial, 18 L. de agua destilada, 80 L. de efluente residual.

3) Material de vidrio

6 beakers de 50 ml., 6 botellas de vidrio de boca ancha autoclavables 1 L, 1 pipeta de 10 ml., 1 pipeta de 5 ml, 1 pipeta de 1 ml, 1 probeta graduada de 100 ml.

4) Otros

4 ice pack de 250 ml., 1 micropipetaEppendorf marca TopPettePipettor de 1000 μ L, 1 micropipetaEppendorf marca Dragonlab de 100 μ L, 1 propipeta, 6 cables de electricidad N° 14 de 0.5 m. de largo , 6 cocodrilos para batería, 1 cinta aislante, 2 válvulas de bola de agua $\frac{3}{4}$, puntas para micropipetas, 1 laptop Toshiba, 1 volutrol de 5 ml., 1 equipo de venocllisis, 1 caja de guantes de látex., 1 caja térmica de Tecnopor (29.50 cm. x 24.50 cm. x 23.50 cm.), 6 placas de aluminio de 2mm. de espesor (8,5cm. x 9,5 cm.), 6 “terminal de ojo” para cables eléctricos, 2 planchas de acrílico transparente de 2 mm. de espesor para la construcción de los sistemas.

F. Metodología

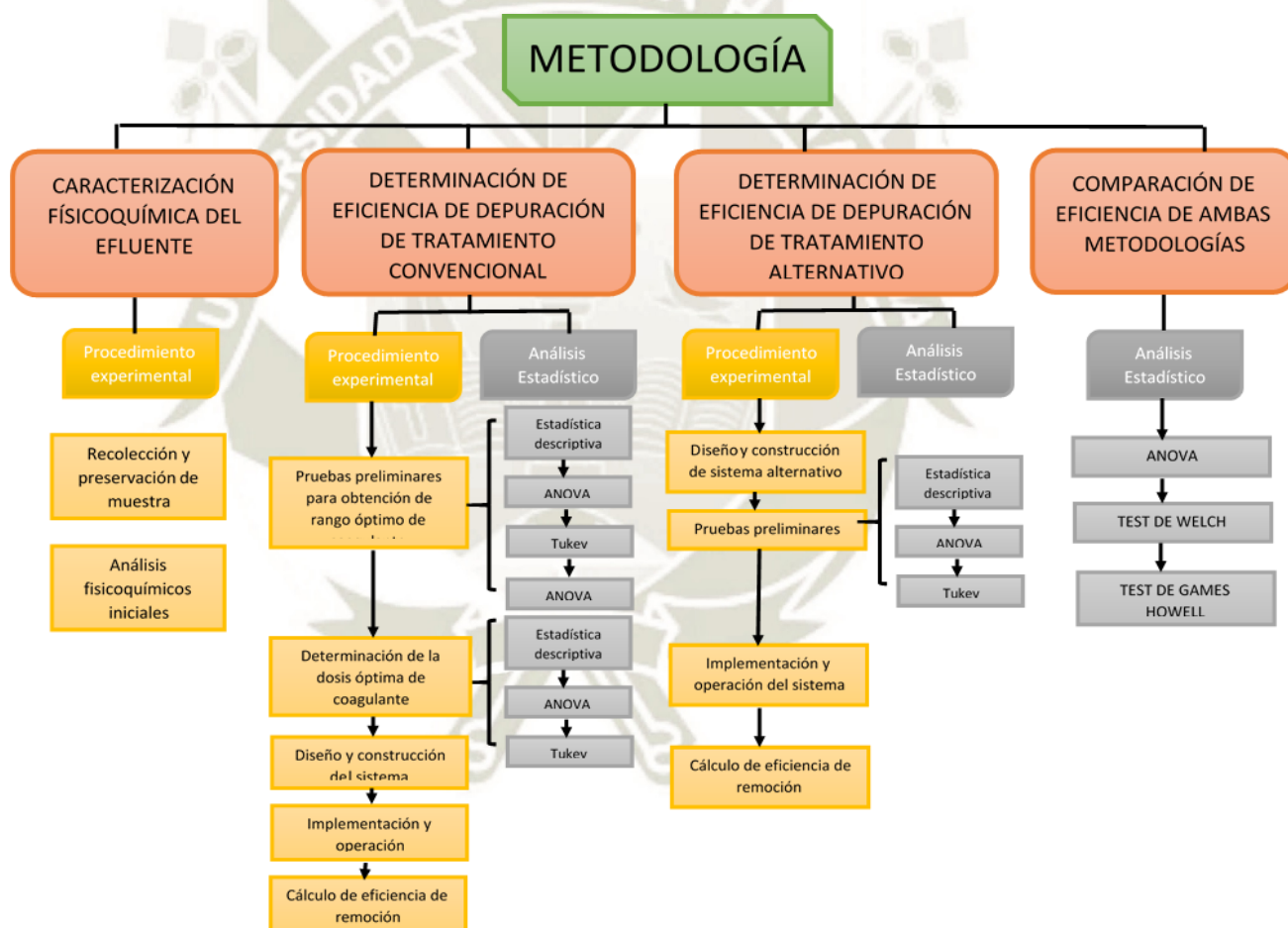


Fig. 1: Diagrama resumen de metodología.

1) Caracterización fisicoquímica de los efluentes residuales de centros productores de colapez, cola animal y derivados

a) Recolección y preservación de muestra del efluente

Las muestras del efluente fueron obtenidas de la fábrica productora de Colapez, Cola Animal y Derivados ubicada en el PIRS; dichas muestras fueron sacadas del pozo de recolección ubicado al costado del área de proceso; se eligió este punto de muestreo, dado que en este pozo convergen y se homogenizan las aguas salientes de las diferentes etapas del proceso, por lo que las muestras obtenidas se consideran representativas. Además, este pozo es el único punto de muestreo accesible, ya que actualmente la fábrica no cuenta con algún sistema de tratamiento y el agua saliente de las diferentes etapas del proceso son conducidas mediante canaletas.

Para la preservación de las muestras se siguió el Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales - R.D. 2254-2007-DIGESA-SA (DIGESA, 2007). La muestra fue tomada en seis frascos de vidrio con boca ancha autoclavables de 1 L de capacidad, los cuales fueron esterilizados previamente; asimismo 5 de ellos fueron cebados de acuerdo a lo que indica el protocolo y llenados hasta el tope de su capacidad, el último de los envases fue llenado sin enjuague previo, dado que este fue utilizado para el análisis de aceites y grasas, el cual se realizó para la caracterización del efluente.

Todas las muestras fueron rotuladas con plumón indeleble y se les colocó cinta de embalaje encima con la finalidad de evitar que el rotulado sea dañado. Finalmente, las botellas fueron colocadas en una caja térmica (coolers) a temperatura de 4°C agregando cuatro Ice Pack, los cuales fueron congelados con 24 horas antes. Dichas muestras fueron llevadas al Laboratorio de Análisis de Calidad de Agua de la Universidad Católica de Santa María para los análisis físico-químicos correspondientes.

Los parámetros de campo tales como: Conductividad, pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto fueron medidos utilizando un multiparámetro marca YSI PROFESSIONAL PLUS/CABLE PRO10102030-4M, el cual fue calibrado en campo antes de realizar las mediciones. Dichas mediciones fueron realizadas en intervalos de tiempo de 10 minutos por un periodo de 90 minutos. Asimismo, se registró la turbidez utilizando un turbidímetro marca VELP Scientifica TB 1.

b) Análisis físico-químicos iniciales del efluente

Los análisis físico-químicos iniciales del efluente crudo fueron realizados en el Laboratorio de Ensayo y Control de la Calidad de la Universidad Católica de Santa María, emitiendo el respectivo informe (ANEXO V), además el encargado de la fábrica nos proporcionó una copia de los resultados de los análisis realizados por la empresa anteriormente. Los parámetros analizados fueron: a) Demanda Química de Oxígeno mediante el método NMX-AA-030-SCFI-2001 (NMMX-AA-026-SCFI-2001, 2001); b) Sólidos en Suspensión Total mediante el cálculo (NMX-F-527-1992, 1992); c) Sólidos Sedimentables mediante el AOAC Official Method (AOAC, 2011b); d) Aceites y grasas mediante el método 5520e Soxhlet Extraction Method Standards Methods for the Examination of water and waste water Usa AphaWdc 2005 (APHA, 2005a); e) Nitrógeno Amoniacal mediante el método (NMMX-AA-026-SCFI-2001, 2001); f) Sólidos totales mediante el método AOAC Official Method 920, 193 Solids in Water (AOAC, 2011a); g) turbiedad utilizando el método Nefelométrico (APHA, 2005b); h) Sólidos en solución mediante el método AOAC Official Method 920, 193 Solids in Water (AOAC, 2011a); i) Demanda Bioquímica de Oxígeno mediante el método (NMX-AA-028-SCFI-2001, 2001).

2) Determinación de la eficiencia de depuración del tratamiento fisicoquímico convencional en los parámetros de pH, sólidos y turbidez

a) Pruebas preliminares para la obtención del rango de dosis óptima de coagulante.

Se realizaron pruebas preliminares para conocer el rango en el que se ubicaría la dosis óptima de coagulante así como el tiempo óptimo de contacto de mezcla y sedimentación; para lo cual se utilizó la metodología del Test de Jarras (Suarez, Lema, & Omil, 2009). En estas pruebas preliminares se utilizaron 6 beakers con capacidad de 50 ml., los cuales fueron llenados con la muestra del efluente a tratar. Se realizaron cuatro ensayos por triplicado cada uno. Antes de realizar cada ensayo se midió la turbidez inicial del efluente utilizando el turbidímetro VELP TB1 turbidimeter. La dosis del coagulante utilizado (Sulfato de Aluminio) se varió desde 0,5 g. a 6,0 g. En el primer ensayo se trabajó con dosis de Sulfato de Aluminio desde 0,5 g. hasta 3,0 g con un tiempo de contacto y sedimentación de 10 minutos cada uno. Para el segundo ensayo se utilizó las mismas dosis que en el primer ensayo, pero se varió el tiempo de contacto y de sedimentación, utilizando un tiempo de contacto y sedimentación de 15 minutos. Para el tercer ensayo se utilizaron dosis desde 3,5 g. hasta 6,0 g., con un tiempo de contacto y sedimentación de 10 minutos cada uno; para el cuarto ensayo se utilizó las dosis antes mencionadas, pero se varió el tiempo de contacto y sedimentación, utilizando un tiempo de 15

minutos. Luego de cada ensayo se tomaron los valores de turbidez y pH para cada beacker y se seleccionaron las dosis que mejores resultados arrojaron.

Para el análisis estadístico se realizó la estadística descriptiva para los ensayos correspondientes obteniendo el valor del promedio, desviación estándar, etc. Posteriormente se efectuó un Análisis de Varianza (ANOVA) para las dosis trabajadas con tiempos de agitación de 10 y 15 minutos, para conocer si existió diferencias estadísticamente significativas entre las dosis y tiempos trabajados. Una vez obtenidos los resultados se aplicó comparaciones múltiples utilizando el Test de Tukey, este test se utilizó con el propósito de conocer que dosis de las trabajadas presentaban mejores resultados de remoción; finalmente se aplicó ANOVA, el cual nos permitió saber si existió diferencias significativas entre las mejores dosis seleccionadas mediante el Test de Tuckey, de tal modo que se pudo obtener el rango de dosis de coagulante adecuado. Para el procesamiento de datos se utilizó los programas Statgraphics y SPSS 21.

b) Determinación de la dosis óptima de coagulante

La determinación de la dosis óptima de coagulante fue obtenida utilizando la metodología del Test de Jarras (Suarez et al., 2009). para lo cual se tomó en cuenta los ensayos o pruebas preliminares realizadas, de las que se pudo estimar el rango aproximado de la dosis óptima de coagulante. Se realizaron seis ensayos con cinco repeticiones cada uno. Para la adición del coagulante se preparó en una fiola de 100 ml. una solución de 10 gr/L de Sulfato de Aluminio, variando la dosis de coagulante desde 80 ppm a 90 ppm, utilizando tiempos de contacto y sedimentación de 10 y 15 minutos. Posteriormente a cada ensayo ejecutado se midió la turbidez, el pH, Sólidos totales y temperatura de cada beacker.

Para el análisis estadístico se desarrolló la estadística descriptiva para los ensayos ejecutados obteniendo los valores del promedio, desviación estándar, etc. para los parámetros de pH, turbidez y SST. Para cada uno de estos parámetros se sacó un Análisis de Varianza (ANOVA) para cada tiempo trabajado (10 y 15 minutos), con el propósito de conocer si existe una diferencia estadísticamente significativa. Posteriormente se realizaron comparaciones múltiples utilizando el Test de Tukey para comparar los resultados obtenidos a diferentes concentraciones de los tres parámetros evaluados (pH, Turbidez y SST), con la finalidad de elegir aquella dosis que mejores resultados arrojaron y menores costos implica; para el procesamiento de datos se utilizó los programas Statgraphics y SPSS v.21.

c) Diseño y construcción del sistema de tratamiento convencional de coagulación-floculación

El diseño del sistema de tratamiento convencional se basó en la investigación realizada por (Suarez et al., 2009). El diseño se realizó a escala laboratorio, el material con el que se fabricó la construcción del sistema fue de acrílico de 2 mm. de espesor. El sistema contó con tres compartimientos, los dos primeros destinados para realizar la operación de coagulación y el tercero para la decantación de las aguas, este último constituyó un decantador lamelar compuesto por siete lamelas separadas entre ellas por 1,7 cm. con un ángulo de 45°, este compartimiento tuvo la forma de un prisma con base piramidal, en la punta de la base se ubicó una válvula de bola de agua de ¾ para la evacuación del agua tratada. Los compartimientos fueron separados entre sí por compuertas hechas del mismo material. Se adaptó dos agitadores inalámbricos, los cuales tuvieron una velocidad de agitación de 100 RPM, estos fueron colocados en dos soportes realizados con material INOX. Estos agitadores tuvieron la propiedad de poder ser colocados o retirados según la necesidad o uso del número de compartimientos. A continuación, se muestra las dimensiones del diseño y el esquema del mismo.

Tabla 9: Dimensiones del sistema de tratamiento convencional coagulación-floculación

Compartimientos	Lado (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Área de la base (cm ²)	Volumen (cm ³)	Volumen total (cm ³)
Compartimiento 1: Coagulación - Floculación	10	10	15	-	1500	3000
Compartimiento 2: Coagulación - Floculación	10	10	15	-	1500	
Compartimiento 3: Parte cúbica	20	20	15	-	6000	6800
Decantador lamelar Parte piramidal	20	-	6	400	800	

Fuente: Elaboración propia.

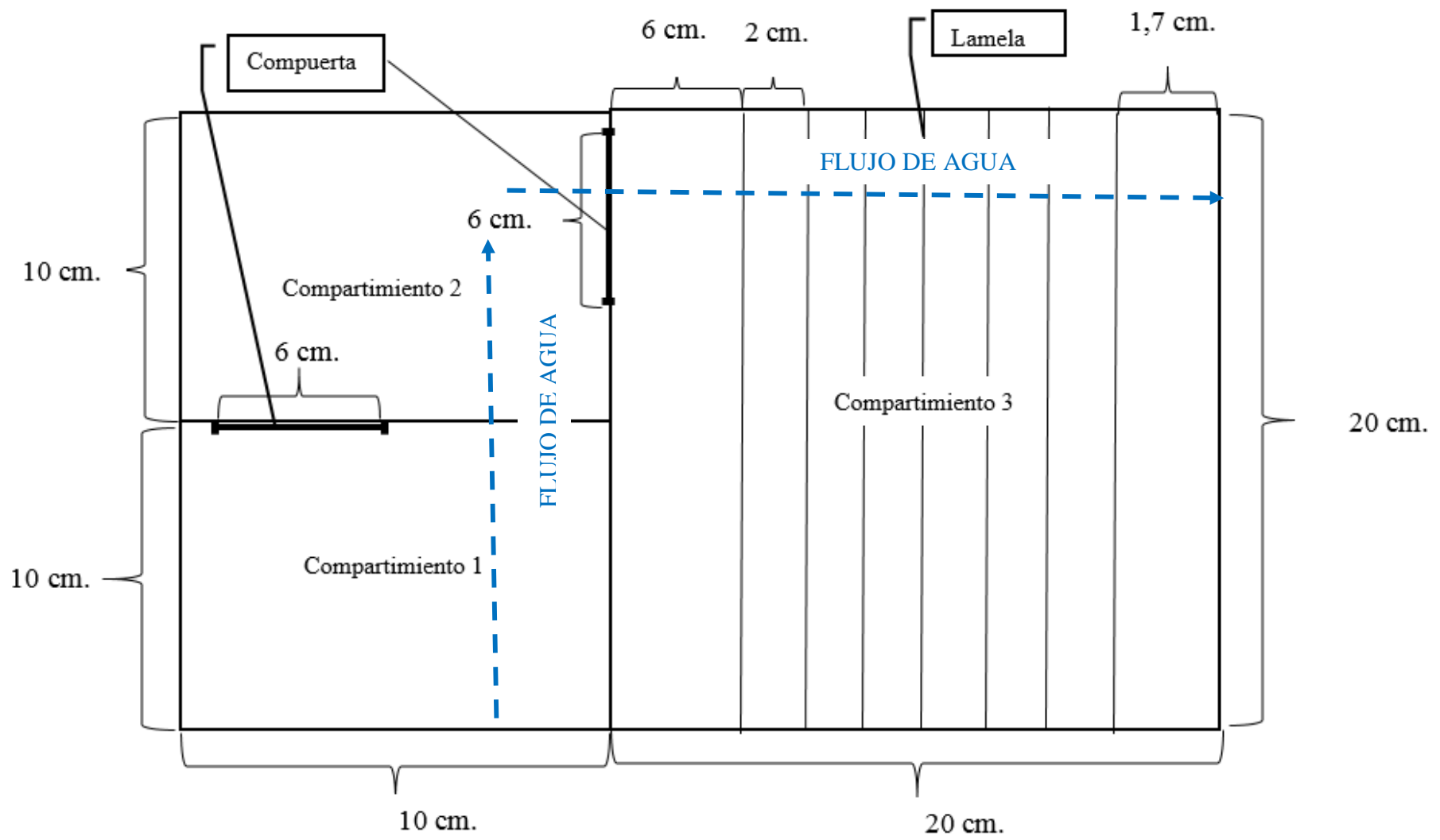


Figura 2: Vista aérea del sistema de tratamiento convencional.

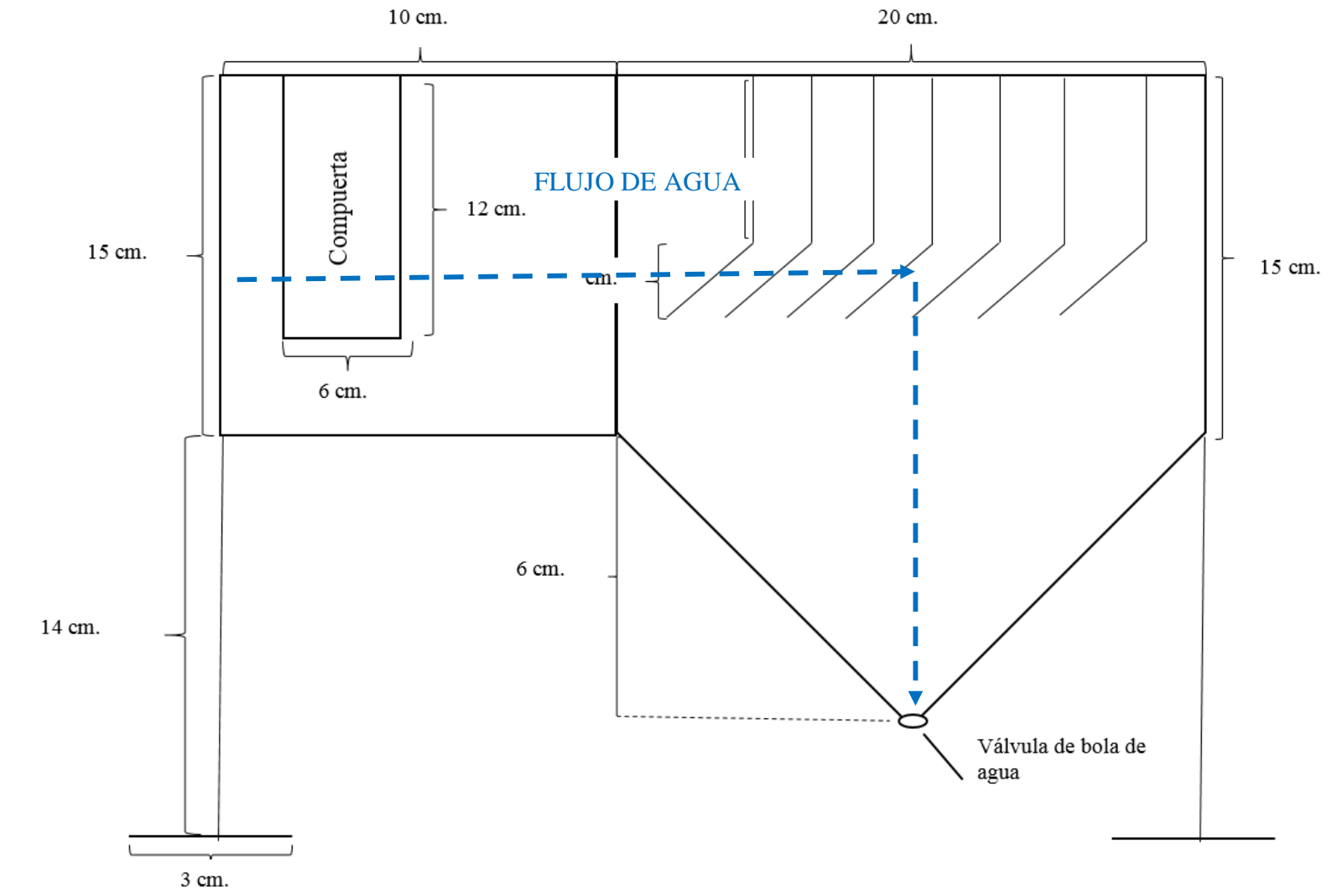


Figura 3: Vista frontal del sistema de tratamiento convencional

d) Implementación y operación del Sistema de tratamiento convencional

Para la implementación del sistema se colocó la estructura hecha en acrílico en un mesón y se le acopló los agitadores inalámbricos en los compartimientos 1 y 2, dichos agitadores presentaron una velocidad de agitación de 100 RPM. El sistema se trabajó con 3 L. de efluente residual. Para la adición del coagulante, se preparó una solución concentrada de este partiendo de la dosis óptima hallada; para lo cual se preparó y colocó en un volutrol 0,258 gr. de Sulfato de Aluminio por cada mililitro de agua destilada contenida en este, de tal manera que por cada 3L. de efluente a tratar se le tenía que adicionar 1 ml. de solución concentrada de coagulante. El coagulante fue añadido al sistema utilizando un equipo de venoclisis, el cual en la punta tenía una aguja de glucosa; dicho equipo de venoclisis fue colocado en la compuerta de los compartimientos 1 y 2 del sistema.

La operación del sistema fue trabajada con 15 minutos de agitación y 15 de sedimentación, para lo cual, se llenó los 3 L. de efluente a tratar y se acopló los agitadores en los compartimientos 1 y 2; una vez acoplados se encendieron y se añadió la solución de coagulante concentrado mediante goteo, durante 5 minutos. Posteriormente se continuó con la agitación por un periodo de 10 minutos, hasta completar los 15 minutos de contacto. A continuación, se abrió la compuerta 2, la cual conecta los compartimientos 2 y 3 (decantador Lamelar) y se dejó pasar el agua para que pudiese decantar en este tercer compartimiento; una vez lista el agua en el tercer compartimiento se dejó reposar por 15 minutos, tomándose al concluir dicho tiempo la muestra de agua tratada para mandarla a analizar. La toma de muestra fue por duplicado, tomando in situ el valor de pH y mandando analizar 1L por cada muestra tomada al Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María, considerando los siguientes parámetros: Turbidez, Sólidos Sedimentables, Sólidos totales, Sólidos en suspensión y sólidos en solución.

e) Cálculo de la eficiencia de remoción de contaminantes

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio se procedió a calcular la eficiencia de remoción de los contaminantes, para lo cual se tomó el promedio de los resultados iniciales, efluente antes de tratar (uno de ellos proporcionado por la empresa y otro analizado con fines de esta

investigación) y el promedio de los valores resultantes del agua tratada. El cálculo de la eficiencia se realizó utilizando la siguiente ecuación:

$$\%Remoción = \frac{C_o - C_f}{C_o} \times 100 \quad (13)$$

Donde:

- C_o : Concentración inicial del parámetro
- C_f : Concentración final del parámetro

Los parámetros evaluados son: pH, Turbidez, Sólidos Sedimentables, Sólidos totales, Sólidos en suspensión y sólidos en solución.

3) Determinación de la eficiencia de depuración del tratamiento alternativo de electrocoagulación en los parámetros de sólidos y turbidez

a) Diseño y construcción del tratamiento alternativo de electrocoagulación

El diseño del sistema se basó al igual que con el sistema convencional en la investigación realizada por (Suarez et al., 2009). Se diseñó también a escala laboratorio; el material de fabricación fue de acrílico de 2 mm. de espesor. El sistema contó con dos compartimientos, el primero de ellos fue la celda de electrocoagulación, la cual contaba en su base con un soporte para el colocado de los electrodos, dicho soporte fue hecho del mismo material que el sistema. El segundo compartimiento presentó una compuerta, que permitía la conexión con el primer compartimiento; este compartimiento fue el decantador Lamelar, el cual al igual que con el sistema de tratamiento convencional contó con siete lamelas separadas entre ellas a 1,7 cm. de distancia, con ángulo de 45°. Este compartimiento a su vez tuvo la forma de un prisma con base piramidal, en la punta de este se colocó una válvula de bola de agua de 3/4, la cual permitió la evacuación y toma de muestra del efluente tratado. Además, se hizo la fabricación de 6 cables (N°14) unidos en un extremo con un accesorio eléctrico denominado “terminal de ojo” y por el otro extremo con el accesorio eléctrico denominado “cocodrilo”; estos cables fueron conectados a la fuente de alimentación y a los electrodos. A continuación, se muestra las dimensiones del diseño realizado y el esquema del mismo:

Tabla 10: Dimensiones del sistema de tratamiento alternativo, electrocoagulación

Compartimientos	Lado (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Área de la base (cm ²)	Volumen (cm ³)	Volumen total (cm ³)
Compartimiento 1: Celda de electrocoagulación	20	10	15	-	3000	3000
Compartimiento 2:						
Parte cúbica	20	20	15	-	6000	6800
Decantador lamelar	20	-	6	400	800	

Fuente: Elaboración propia.



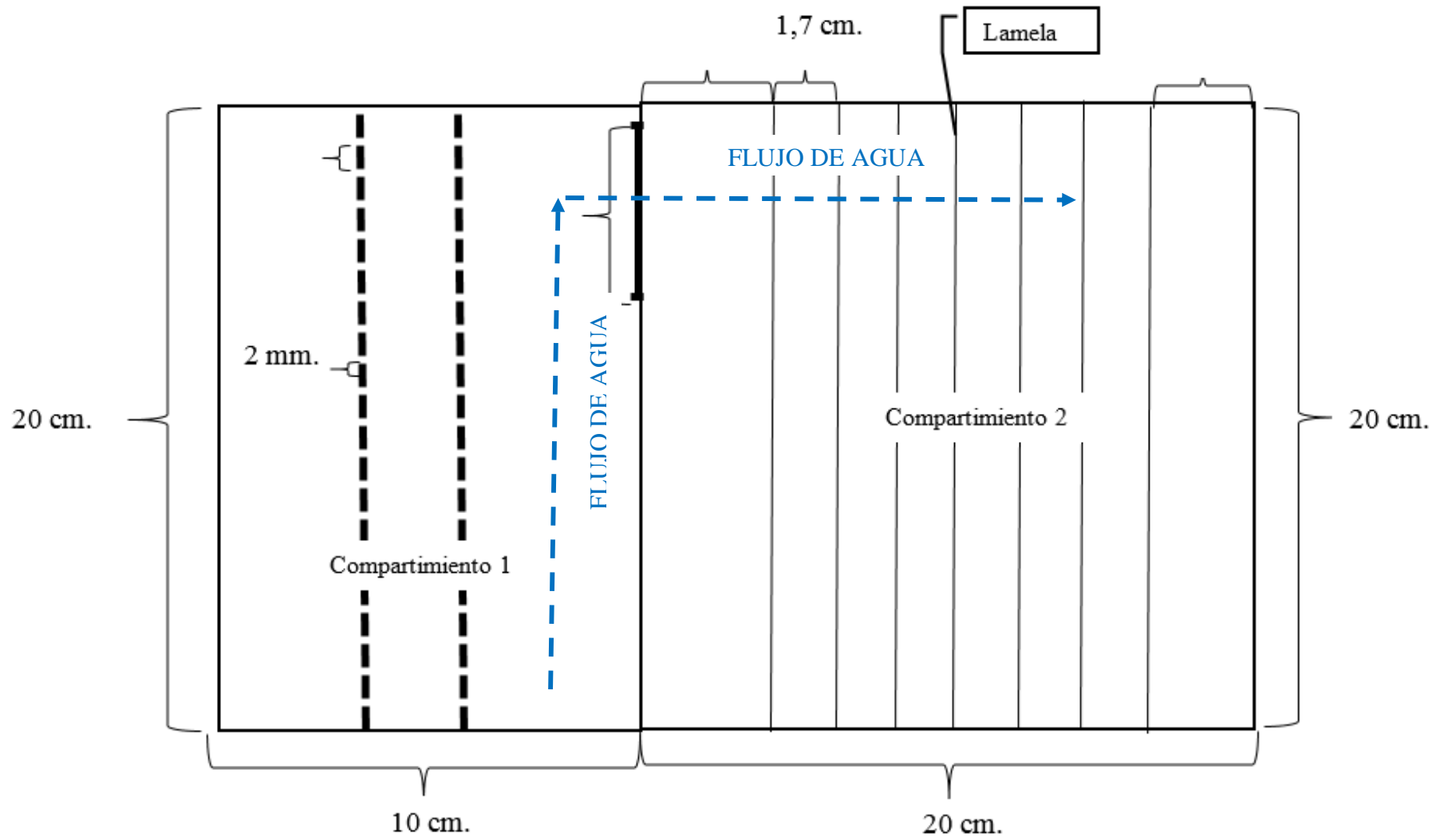


Figura 4: Vista aérea del sistema de tratamiento alternativo

b) Pruebas preliminares

Se trabajó con un sistema alternativa fabricado de acrílico, en este sistema se realizaron pruebas preliminares, para determinar el número de pares de electrodos que mejores resultaron presentaron. Primero se instalaron los cables en la fuente de alimentación (marca Power), forrando los cocodrilos conectados en los electrodos con cinta aislante, con el propósito de que el metal no tuviera contacto con el agua y no se oxidara. Inicialmente se pesaron todos los electrodos para obtener sus masas iniciales antes de ser colocadas en el sistema, asimismo se midió los valores de la turbidez y SST del efluente sin tratar. Se realizaron dos pruebas preliminares, cada una de ellas por triplicado. En la primera prueba se trabajó con dos pares de electrodos, los cuales fueron colocados de manera intercalada, es decir, ánodo-cátodo-ánodo-cátodo, trabajándose con un tiempo de contacto y sedimentación de 15 minutos, una vez concluido el ensayo se tomó con ayuda del multiparámetro los valores de sólidos y con el turbidímetro el valor de la turbidez, a su vez se pesó nuevamente los electrodos para conocer su masa final. El segundo ensayo se realizó con tres pares de electrodos, colocados intercaladamente, el tiempo de contacto y sedimentación fue también de 15 minutos, una vez finalizado el tiempo, se tomaron los valores de sólidos y turbidez, y la masa final de los electrodos.

Para el procesamiento estadístico de datos de las pruebas preliminares se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) tomando como covariable a los valores iniciales del efluente, ya que esta pudo influir en los resultados finales. Se realizó el Análisis de Varianza para los parámetros de Turbidez y SST. Posteriormente se realizaron comparaciones múltiples para evaluar los resultados de Turbidez y SST con 2 y 3 pares de electrodos, con la finalidad de determinar cuál de estos arrojó mejores resultados y seleccionar así el número de cátodos con los que se trabajaría el sistema alternativo. Para el procesamiento de los datos se utilizó los programas Statgraphics y SPSS 21.

c) Implementación y operación del Sistema de tratamiento alternativo

Para la implementación del sistema se colocó la estructura hecha en acrílico en un mesón y al costado de este la fuente de alimentación marca Power de 5A. Se instalaron los cables en la fuente de alimentación, considerando que por cada par de electrodos uno sería positivo y el otro negativo. Para la operación del sistema se repitieron las condiciones de operación del sistema convencional, es decir, se trabajó con 3L de efluente y con tiempo de contacto y sedimentación

de 15 minutos cada uno. Con los resultados de las pruebas preliminares, se decidió trabajar con tres pares de electrodos; para lo cual, se pesó cada uno de estos obteniendo su masa inicial. Posteriormente fueron instalados en el sistema de manera intercalada, es decir, ánodo-cátodo-ánodo-cátodo-ánodo-cátodo. Se prendió la fuente de alimentación y se trabajó con un tiempo de contacto de 15 minutos, una vez completado dicho tiempo, se desconectaron los electrodos y se retiró la espuma que se formó en la parte superior de la celda de electrocoagulación. Luego se abrió la compuerta y se dejó pasar el agua hacia el compartimiento del decantador, una vez el agua allí se dejó decantar por 15 minutos, concluido el tiempo se tomaron dos muestras, cada una de 1L. de efluente tratado, con el objeto de mandarlas analizar al Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María. Adicionalmente se pesaron y anotaron las masas de los electrodos, para los análisis los parámetros considerados fueron: Turbidez, Sólidos Sedimentables, Sólidos totales, Sólidos en suspensión y sólidos en solución.

d) Cálculo de la eficiencia de remoción de contaminantes

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio se procedió a calcular la eficiencia de remoción de los contaminantes, para lo cual se tomó el promedio de los resultados iniciales, efluente antes de tratar (uno de ellos proporcionado por la empresa y otro analizado con fines de esta investigación) y el promedio de los valores resultantes del agua tratada. El cálculo de la eficiencia se realizó utilizando la siguiente ecuación:

$$\%Remoción = \frac{C_o - C_f}{C_o} \times 100 \quad (13)$$

Donde:

- C_o : Concentración inicial del parámetro
- C_f : Concentración final del parámetro

Los parámetros evaluados son: pH, Turbidez, Sólidos Sedimentables, Sólidos totales, Sólidos en suspensión y sólidos en solución.

4) Comparación de la eficiencia de ambas metodologías para el tratamiento de efluentes de industria de colapex en los parámetros de Sólidos y Turbidez

a) Análisis estadístico de Resultados finales

Para la comparación de la eficiencia de ambas metodologías se procedió a realizar un Análisis de varianza utilizando el programa Spss 21, sin embargo, se observó que las varianzas presentaban diferencias, por lo que se procedió a realizar una revisión de varianza y aplicar el Test de Welch, el cual se aplica cuando se tienen muestras normales, pero con varianza diferente; una vez obtenidos los datos del Test de Welch, se realizaron comparaciones múltiples entre los valores de los parámetros del efluente sin tratar, los resultados obtenidos mediante el tratamiento convencional de coagulación química y los resultados obtenidos con electrocoagulación; para realizar esta comparación se utilizó la prueba de Games Howell ya que como se explicó anteriormente, las varianzas eran diferentes, por lo tanto para ajustar y comparar dichas varianzas se aplicó esta prueba y conocer así si existe una diferencia significativa entre los resultados obtenidos con el tratamiento de coagulación química y el de electrocoagulación.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

A. Caracterización fisicoquímica del efluente residual generado por la fábrica de cola animal, colapez y derivados

Para realizar la caracterización fisicoquímica del efluente de estudio, se realizó el muestreo de este, por lo que se recolectó la muestra del efluente del pozo de recolección de la fábrica productora de colágeno. In situ se tomaron los datos de campo tales como Temperatura y pH. En la Figura 6: Muestreo del efluente de estudio. A) Pozo de recolección de muestra del efluente de fábrica de colágeno; B) Llenado de frascos con el efluente de estudio para análisis correspondientes

se observan imágenes de los muestreos realizados, observándose en A) el pozo de recolección del efluente de la fábrica de colágeno, en donde se tomaron también los parámetros de campo y en B) se observa el llenado de los frascos con el efluente de estudio, en donde se aprecia también la coloración que este presenta.

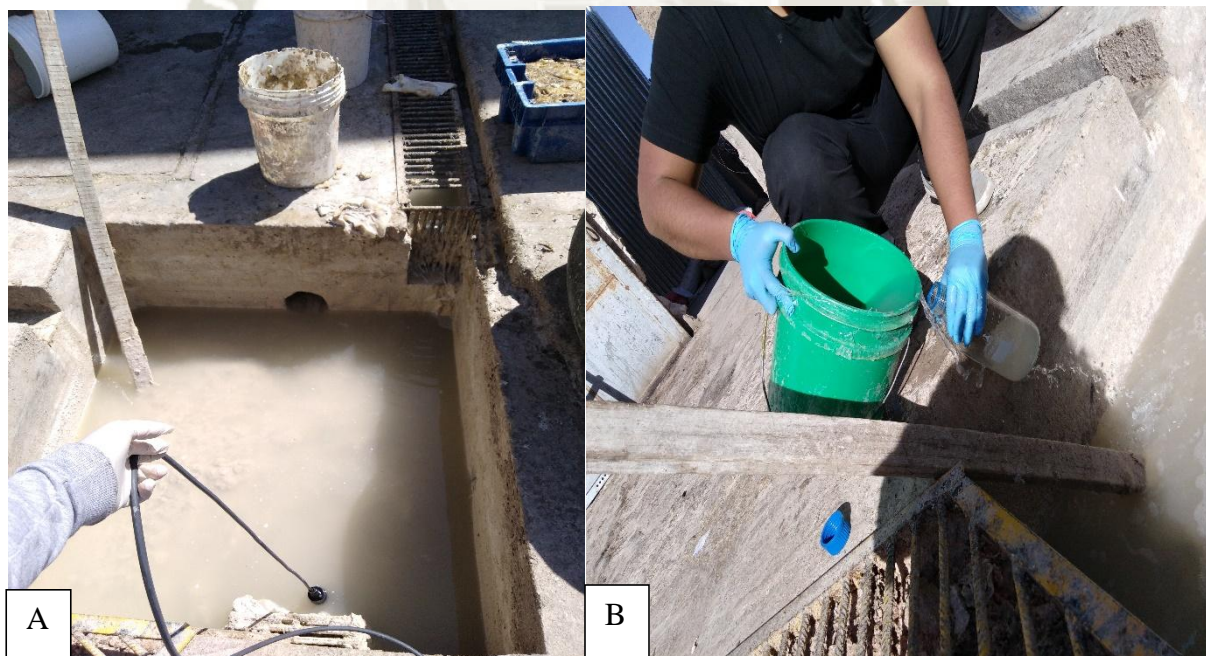


Figura 6: Muestreo del efluente de estudio. A) Pozo de recolección de muestra del efluente de fábrica de colágeno; B) Llenado de frascos con el efluente de estudio para análisis correspondientes

La caracterización fisicoquímica del efluente fue realizada en las dos épocas de producción de la fábrica. La primera de ellas corresponde a una época baja de producción la cual se da entre

los meses de Diciembre a Marzo de cada año y la segunda época es una época de producción normal que se da durante los meses de Abril a Noviembre; estas épocas de producción dependen de las condiciones meteorológicas existentes en la ciudad, dado que como se ha mencionó, el secado de la materia prima se realiza mediante secado natural o a la intemperie. Es por ello que durante los meses de lluvia en la ciudad (generalmente Diciembre a Marzo), la producción de la fábrica baja, ya que el tiempo de secado del producto es mayor. En la Tabla 11 se muestra los resultados de los muestreos ejecutados, estos fueron realizados en el Laboratorio de Ensayo y Control de la Calidad de la Universidad Católica de Santa María, sólo el valor de pH fue tomado durante la toma de muestra:

Tabla 11: *Resultados fisicoquímicos de la caracterización del efluente*

Parámetro	Unidad	Muestreo Época de Baja Producción	Muestreo Época de Normal Producción	Valor Máximo Admisible (VMA)
Sólidos Totales	mg/L	8460,0	5350,0	--
Sólidos en Solución	mg/L	1855,0	5198,0	--
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	11,0	40,0	8,5
Aceites y Grasas	mg/L	28,0	22,0	100
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	75,87	455,75	80
Sólidos en Suspensión	mg/L	752,0	152,0	500
Turbiedad	NTU	30,7	465,0	--
Demanda Química de Oxígeno	DQO mg/L	75,76	999,68	1000,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO ₅ ppm	36,0	475,0	500,0
Cromo	mg/L	No detectable (<0,001)	No detectable (<0,001)	10,0
pH	Unidad de pH	12,03	12,4	6-9

Datos del análisis de laboratorio

Según la caracterización inicial del efluente se puede apreciar que los valores de pH, Sólidos Sedimentables, Sólidos en Suspensión y Nitrógeno Amoniacal superan los Valores Máximos Establecidos por los valores máximos permisibles (VMA) (D.S.N 010 2019 VIVIENDA, 2019). Además, se puede apreciar valores elevados en los parámetros de Sólidos Totales y Sólidos en Solución, sin embargo, estos parámetros no presentan un valor máximo establecido

en nuestra normativa nacional, pudiendo generar graves problemas tales como la obstrucción de tuberías o la formación de carbonatos de calcio en ellas (Lazo Cuentas, 2017), lo cual implicaría mayor dificultad y costos para el tratamiento de efluentes.

Las características del efluente en cuanto a su composición fisicoquímica son similares a las de una industria de cuero, con la diferencia que el efluente de la industria de colágeno en comparación con la de cuero, no presenta residuos de cromo, tal como se puede constatar en los resultados mostrados en la tabla anterior, los cuales fueron emitidos por el Laboratorio de Ensayo y Control de la Calidad de la Universidad Católica de Santa María. Esta comparación se puede realizar, dado que como se mencionó, la producción de colágeno se obtiene a partir de los subproductos no curtidos de esta industria, tales como retazos o carnazas de la piel de ganado vacuno, los cuales presentan una elevada composición de colágeno (proteína). (Kanagaraj et al., 2006) Algunos estudios realizados sobre la caracterización de efluentes de la industria de cuero presentan valores de Sólidos Suspendidos entre 2000- 3000 mg/L y pH entre 8-11 (Zhao & Chen, 2019), los cuales son comparables con los resultados de nuestro efluente, los que se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, además, (Chávez, 2013) presenta valores de SDT de $1121 \pm 9,2$ mg/L. y pH $10,25 \pm 0,1$.

Los valores elevados de sólidos en el efluente se presentan básicamente, por el tipo de materia prima con la que se trabaja ya que, al producirse colágeno, el efluente presenta grandes cantidades de este. En la investigación realizada por (Chávez, 2013), se menciona que la presencia de sólidos en la muestra es “característica del efluente, ya que esta contiene colágeno no hidrolizado, así como sales y algunas grasas”, esto sustenta los valores elevados de sólidos.

En cuanto a los valores de pH, el efluente es altamente alcalino, obteniendo valores de 12,03 y 12,4; estos valores se deben, al uso de Cal (Óxido de Calcio) durante la actividad de Caleo en el proceso productivo, ya que el agua de proceso obtenida en esta etapa es directamente vertida y transporta hacia la poza de colección en donde se mezcla con el resto del efluente de proceso. Asimismo (Chávez, 2013) menciona que el pH alcalino característico de una fábrica de colágeno hidrolizado es debido al uso de Hidróxido de Calcio, dado que este no se reutiliza en el proceso y por el contrario es vertido directamente. Si comparamos nuestro efluente con un efluente de industria de cuero, este, también es altamente alcalino, por la presencia de materia orgánica, sólidos en suspensión y además presenta color profundo (Zhao & Chen, 2019), estas características son propias también del efluente de estudio, pudiéndose observar el color del efluente en la siguiente figura:



Figura 7: Efluente de fábrica de colapez, cola animal y derivados

En cuanto a los valores de turbidez, si bien no existe un valor máximo establecido en la normativa peruana, este parámetro está relacionado con los Sólidos Suspendidos Totales (SST), ya que la turbidez se ve influenciada por dichos sólidos, así como por la forma, tamaño, distribución de partículas y el espectro de absorción; encontrándose generalmente una relación proporcional entre los valores de TSS y turbidez International Association of Dredging Companies (IADC, 2007). Para la muestra tomada en época de baja producción encontramos que existe una mayor presencia de Sólidos en Suspensión que de Sólidos en Solución, lo cual está relacionado con el bajo valor de turbidez que presenta dicha muestra (30,7 NTU) mientras que para la época de Normal Producción es de 465,0 NTU. La importancia de la medición de la turbidez, es que, a mayor turbidez, existe menor penetración de luz (IADC, 2007), esto sumado con la cantidad de materia orgánica que es característica de nuestro efluente por el la presencia de colágeno no hidrolizado (Chávez, 2013), podría aumentar la posibilidad de crear condiciones anóxicas en el agua residual.

B. Determinación de la eficiencia de depuración del tratamiento fisicoquímico convencional en los parámetros de sólidos, turbidez y pH

1) Pruebas preliminares para la obtención del rango de dosis óptima de coagulante

Se realizaron pruebas preliminares para estimar el rango en el cual se encontraría la dosis de coagulante óptimo; para esto se aplicó la metodología del Test de Jarras. Al inicio de cada ensayo se midió el valor de la turbidez, utilizando un Turbidímetro marca VELP este parámetro

fue elegido para su medición constante, ya que tiene relación con el proceso de coagulación-floculación, tal como se menciona en los estudios realizados por (IADC, 2007) y (Guzmán, Villabona, Tejada, & García, 2013), en donde el último indica que “los sólidos suspendidos son los responsables de la turbidez y color del agua” y que “la remoción de la turbidez y de organismos en el agua involucra la eliminación de impurezas que están cargadas negativamente”; por lo tanto, durante la coagulación y floculación, es importante remover las partículas responsables de producir dicha turbiedad; es por ello, que se tiene una relación directa entre la cantidad de sólidos suspendidos y el valor de la turbiedad; y por lo tanto, debido a las características que presenta el efluente es necesario eliminar la mayor cantidad de sólidos, y una forma de cuantificar los sólidos que se están eliminando es midiendo el valor de la turbiedad, además este parámetro es práctico de medir

Se realizaron diversos ensayos preliminares por triplicado, en los cuales se varió la dosis de coagulante (20, 40, 60, 80, 100 y 120 ppm) y el tiempo de contacto (agitación) y sedimentación entre 10 y 15 minutos, estos resultados se presentan en el ANEXO III.



Figura 8: Ensayos preliminares - Test de jarras

Para el procesamiento de los resultados se utilizó un Análisis de Varianza (ANOVA) con una confianza del 95%; posteriormente se aplicó comparaciones múltiples utilizando el Test de Tukey entre las dosis de coagulante que mejores resultados arrojaron (80 ppm y 120 ppm), para determinar si existía o no diferencias significativas entre estas, encontrándose así que no existió diferencia significativa trabajando con un 95% de confianza ya que el valor-p fue de 0.9918.

Tabla 12: Comparaciones múltiples para tiempos de 10 y 15 minutos

Dosis (ppm)	Agitación 10 minutos Sedimentación 10 minutos	Agitación 15 minutos Sedimentación 15 minutos
20	250.444+/-7.04 ^{ab}	263.556+/-10.73 ^b
40	245.889+/-3.79 ^{ab}	248.667+/-5.89 ^{ab}
60	266.222+/-13.61 ^c	254.556+/-9.45 ^{ab}
80	244.333+/-21.8 ^a	238.444+/-8.12 ^a
100	255.333+/-6.23 ^{ab}	248.111+/-6.88 ^{ab}
120	242.222+/-10.14 ^a	246.667+/-11.4 ^a

Nota: Las comparaciones se realizan de manera vertical (**Fuente:** Elaboración propia)

Tabla 13: Análisis de varianza para 80 ppm y 120 ppm con tiempos de 10 y 15 minutos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	40.1111	3	13.3704	0.03	0.9938
Intra grupos	15655.1	32	489.222		
Total (Corr.)	15695.2	35			

Fuente: Elaboración propia.

El análisis estadístico anterior nos permitió seleccionar el rango de la dosis de coagulante óptimo, como podemos observar en las tablas mostradas, de las 6 dosis trabajadas, las que mejores resultados presentaron en cuanto a valores de disminución de turbiedad fueron las de 80 y 120 ppm; a partir de esto se realizó las comparaciones múltiples entre ambas dosis, para ver si existía entre estas una diferencia significativa, arrojando que no hubo diferencias significativas; por lo que se decidió trabajar con la menor dosis, es decir, 80 ppm., dado que en esta se utiliza menor cantidad de coagulante y por lo tanto los costos para el tratamiento serían menores. Asimismo, se seleccionó como tiempo de tratamiento 15 minutos, ya que, en comparación con el tiempo de 10 minutos, el primero de estos presenta mejores resultados de remoción de turbiedad (238,44+/-8,12 NTU). Por lo tanto, obteniendo y analizando los resultados de los ensayos preliminares, se decidió trabajar en el rango de 80 a 90 ppm con un tiempo de agitación y sedimentación de 15 minutos.

2) *Determinación de la dosis óptima de coagulante*

Una vez seleccionada el rango en donde se encontraría la dosis de coagulante óptima se realizó nuevamente Test de Jarras para poder determinar la dosis de coagulante óptimo, trabajando con tiempos de agitación y sedimentación de 15 minutos, ya que como se vio anteriormente este tiempo presentó mejores resultados de remoción.

Se realizaron diferentes ensayos por triplicado cada uno, en donde se midió con ayuda del multiparámetro los valores de pH y SST y la turbidez con ayuda de un turbidímetro. (Los resultados obtenidos se muestran en el ANEXO III). Se realizó ANOVA para cada uno de los parámetros antes mencionados, estos se muestran a continuación:

Tabla 14: *Análisis de varianza para los valores de pH reportados*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3190.44	5	638.089	4.69	0.0014
Intra grupos	6531.56	48	136.074		
Total (Corr.)	9722.0	53			

Fuente: Elaboración propia.

El ANOVA realizado para el parámetro de pH muestra una diferencia significativa ($P=0.0014$) entre los valores promedios de pH de las 6 dosis de coagulante evaluadas.

Tabla 15: *Análisis de varianza para los valores de turbidez reportados*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	152989.	6	25498.2	89.24	0.0000
Intra grupos	26001.6	91	285.732		
Total (Corr.)	178991.	97			

Fuente: Elaboración propia.

El Análisis de Varianza para los valores de turbidez reportados muestra que existe diferencia significativa entre los valores promedios de la turbidez reportados en las 6 dosis de coagulante trabajados, con un valor-p de 0.0000.

Tabla 16: *Análisis de varianza para los valores de SST reportados*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	254203.	6	42367.1	13.49	0.0000
Intra grupos	279531.	89	3140.8		
Total (Corr.)	533733.	95			

Fuente: Elaboración propia.

El ANOVA realizado para los valores de SST de las 6 dosis de coagulantes trabajados, presentan una diferencia significativa entre los valores promedios de estos parámetros, obteniendo un valor-p de 0.000.

Seguidamente se realizó comparaciones múltiples con el Test de Tukey entre las diferentes dosis trabajadas para ver si existen diferencias estadísticamente significativas, obteniendo que existe una diferencia significativa en los parámetros de turbidez y SST para la dosis de 86 ppm. Obteniendo valores de 993,00+/-37,93 para los SST, 46,57+/-4,34 para la turbidez y 8,97+/-0,11 para el pH. Por lo que se decidió elegir dicha dosis como la óptima de coagulante.

Tabla 17: *Comparaciones múltiples para los parámetros de pH, turbidez y SST en la optimización de dosis de coagulante*

Dosis	pH	Turbidez	SST
80 ppm	9.04+/-0.09 ^b	59.41+/-2.51 ^{ab}	1087.33+/-30.08 ^b
82 ppm	8.97+/-0.1 ^b	56.19+/-2.26 ^{ab}	1116.67+/-39.09 ^b
84ppm	9.00+/-0.1 ^b	57.12+/-2.85 ^{ab}	1084.00+/-40.31 ^b
86 ppm	8.97+/-0.11 ^b	46.57+/-4.34 ^a	993.00+/-37.93 ^a
88ppm	9.01+/-0.12 ^b	57.45+/-5.4 ^{ab}	1136.00+/-22.33 ^b
90ppm	9.00+/-0.1 ^b	75.31+/-22.39 ^b	1145.33+/-10.65 ^b
Inicial	9.49+/-0.07 ^a	199.88+/-1.87 ^b	1160.83+/-12.6 ^b

Nota: Las comparaciones se realizan de manera vertical (**Fuente:** Elaboración propia).

Para el parámetro de pH se observa que no se tiene una diferencia significativa en cuanto al valor inicial del efluente, es decir, el pH no varió considerablemente, sin embargo, hubo un descenso en todas las dosis con respecto al valor inicial. Lo mismo ocurrió en la investigación realizada por (Sandoval & Laines, 2013), en la que se observó una disminución del valor inicial del pH cuando se trabajó con el coagulante Sulfato de Aluminio tal como lo indican Sandoval

& Laines (2013) “El uso de sulfato de aluminio como coagulante, produce un descenso del pH y la alcalinidad en el agua tratada”. A su vez es necesario considerar que probablemente no se obtuvo una mayor disminución del valor de pH ya que como indica (López López, 2016) para cada coagulante existe una zona de pH, en donde se da una floculación adecuada en un tiempo corto y con una dosis de coagulante óptima.

En el caso del valor de la turbidez se ve una reducción considerable en comparación con el valor inicial, presentando una variación significativa en la dosis de 86 ppm, asimismo se encuentra una relación directa entre la disminución de la turbidez y el de los SST, tal como lo indican (Guzmán et al., 2013) “los sólidos suspendidos son los responsables de la turbidez y color del agua”, por lo que si los SST se reducen el valor de la turbidez también. El valor obtenido para la turbidez fue de 46.57 ± 4.34 y para los SST 993.00 ± 37.93 , estos valores son los menores entre todos los resultados obtenidos a diferentes concentraciones de coagulante; es por ello, que se seleccionó la dosis de 86 ppm. como la óptima.

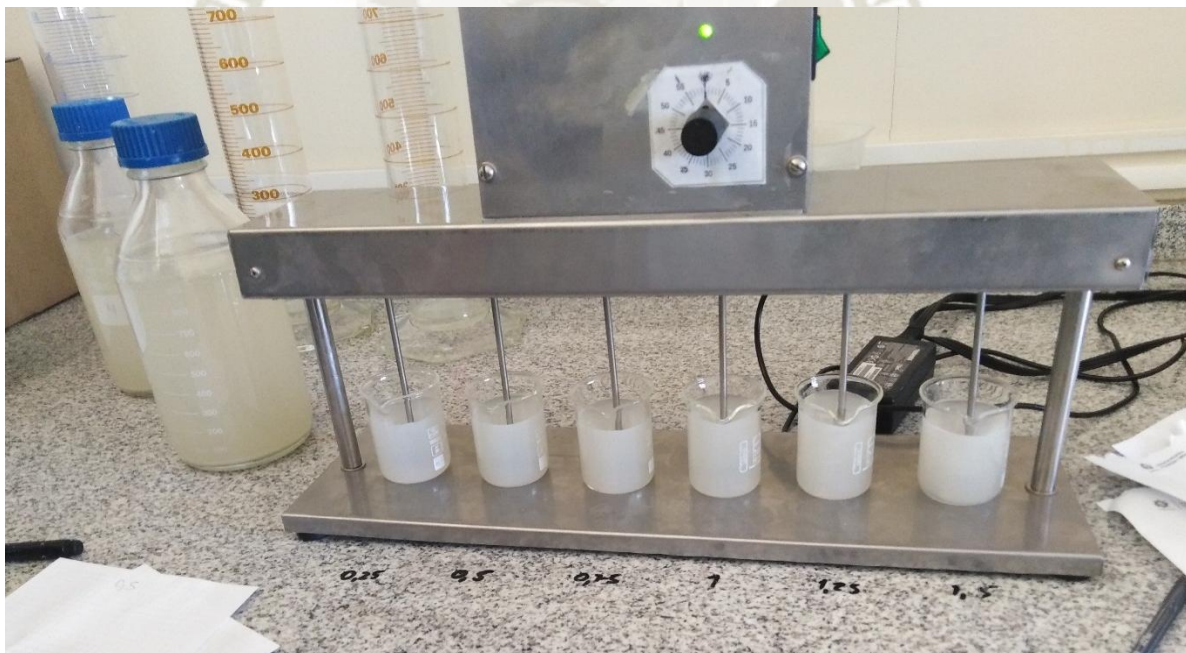


Figura 9: Determinación de la dosis óptima de coagulante - Test de jarras

3) Diseño y construcción del sistema de tratamiento convencional de coagulación-floculación

Se procedió a construir el sistema de tratamiento convencional a escala laboratorio. La idea inicial del diseño del sistema fue obtenida de la investigación realizada por (Suarez et al., 2009), sin embargo se realizaron modificaciones en cuanto a dimensiones y ubicación de los compartimientos, así como el material de construcción, dado que en el estudio realizado por (Suarez et al., 2009) se trabajó con tanto con sulfato de aluminio como con cloruro férrico, mientras que nosotros trabajamos únicamente con sulfato de aluminio, por lo que se procuró realizar un diseño robusto en el que se presentasen dos compartimientos conectados mediante una compuerta, permitiendo así el paso del efluente de un compartimiento al otro. El material de construcción del sistema fue de acrílico de 2mm. De espesor elegido por un tema de costos y de facilidad en su ductilidad. La siguiente figura muestra el diseño construido e implementado con dos agitadores (100 RPM c/u).

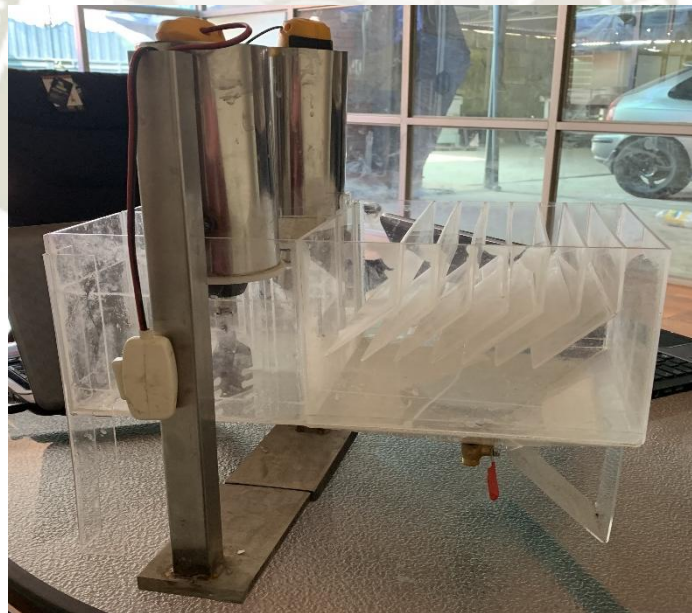


Figura 10: Vista frontal del sistema de tratamiento convencional

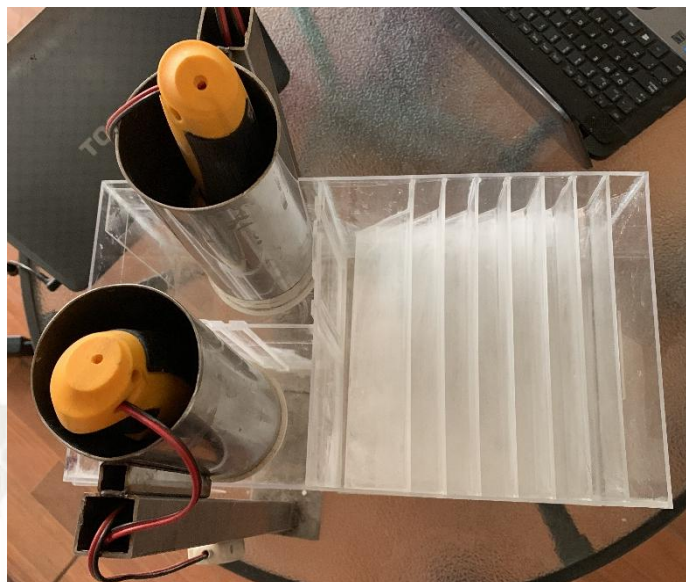


Figura 11: Vista aérea del sistema de tratamiento convencional

4) Implementación y operación del sistema de tratamiento convencional de coagulación y floculación

La operación del Sistema de tratamiento convencional se realizó utilizando la estructura armada en acrílico, trabajando con 3 L. del efluente a tratar, con una dosis de 86 ppm y tiempo de agitación y sedimentación de 15 minutos. El coagulante fue adicionado al sistema mediante goteo utilizando un volutrol; se trabajó en Batch, considerando que la coagulación floculación promueve la eliminación de Sólidos suspendidos y coloides en efluentes que no pueden asentarse de manera natural; “la eliminación de SST puede incrementarse de 40 - 70% sin coagulación a 60 – 90% con coagulación” (Suarez et al., 2009), Se obtuvieron dos muestras, las cuales fueron analizadas, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 18: Resultados del análisis de los efluentes tratados con el sistema de coagulación - floculación

Parámetros	Valor Inicial		Muestra 1	Muestra 2	VMA	% de Remoción
	Muestra	Muestra				
	1	2				
Turbidez (NTU)	430.7	465.0	508.00	501.00	ND	-12.65
Determinación de Sólidos Sedimentables (ml/L)	36.0	40.0	37.16	37.08	8.5	2.32
Determinación de Sólidos Totales (mg/L)	5760.0	5350.0	488.50	457.90	ND	91.48
Determinación de Sólidos en Solución (mg/L)	4855.0	5198.0	441.20	425.10	ND	91.38
Determinación de Sólidos en Suspensión (mg/L)	752.0	722.0	47.30	32.80	500	94.57

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 18 se muestra los resultados de los análisis realizados a las dos muestras de efluente tratado mediante el método de coagulación – floculación. Como se puede observar hubo una disminución en casi todos los parámetros monitoreados, con excepción de la turbidez, la cual se incrementó en un 12,65 %, esto se puede deber por el tipo de materia coloidal o sólidos que se encuentran en el efluente, dado que estos pueden reaccionar con el sulfato de aluminio ocasionado que la turbidez aumente, además podría deberse a la cantidad de coagulante que en ocasiones puede revertir la carga de las partículas coloidales formando gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños que tienen velocidades de sedimentación muy bajas y por lo tanto la turbiedad resultante es elevada (Andía, 2000). Los Sólidos Sedimentables son los que menor eficiencia de remoción obtuvieron en comparación con los demás sólidos, a pesar de que este parámetro presentaba menores valores iniciales en comparación con los el resto, el bajo índice de remoción de Sólidos Sedimentables se puede deber a debido al tipo de efluente, este presenta grandes cantidades de colágeno no hidrolizado, el cual es se encuentra suspendido y es considerado como materia orgánica, la cual se encuentra cargada negativamente , lo que ocasiona que se genere una repulsión entre las partículas evitando que se formen partículas de mayor tamaño y puedan sedimentar (Guzmán et al., 2013); esto a su vez fundamenta que el agua presente valores elevados de Sólidos en solución, y por consiguiente de Sólidos totales. La adición del coagulante ocasionó que las partículas que se encontraban tanto en suspensión como en solución puedan aglomerarse, formando flóculos de tal tamaño que puedan sedimentar. Es por ello que la cantidad de sólidos se incrementó y por lo tanto el porcentaje de remoción de para los Sólidos Sedimentables fuera sólo del 2, 32%. A partir de esto es que los demás sólidos evaluados (SST, ST y Sólidos en Solución) presentaron mayores porcentajes de remoción, ya que se convirtieron en Sólidos Sedimentables por acción del coagulante añadido; obteniendo resultados de porcentaje de remoción de mayor a menor a los Sólidos en Suspensión (94,57%), seguido de los Sólidos totales (91,48%) y finalmente los Sólidos en Solución (91,38%).

A partir de lo anterior, se tiene que los Sólidos Sedimentables no cumplieron con los VMA, dado que este valor se vio incrementado por que los demás sólidos por acción del coagulante sedimentaron; sin embargo, los Sólidos en Suspensión si cumplen con los VMA establecidos.



Figura 12: Operación del sistema de tratamiento convencional de coagulación – floculación

C. Determinación de la eficiencia de depuración del tratamiento alternativo de electrocoagulación en los parámetros de sólidos y turbidez

1) Pruebas preliminares para la obtención del número de electrodos a utilizar en el sistema de electrocoagulación

Se realizaron pruebas preliminares para poder establecer la cantidad óptima de electrodos a utilizar para el sistema de tratamiento de electrocoagulación, para lo cual se realizaron pruebas con 4 y 6 electrodos de aluminio, con un tiempo de contacto y de sedimentación de 15 minutos para cada una de etapas, empleando un tiempo total de 30 minutos por prueba. Para determinar la efectividad del tratamiento para ambos casos se procedió a utilizar los parámetros de sólidos totales y turbidez como indicadores. Cabe resaltar que se reportó las condiciones iniciales del efluente para cada ensayo, siendo considerado por lo tanto como una covariable en el análisis de varianza mostrado en a detalle en el ANEXO III.

Luego de realizados los análisis de varianza considerando la condición inicial como una covariable, puesto que al ser un valor variable podría influir en el resultado final. Posteriormente se realizó ANOVA, con el cual se identificó que el valor inicial del efluente no es significativo con un 95% de confianza sobre la turbidez ni sobre los sólidos totales (valor- $p=0.7429$ y valor- $p=0.9602$). Dichos análisis se muestran en la Tabla 19 y Tabla 20.

Tabla 19: *Análisis de varianza para turbidez empleando electrocoagulación*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Covariables					
Inicial	35.3766	1	35.3766	0.11	0.7429
Efectos principales					
A:tratamiento	434580.	1	434580.	1362.90	0.0000
Residuos	5739.54	18	318.863		
Total (corregido)	506134.	20			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20: *Análisis de varianza para sólidos empleando electrocoagulación*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Covariables					
Inicial	1.40313	1	1.40313	0.00	0.9602
Efectos principales					
A:tratamiento	369048.	1	369048.	674.69	0.0000
Residuos	9845.82	18	546.99		
Total (corregido)	438229.	20			

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se realizó una prueba de Tukey para comparar los resultados obtenidos luego del tratamiento del agua residual empleando el proceso de electrocoagulación utilizando 4 y 6 electrodos. Luego de realizado el análisis cuyos datos se muestran en la Tabla 21. Se identificó que existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel de error del 5% entre los tratamientos siendo mejor las condiciones obtenidas con 6 electrodos Turbidez de 173,64+/- 11,19 NTU y 599,26+/-14,66.

Tabla 21: *Comparaciones múltiples para los parámetros de turbidez y sólidos totales disueltos utilizando el método de electrocoagulación con 4 y 6 electrodos*

Dosis	Turbidez	SST
4 Electrodos	486.598+/-13.06 ^b	887.66+/-17.10 ^b
6 Electrodos	173.64+/-11.19 ^a	599.26+/-14.66 ^a

Nota: Las comparaciones se realizan de manera vertical (**Fuente:** Elaboración propia).

Como se puede observar en la Tabla 21, los resultados obtenidos con 4 y 6 electrodos son estadísticamente diferentes, obteniéndose mejores resultados con la utilización de 6 electrodos, además de observarse una disminución en el consumo energía por cada par de electrodos, tal y como refiere Kim, Park, Shin, & Kim (2002), quienes identificaron el número de electrodos como uno de los factores que afectan la efectividad de los tratamientos llevados a cabo con un proceso de electrocoagulación, obteniéndose mejores resultados conforme la cantidad de electrodos aumenta, lográndose una mayor superficie de contacto.

2) *Diseño y construcción del sistema de tratamiento alternativo de electrocoagulación*

Para la construcción de la celda de electrocoagulación se tomó como referencia el diseño empleado por Aguilar Ascon (2015), a la que se añadió el diseño de decantador lamelar utilizado por Suarez et al., (2009), para de esta manera los flóculos generados en el tratamiento puedan sedimentar en menos tiempo. Por lo tanto, el sistema presentó dos compartimientos, una celda de electrocoagulación implementada con soportes de acrílico para el posicionamiento de los electrodos y el decantador lamelar para la sedimentación de los flóculos y la separación de las espumas generadas durante el tratamiento. El material de construcción utilizado para sistema fue acrílico de 2mm de espesor elegido debido al costo y facilidad en su ductilidad.

En la Figura y Figura se muestran las vistas aérea y lateral del sistema de tratamiento de electrocoagulación empleado en el desarrollo de esta investigación.



Figura 13: Sistema de electrocoagulación, vista aérea



Figura 14: Sistema de electrocoagulación, vista lateral

3) Implementación y operación del sistema de tratamiento alternativo de electrocoagulación

Se realizó la operación del sistema utilizando la estructura de acrílico, con un volumen útil de 3 litros, empleando 6 electrodos conectados en paralelo, conectados a una fuente de

alimentación que trabajó a 5 A y 2 Voltios, con un tiempo de contacto de 15 minutos y 15 minutos de sedimentación.

Durante el desarrollo del tratamiento de electrocoagulación se pudo observar la formación de burbujas en los cátodos de aluminio empleados, estas burbujas de O_2 y H_2 como refieren Kapałka, Fóti, Comninellis, & Chen (2010), resultan ser beneficiosas para el tratamiento, debido a que estimulan la flotación de las partículas contaminantes hacia la superficie. Dicho fenómeno se evidencia en la Figura.



Figura 15: Formación de burbujas durante el tratamiento de electrocoagulación

Asimismo, se pudo evidenciar la formación de una capa de óxido en el electrodo, tal como muestra la Figura , esta formación de la capa de óxido según Kapałka, Fóti, Comninellis, & Chen (2010), especialmente en los electrodos de aluminio, puede causar una reducción en la eficiencia del método debido a que esta capa previene la disolución del metal del electrodo y la transferencia de electrones, lo que a su vez limita la adición de coagulante al efluente a tratar.



Figura 16: Formación de óxido en los electrodos debido al tratamiento de electrocoagulación

En adición, se evidenció la formación de flóculos que luego del tratamiento sedimentaron en el fono de la estructura de acrílico, tal y como se muestra en la Figura .



Figura 17: Flóculos formados y sedimentados en el tratamiento de electrocoagulación

Tabla 22: Resultados del análisis de los efluentes tratados con el sistema de electrocoagulación

Parámetros	Valor Inicial		Muestra 1	Muestr a 2	VMA	% de Remoció n
	Muestra	Muestra				
	1	2				
Turbidez (NTU)	430,7	465,0	602,00	564,00	ND	-30,18
Determinación de Sólidos Sedimentables (ml/L)	36,0	40,0	86,20	82,31	8,5	-121,32
Determinación de Sólidos Totales (mg/L)	5760,0	5350,0	453,60	474,30	ND	91,65
Determinación de Sólidos en Solución (mg/L)	4855,0	5198,0	404,20	527,40	ND	90,73
Determinación de Sólidos en Suspensión (mg/L)	752,0	722,0	49,40	46,70	500	93,48

En la Tabla 22, se aprecian los resultados obtenidos luego de aplicado el tratamiento de electrocoagulación, logrando una eficiencia de remoción de 91,65%, 90,73% y 93,48% para los sólidos totales, sólidos en solución y sólidos en suspensión, respectivamente, lo cual se corresponde e incluso supera lo reportado por Merzouk, Madani, & Sekki (2010) y Merzouk, Gourich, Sekki, Madani, & Chibane (2009) quienes obtuvieron un porcentaje de 85,5% y 86,5% respectivamente en la remoción de sólidos suspendidos para aguas residuales provenientes de la industria textil.

Por otra parte, se evidencia un aumento en la turbidez del 30,18% y 121,32% para los parámetros de turbidez y sólidos sedimentables respectivamente. El aumento de la turbidez podría explicarse debido a la presencia de burbujas de hidrógeno generadas en el cátodo junto con las partículas sólidas formadas con los hidróxidos metálicos (Zodi, Potier, Lapicque, & Leclerc, 2009). El aumento de los sólidos sedimentables puede explicarse debido a la formación de flóculos a causa de la desestabilización de las partículas coloidales, formando agregados que aumentan en masa lo que permite su separación a través de un proceso de sedimentación, como refieren Kapalka, Fóti, Comminellis, & Chen (2010), lo que a su vez explica la disminución en los demás parámetros de sólidos evaluados.

Se puede observar además que los valores de sólidos en suspensión cumplen con los valores de VMA debido a los grandes porcentajes de remoción obtenidos luego de aplicado el tratamiento de electrocoagulación.

D. Comparación de la eficiencia de ambas metodologías para el tratamiento de efluentes de industria de colapez en los parámetros de Sólidos y Turbidez

1) Análisis de los resultados obtenidos para ambos métodos de tratamiento

Los resultados obtenidos luego de realizar los análisis del agua residual inicial, los efluentes tratados por coagulación química y electrocoagulación se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23: Resultados obtenidos del análisis de los efluentes tratados con coagulación química y electrocoagulación

Parámetros	Agua Residual		Coagulación química		Electrocoagulación	
	Muestr	Muestr	Muestr	Muestr	Muestra	Muestr
	a 1	a 2	a 1	ra 2	1	a 2
Turbidez (NTU)	430,7	465	508	501	602	564
Determinación de Sólidos Sedimentables (ml/L)	36	40	37,16	37,08	86,2	82,31
Determinación de Sólidos Totales (mg/L)	5760	5350	488,5	457,9	453,6	474,3
Determinación de Sólidos en Solución (mg/L)	4855	5198	441,2	425,1	404,2	527,6
Determinación de Sólidos en Suspensión (mg/L)	752	722	47,3	32,8	49,4	46,7

Fuente: Elaboración propia

Luego de obtenidos los resultados de los análisis, se procedió con el análisis ANOVA como en los demás casos, sin embargo, luego de verificar las varianzas se tuvo que realizar la denominada corrección de Welch para determinar el nivel de significancia en el análisis, obteniéndose así los resultados que se muestran en la siguiente tabla. Esta corrección fue utilizada ya que según Tomarken & Serlin (1986) la corrección de Welch es utilizado cuando se presenta varianzas desiguales, considerándose además como alternativas viables al Análisis

de Varianza, además indica que el Test de Welch es el que mejores resultados presenta cuando se tiene varianzas desiguales.

Tabla 24: Valores obtenidos para la corrección de Welch

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Sig. Welch
NTU	Entre grupos	18424,663	2	9212,332	20,706	0,018	0,149
	Dentro de grupos	1334,745	3	444,915			
	Total	19759,408	5				
Sólidos sedimentables	Entre grupos	2908,005	2	1454,003	280,168	0,000	0,023
	Dentro de grupos	15,569	3	5,190			
	Total	2923,574	5				
Sólidos totales	Entre grupos	34495711,270	2	17247855,635	610,670	0,000	0,009
	Dentro de grupos	84732,425	3	28244,142			
	Total	34580443,695	5				
Sólidos en solución	Entre grupos	27932672,763	2	13966336,382	629,418	0,000	0,019
	Dentro de grupos	66567,885	3	22189,295			
	Total	27999240,648	5				
Sólidos en suspensión	Entre grupos	640303,603	2	320151,802	1718,874	0,000	0,008
	Dentro de grupos	558,770	3	186,257			
	Total	640862,373	5				

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizada esta corrección se realizó la comparación múltiple para los parámetros anteriormente analizados, utilizando para ello una prueba análoga a Tukey denominada Games-Howell, utilizada para los casos en los que las varianzas no son iguales, como es el caso. En la Tabla 24, se muestran los datos de comparación obtenidos. En esta tabla se demuestra además que todos los parámetros tienen una diferencia significativa a excepción del parámetro de turbidez. Esta prueba fue utilizada dado que, al realizar el análisis estadístico descriptivo,

resultó que las varianzas eran diferentes y según Jaccard, Becker, & Wood (1984) “Para estudios que presentan “n” desigual, varianzas desiguales o que sean de distribución no normal, se utiliza normalmente el Test de Games-Howell”, además menciona que “Para varianzas no iguales el Test de Games –Howell fue consistentemente más certero que otros procedimientos”

Tabla 25: Comparaciones múltiples de los parámetros estudiados entre los valores iniciales del agua residual y luego de ambos tratamientos

Dosis	Agua residual	Coagulación química	Electrocoagulación
Turbidez (NTU)	447.85+/-217.91 ^a	504.5+/-44.47 ^a	583+/-241.42 ^a
Determinación de Sólidos Sedimentables (ml/L)	38.00+/-25.41 ^a	37.12+/-0.51 ^a	84.25+/-24.71 ^b
Determinación de Sólidos Totales (mg/L)	5555+/-2604 ^b	473.2+/-194.41 ^a	513.95+/-766.82 ^a
Determinación de Sólidos en Solución (mg/L)	5026.5+/-2179.11 ^b	473.20+/-194.40 ^a	463.95+/-131.51 ^a
Determinación de Sólidos en Suspensión (mg/L)	737.00+/-190.59 ^b	40.05+/-92.12 ^a	48.05+/-17.15 ^a

Nota: Las comparaciones se realizan de manera horizontal según Games-Howel (**Fuente:** Elaboración propia)

De la Tabla 25, se puede interpretar que para el parámetro de turbidez no existe una diferencia significativa si se comparan los valores del agua residual con los valores obtenidos luego de aplicados ambos tratamientos, por lo que ambos métodos no realizaron cambios importantes sobre este parámetro. Por otra parte, para los parámetros de sólidos totales, sólidos en solución y sólidos en suspensión, existe una diferencia estadística considerable si se comparan ambos métodos con los valores iniciales del agua residual, sin embargo, no existe una diferencia estadística entre los valores obtenidos para ambos métodos por lo que su efectividad es similar, los porcentajes de remoción obtenidos para estos parámetros utilizando ambos métodos, se muestra en el Figura. Además, se tiene que para el parámetro de Sólidos sedimentables, los valores iniciales del efluente y del método de coagulación química son estadísticamente parecidos, por lo que este método no produce cambios significativos sobre este parámetro, sin embargo, si existe una diferencia con el método de electrocoagulación, siendo en este caso un aumento que se debe principalmente a la aglomeración de partículas coloidales. Se muestra además en el gráfico que en lo referido a sólidos en suspensión, el proceso de electrocoagulación puede alcanzar porcentajes de remoción de 94,57%, parecidos a los resultados obtenidos por Chavalparit & Ongwandee (2009), quienes registraron valores de remoción de 96,59% para este parámetro y mejores a los registrados por Ilhan, Kurt, Apaydin,

& Gonullu (2008), quienes registraron una remoción de sólidos suspendidos del 70% para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Los resultados obtenidos fueron similares a los realizados por Espinoza-Quinones et al. (2009) quienes compararon los porcentajes de remoción de contaminantes utilizando un proceso de tratamiento de electrocoagulación y otro de coagulación floculación química, determinando que los resultados obtenidos por este último eran ligeramente mejores que el primero, coincidiendo con lo registrado en el Figura, sin embargo, los resultados obtenidos por ellos fueron cercanos al 65%, siendo menores a los obtenidos en esta investigación lográndose la remoción de contaminantes en valores mayores al 90% para ambos tratamientos.

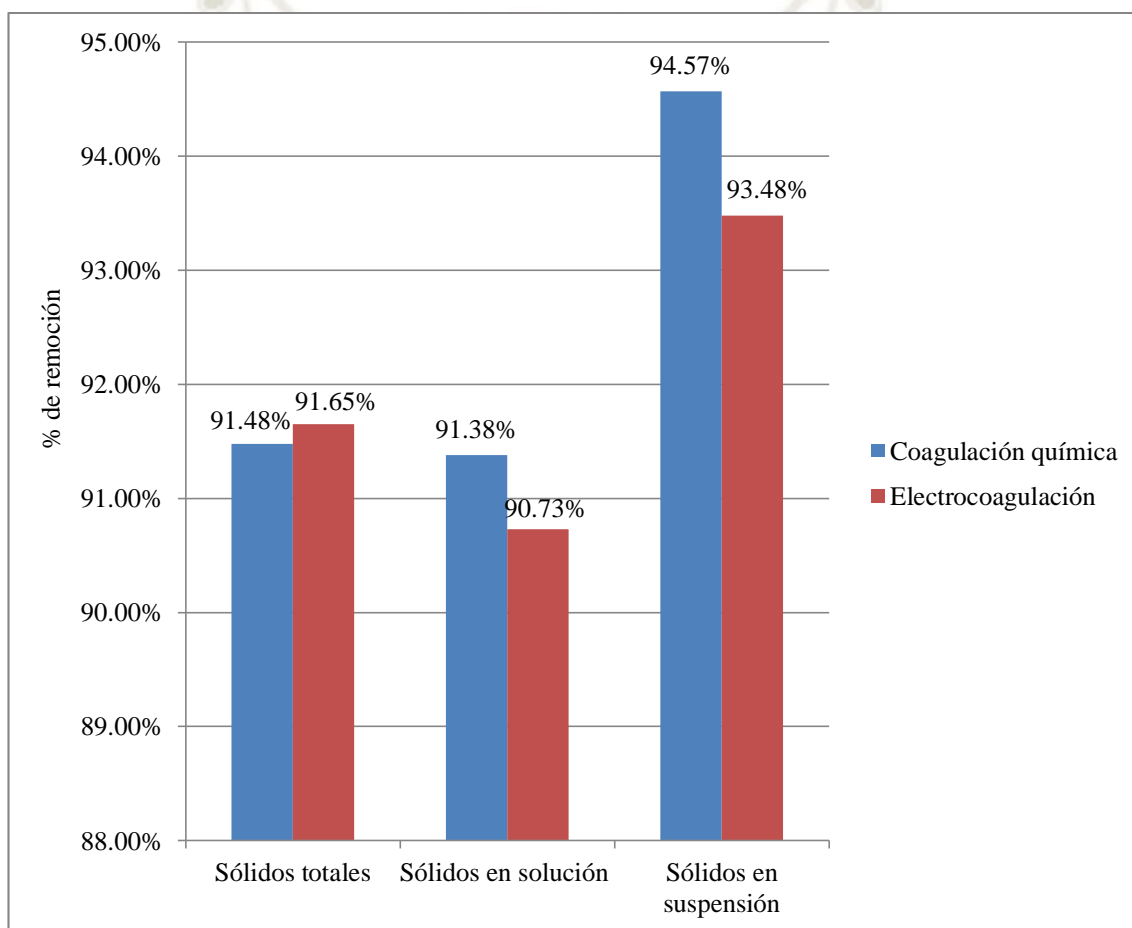
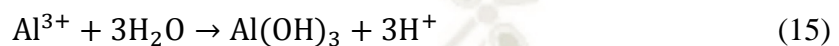


Figura 18: Gráfico comparativo de los resultados de remoción u obtenidos para las metodologías de tratamiento estudiadas

Se registraron además los valores de pH una vez terminados los tratamientos, observándose una ligera disminución de los valores iniciales de este parámetro luego de aplicado el tratamiento de electrocoagulación, lo cual puede ser explicado según lo referido por Kapalka & Fóti (2010), a valores de pH mayores a 10, la formación de $Al(OH)_4^-$ es dominante, lo cual desfavorece a la eficiencia del tratamiento, sin embargo, también refiere que a valores iniciales de pH superiores

a 9, el pH del efluente a tratar disminuye con el tratamiento, por lo que según refiere este autor, el pH puede ser neutralizado debido a la reacción del $\text{Al}(\text{OH})_3$ con el radical OH^- , formando así $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ que como se dijo anteriormente a valores de pH altamente alcalinos suele ser la especie dominante generada por el tratamiento de electrocoagulación. Esto explicaría el hecho de evidenciar una ligera disminución del pH después de aplicado el tratamiento de electrocoagulación variando de un valor de pH aproximado de 12 a un valor promedio de 10,6. Los mecanismos de reacción se presentan a continuación:



Como refiere Mohammad Y A Mollah et al., (2004), las reacciones antes señaladas dependerán del pH de la solución en la que se encuentren, generando hidróxidos y polihidróxidos los cuales tienen una gran afinidad por partículas dispersas e iones, permitiendo el proceso de coagulación.

3) Comparación de los tratamientos de coagulación química y electrocoagulación

Los tratamientos de coagulación química y electrocoagulación parten del mismo principio, por el cual se neutralizan las cargas de las partículas coloidales suspendidas, luego debido a la colisión de estas con los hidróxidos metálicos añadidos, en este caso de aluminio, son aglomerados en flóculos, los que finalmente pasan a una etapa de sedimentación o flotación. Como refiere Zhu, Clifford, & Chellam (2005), la principal diferencia entre estas dos metodologías de tratamiento reside en la forma en cómo se adicionan los iones de aluminio en este caso, mientras que en la electrocoagulación esto se logra mediante la electrodisolución de ánodos solubles, en la coagulación química se logra mediante la hidrólisis de sales metálicas, en el caso de esta investigación se utilizó sulfato de aluminio.

Como se vio en el anterior apartado, no existe una diferencia significativa entre los porcentajes de remoción que pueden ser obtenidos por las metodologías de tratamiento estudiadas, sin embargo, existen aspectos propios para cada uno de ellos, presentando ventajas y desventajas para cada metodología.

En el caso de la coagulación química, la disolución de las sales metálicas producen un descenso del pH (Guzmán et al., 2013), además de que el tratamiento presenta una mayor dependencia

de las condiciones de pH iniciales, por lo que resulta necesario modular el pH del efluente, lo que significa el aumento de costos debido a la utilización de insumos para llevar a cabo esta tarea. Además, el uso de químicos puede significar la generación de contaminantes secundarios que resulten de la reacción con los componentes presentes en el agua residual, ya que se ha como refiere Stauber citado por Caldera, Mendoza, Briceño, García, & Fuentes (2007) el aluminio residual generado por tratamientos de coagulación química está relacionado con el mal de Alzheimer, además de que se generan gran cantidad de lodos. Por otra parte, el tratamiento de electrocoagulación puede trabajarse en rangos de pH más amplios (Kapałka et al., 2010).

En lo referente al plano económico, el costo de operación de cada uno de los métodos de tratamiento son diferentes debido a que en la coagulación química se necesita utilizar mezcladores durante la adición del agente coagulante lo que significa consumo de energía, en cambio en la electrocoagulación no se necesita la acción de mezcladores debido a que las burbujas generadas en los cátodos favorecen la mezcla de los agentes coagulantes generados en el ánodo, pero se necesita la aplicar corriente eléctrica para la electrodisolución de los ánodos. Sin embargo, como menciona Cañizares, Martínez, Jiménez, Sáez, & Rodrigo (2009) los costos de la aplicación de los métodos depende del país en donde se apliquen los métodos ya que estos son diferentes, además de depender del agente coagulante que se utiliza. En esta investigación se pudo determinar que al comparar ambas metodologías de tratamiento, la electrocoagulación resultaba ser menos costosa en la adición de cantidades bajas de coagulante, lo que cambiaba cuando se incrementaba la dosis de coagulante a añadir elevando los costos y haciendo que la coagulación química sea menos costosa.

Como se mencionó ambas tecnologías de tratamiento buscan la formación de flóculos a partir de la desestabilización y aglomeración de partículas coloidales, sin embargo, los flóculos formados por electrocoagulación suelen ser mucho más grandes, contienen menos agua, son resistentes a los ácidos y son por lo general más estables; lo cual puede evidenciarse en la Figura . Además, se tiene que generalmente el proceso de coagulación química es seguido de una etapa de sedimentación y filtración, mientras que en la electrocoagulación se pueden aplicar luego etapas de sedimentación y/o flotación, esta última debido a las burbujas producidas durante el tratamiento, las mismas que pueden elevar a la superficie los contaminantes del agua residual para que sean eliminados fácilmente (Kapałka et al., 2010).

En el caso de la electrocoagulación, los electrodos de sacrificio deben ser cambiados con el tiempo debido a su consumo durante el proceso, sin embargo, pueden invertirse las cargas de los electrodos para que se consuman ambos y no sólo los ánodos. Además, se tiene que en el proceso se desarrollan capas de óxidos en los electrodos lo que dificulta y reduce la efectividad del tratamiento (Kapałka et al., 2010).



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. CONCLUSIONES

- Se caracterizó físico químicamente el efluente durante dos etapas de producción que posee la fábrica (baja y normal productividad), pudiéndose observar que la mayoría de parámetros varían de acuerdo al nivel de productividad existente, es decir, los valores de los parámetros analizados son mayores cuando se presenta una mayor productividad. A su vez el efluente estudiado presenta como principal característica un alto contenido de Sólidos en especial los sólidos en solución, los que están relacionados con los sólidos totales, los cuales también presentan valores elevados. La presencia de sólidos en el efluente proviene principalmente de la proteína (colágeno) no hidrolizada durante el proceso productivo.
- El tratamiento del efluente mediante coagulación química mostró resultados buenos, obteniendo porcentajes de remoción entre el 91% y 94% en la mayoría de parámetros evaluados, con excepción de los sólidos sedimentables, los cuales tuvieron una remoción del 2,32%, lo cual se pudo deber a que los sólidos en solución y suspensión con acción del coagulante sedimentaron. Además, el parámetro de turbidez no presentó una disminución en su valor, por el contrario, hubo aumento en un 12.65%.
- Para el tratamiento mediante electrocoagulación se obtuvieron resultados positivos para los parámetros de sólidos totales, sólidos en solución y sólidos en suspensión, con porcentajes de remoción de 91,65%, 90,73% y 93, 48% respectivamente; mientras que para la turbidez se tuvo un incremento del 30,18%; cabe resaltar el gran incremento de los sólidos sedimentables de 121,72% que se debió a la aglomeración de partículas coloidales en el tratamiento, lo que a su vez explica los grandes porcentajes de remoción para los demás sólidos.
- Se analizaron estadísticamente los resultados obtenidos para cada tratamiento, comparándolos entre ellos y con los valores del agua residual, llegándose a la conclusión en lo referente al parámetro de turbidez no hubo una diferencia estadísticamente significativa, por lo que ambos tratamientos no fueron eficaces en la remoción de este

parámetro. Para el parámetro de sólidos sedimentables, el tratamiento de coagulación química no presentó diferencias con los valores iniciales, lo que contrasta con el tratamiento de electrocoagulación que presentó un aumento significativo de este parámetro. En el caso de los sólidos totales, sólidos en solución y sólidos en suspensión se obtuvieron resultados positivos de remoción, sin embargo, no se puede determinar que uno fue mejor que otro debido a que estadísticamente no presentaron diferencias significativas. Por lo que en general, los aspectos que determinarían si un tratamiento es mejor que el otro radicaría en las ventajas y desventajas que presentan ambos métodos en su operación. En ese sentido, se destacan las características del tratamiento de electrocoagulación debido a su facilidad de maniobrabilidad ya que no requiere la adición de componentes químicos ni el cálculo de una dosis óptima de coagulante, pudiendo aumentar el suministro de las sustancias coagulantes con el incremento de la intensidad de corriente, además de trabajar en rangos de pH iniciales mucho más amplios que la coagulación química.

B. RECOMENDACIONES

- Para caracterizar mejor el efluente es recomendable realizar muestreos periódicos, de tal manera que se pueda obtener una data constante que permita proporcionar mayor información sobre el efluente.
- Se recomienda variar los parámetros de funcionamiento de los dos tratamientos aplicados, tales como: tipo de coagulante, tiempo de agitación, tiempo de sedimentación para el tratamiento convencional y tipo de electrodos, amperaje, voltaje, tiempo de contacto para el tratamiento de electrocoagulación, de tal modo que se pueda optimizar estos parámetros para cada uno de los tratamientos utilizados
- Debido al tipo de efluente analizado y dado la escasa información sobre este, así como de tratamiento, es aconsejable aplicar diversos métodos de tratamiento, de tal modo que se pueda conocer que método es el que presente mejores resultados.
- Es recomendable que los análisis de laboratorio para la evaluación de parámetros sean realizados en Laboratorios Acreditados, ya que estos nos proporcionan mayor

confiabilidad y a la vez es un requisito fundamental si se desea realizar la publicación de la investigación en cualquier revista Indexada.

- Para una mayor confiabilidad y certeza en los resultados es recomendable trabajar con ensayos por triplicado, así como incluir blancos de laboratorio.
- Según estudios realizados por Feria, Bermúdez, & Estrada (2014) mostraron que el tratamiento de aguas con coagulante naturales es tan eficiente como con coagulante químicos, por lo que sería recomendable realizar un estudio utilizando coagulantes naturales para el tratamiento de efluentes de fábricas de colágeno hidrolizado, cola animal y derivados, de tal modo que, existan estudios que muestren la eficiencia de tratamientos de efluentes menos contaminantes.
- Se recomienda realizar investigaciones utilizando otras sustancias en el caso de la coagulación química, para determinar cuál de ellas presenta mejores resultados para el tratamiento del efluente tratado en esta investigación. Así mismo en el caso de la electrocoagulación se pueden realizar pruebas con diferentes materiales de electrodos, pudiendo incluso alternar estos con el fin de evaluar los resultados que puedan obtenerse de estas investigaciones. Evaluar además la aplicación de ambas metodologías en distintos escenarios.
- Analizar las consecuencias económicas del uso la coagulación química y la electrocoagulación, con la finalidad de identificar las ventajas y desventajas los métodos en este aspecto, en adición, analizar los posibles efectos sobre la salud que pueda resultar debido al aluminio residual de los efluentes tratados.
- Se recomienda realizar la caracterización de los lodos obtenidos como consecuencia de la aplicación de ambos tratamientos con la finalidad de identificar sus componentes y desarrollar o proponer metodologías de reaprovechamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Ascon, E. A. (2015). *Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua*.
- Andía, C. (2000). Evaluación de plantas y Desarrollo tecnológico. *Tratamiento de Agua: Coagulación Floculación*. SEDAPAL. Lima, Perú.
- Andía Cardenas, Y. (2000). Tratamiento de agua: coagulación-floculación. In *Tratamiento de agua: coagulación-floculación*. Sedapal.
- AOAC. (2011a). *Official Method of analysis 920.193-Solids in Water*.
- AOAC. (2011b). *Official methods of analysis*.
- APHA. (2005a). *Standard Methods for examination of water and wastewater* (19, Ed.). Washington: Association, American Public Health.
- APHA. (2005b). *Standard Methods for examination of water and wastewater* (21st ed.). Washington: Association, American Public Health.
- Arango Ruiz, Á. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 49–56.
- Bailach Bartra, C., Fuster López, L., Yusa Marco, D. J., Talens Oliag, P., & Vicente Palomino, S. (2011). Gelatinas y colas para el uso en tratamientos de restauración. Estado de la cuestión. *Arché*, (6), 17–22.
- Barajas, C., & León, A. (2015). DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE POR MEDIO DEL USO DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL. *UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DIVISIÓN DE INGENIERIAS INGENIERIA AMBIENTAL (Bogotá)*, 2, 16–50. Retrieved from <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf?sequence=1>
- Barba, L. (2002). Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición. *Curso Internacional Gestión Integral Del Tratamiento de Aguas Residuales*, 1–51. UNC.
- Cajigas, A. (1995). *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES, TRATAMIENTO, VERTIDO Y Vols* (J Trillo).
- Caldera, Y., Mendoza, I., Briceño, L., García, J., & Fuentes, L. (2007). Eficiencia de las semillas de Moringa oleífera como coagulante alternativo en la potabilización del agua. *Boletín Del Centro de Investigaciones Biológicas*, 41(2).

- Cantera, C. S., & Bértola, C. E. (1999). Valorización de residuos sólidos en la industria del cuero: hidrólisis de las virutas de cromo, aplicación del hidrolizado de colágeno. In *Valorización de residuos sólidos en la industria del cuero: hidrólisis de las virutas de cromo, aplicación del hidrolizado de colágeno*. CEPIS.
- Cañizares, P., Martínez, F., Jiménez, C., Sáez, C., & Rodrigo, M. A. (2009). Technical and economic comparison of conventional and electrochemical coagulation processes. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 84(5), 702-710.
- Chavalparit, O., & Ongwande, M. (2009). Optimizing electrocoagulation process for the treatment of biodiesel wastewater using response surface methodology. *Journal of Environmental Sciences*, 21(11), 1491–1496.
- Chávez, P. (2013). *DEPURACIÓN BIOLÓGICA DE EFLUENTES DE FÁBRICAS PRODUCTORAS DE COLÁGENO HIDROLIZADO A TRAVÉS DE BIOPELÍCULAS BACTERIANAS UTILIZANDO UN BIOREACTOR ANAEROBIO TIPO RAFA*. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA.
- Constitución Política del Perú 1993. (1993). *Constitución Política del Perú 1993*.
- Correo. (2015). *Arequipa: Planta La Escalerilla trata aguas negras con sistema biológico*.
- CORTOLIMA. (2007). *Plan de organización y manejo de la cuenca hidrográfica mayor del río Totare*.
- Del Mar, J. (2018, July 18). Crean planta piloto para reusar aguas residuales industriales. *El Búho*.
- DIGESA. (2007). Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales. *R.D. 2254/207/DIGESA/SA*. Lima.
- DLN°1240. (2015). Decreto Legislativo que Modifica la Ley N° 26338, Ley General de Servicios de Saneamiento y la Ley N° 30045, Ley de Modernización de Servicios de Saneamiento. *Diario Oficial El Peruano*.
- DSN0042017MINAM. (2017). Estándares Nacionales de Calidad Ambiental. *Diario Oficial El Peruano*.
- DSN0102019VIVIENDA. (2019). Valores Máximos Admisibles. *Diario Oficial El Peruano*.
- DSN0172015PRODUCE. (2015). Reglamento de Gestión Ambiental para la Industria Manufacturera y Comercio Interno. *Diario Oficial El Peruano*.
- Ellouze, E., Amar, R. Ben, Boufi, S., & Salah, A. B. (2003). Coagulation-flocculation performances for cuttlefish effluents treatment. *Environmental Technology*, 24(11), 1357–1366.

- EPA. (1992). *Glossary of Terms*. Environmental Protection Agenc.
- Espinoza-Quinones, F. R., Fornari, M. M. T., Módenes, A. N., Palácio, S. M., da Silva Jr, F. G., Szymanski, N., ... Trigueros, D. E. G. (2009). Pollutant removal from tannery effluent by electrocoagulation. *Chemical Engineering Journal*, 151(1–3), 59–65.
- FAO. (2013). *Contaminación Agrícola de los Recursos hídricos*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/W2598S/w2598s03.htm>
- Feria, J., Bermúdez, S., & Estrada, A. (2014). Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Produccion+ Limpia*, 9(1).
- GRA. (2015). Impermeabilización de la segunda laguna de oxidación de la planta de tratamiento de aguas residuales del Parque Industrial de Río Seco. *Resolución General Regional N° 214-2015-GRA/GGR*.
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253–262.
- Hernández-Martínez, E. (2011). Los recursos naturales y el patrimonio de la Nación. *Ius et Praxis*, (042), 185–221.
- Hernández Muños, A. (2001). *Depuración y desinfección de aguas residuales* (C. Y. P. C. D. I. DE CAMINOS, Ed.). Retrieved from <https://books.google.com.pe/books?id=z9pJAAAACAAJ>
- IADC. (2007). *Turbidez*. International Association of Dredging Companies.
- Ilhan, F., Kurt, U., Apaydin, O., & Gonullu, M. T. (2008). Treatment of leachate by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 154(1–3), 381–389.
- Jaccard, J., Becker, M. A., & Wood, G. (1984). Pairwise multiple comparison procedures: A review. *Psychological Bulletin*, 96(3), 589.
- Jordán Núñez, M. F. (2012). *Obtención de Colágeno por Hidrólisis Alcalina-Enzimática del Residuo de Wet Blue en el Proceso de Curtición*.
- Kanagaraj, J., Velappan, K. C., Babu, N. K., & Sadulla, S. (2006). *Solid wastes generation in the leather industry and its utilization for cleaner environment-A review*.
- Kapałka, A., Fóti, G., Comminellis, C., & Chen, G. (2010). *Electrochemistry for the environment*.
- Kim, T.-H., Park, C., Shin, E.-B., & Kim, S. (2002). Decolorization of disperse and reactive dyes by continuous electrocoagulation process. *Desalination*, 150(2), 165–175.
- Larios-Meño, J. F., González, C., & Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus

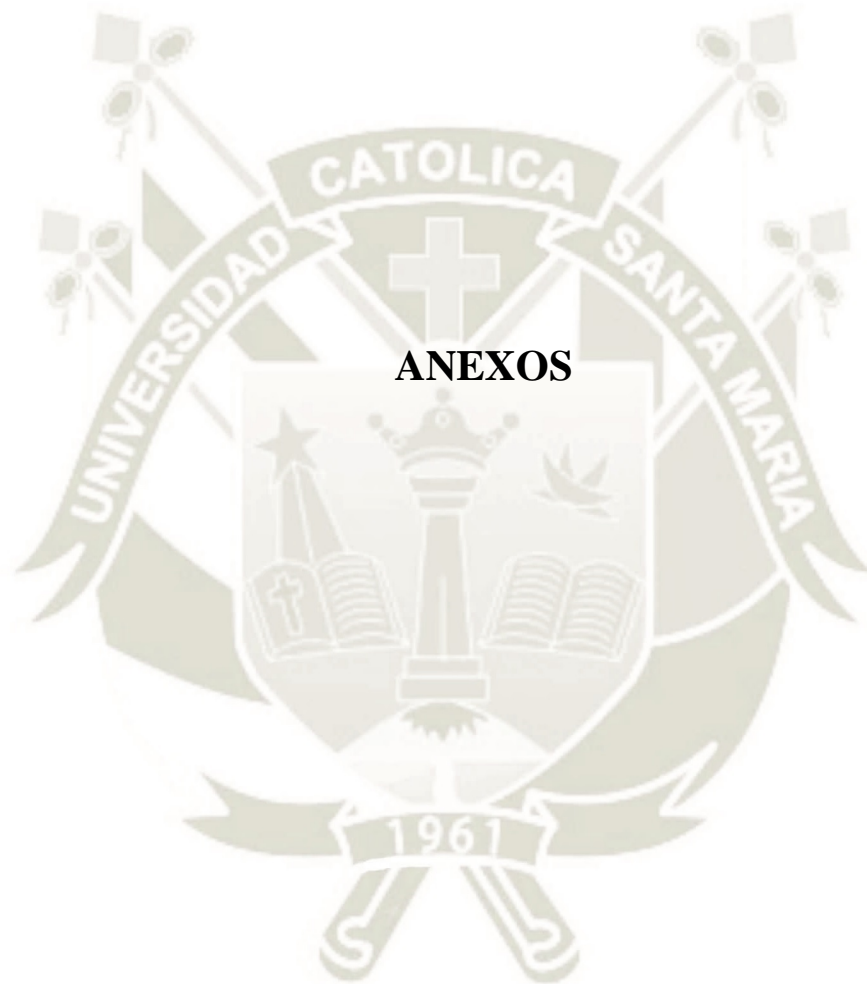
- consecuencias en el Perú. *Recuperado El, 23*.
- Larue, O., Vorobiev, E., Vu, C., & Durand, B. (2003). Electrocoagulation and coagulation by iron of latex particles in aqueous suspensions. *Separation and Purification Technology*, 31(2), 177–192.
- Lazo Cuentas, E. A. (2017). *Evaluación de la contaminación ambiental generada por efluentes industriales en el proceso productivo de una curtiembre de mediana capacidad del parque industrial de Rio Seco, Arequipa*.
- Ley28611. (2005). Ley General del Ambiente. *Diario Oficial El Peruano*.
- LeyN29338. (2009). Ley de Recursos Hídricos. *Diario Oficial El Peruano*.
- Ley N°26338. (2006). Ley General de Servicios de Saneamiento. *Diario Oficial El Peruano*.
- López López, C. (2016). *Procesos físicos-químicos de oxidaciones avanzadas (H₂O₂/UV; Fe²⁺/H₂O₂/UV; TiO₂/H₂O₂/UV) y la mejora con un sistema de coagulación-floculación previo, en el tratamiento de aguas residuales para la eliminación de colorantes*.
- Martínez Navarro, F. (2007). *Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional*. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Macías Gómez, L., Uribe Martínez, Á., Rivera Virgüez, M., Rozo Covaleda, M., Andrés Cano, J., & F. Montoya, J. (2006). *Evaluación de los Impactos Ambientales y Capacidad Institucional frente al libre comercio en la Región Andina*. Bogotá: Instituto Colombiano de Derecho Ambiental.
- Merzouk, B, Gourich, B., Sekki, A., Madani, K., & Chibane, M. (2009). Removal turbidity and separation of heavy metals using electrocoagulation–electroflotation technique: A case study. *Journal of Hazardous Materials*, 164(1), 215–222.
- Merzouk, Belkacem, Madani, K., & Sekki, A. (2010). Using electrocoagulation–electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies. *Desalination*, 250(2), 573–577.
- Mollah, M Yousuf A, Schennach, R., Parga, J. R., & Cocke, D. L. (2001). Electrocoagulation (EC)—science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 84(1), 29–41.
- Mollah, Mohammad Y A, Morkovsky, P., Gomes, J. A. G., Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D. L. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 114(1–3), 199–210.
- MVCS. (2017). *Tratamiento y reúso de las aguas residuales, Perú ¿un reflejo de la región?* Lima.
- NMMX-AA-026-SCFI-2001. (2001). Análisis d agua- medición de nitrógeno total

- KJELDAHL en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. *Norma Técnica Mexicana*.
- NMX-AA-028-SCFI-2001. (2001). *Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas naturales, residuales (DBO5 ppm) y residuales tratadas*.
- NMX-F-527-1992. (1992). Alimentos. Determinación de Sólidos totales, sólidos disueltos y sólidos en suspensión en agua. *Banco de Normas Mexicanas*.
- OEFA. (2014). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. *Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental*.
- Panachlor. (2017). Sólidos Disueltos Totales (TDS) & Electroconductividad (EC). Retrieved July 10, 2019, from Panachlor website: <http://panachlor.com/>
- Paredes, L. (2016, February). PTAR La Escalerilla –Arequipa: Infraestructura sanitaria para la Ciudad Blanca. *Perú Construye*, 148.
- Pérez-Sicairos, S., Morales-Cuevas, J. B., Félix-Navarro, R. M., & Hernández-Calderón, O. M. (2011). Evaluation of the electro-coagulation process for the removal of turbidity of river water, wastewater and pond water. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(1), 79–91.
- Pérez, A. (2012). *Utilización con fines de riego del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad universitaria, USAC*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Portada Mamani, A. (2016). *Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido en pieles por procesos físico-químico de la curtiembre de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-PUNO*.
- Restrepo, A., Arango, A., & Garcés, L. (2006). La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Producción+ Limpia*, 1(2), 58–77.
- Restrepo Osorno, H. A. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable*. Universidad Nacional de Colombia.
- Rigola, L. (1999). *Tratamiento de aguas residuales por Lagunas de Estabilización*.
- RMN1162012VIVIENDA. (2012). Valores Máximos Admisibles. *Diario Oficial El Peruano*.
- Rodríguez Ramírez, C. L., & Zapata Jáuregui, C. (2015). *Influencia del ph, concentración de coagulante a base de aluminio y floculante en la remoción de sulfuros, sólidos suspendidos, demanda química y biológica de oxígeno de efluentes de rivera en curtiembres*.
- Romero, L., & Vargas, M. (2007). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. *Instituto Tecnológico*

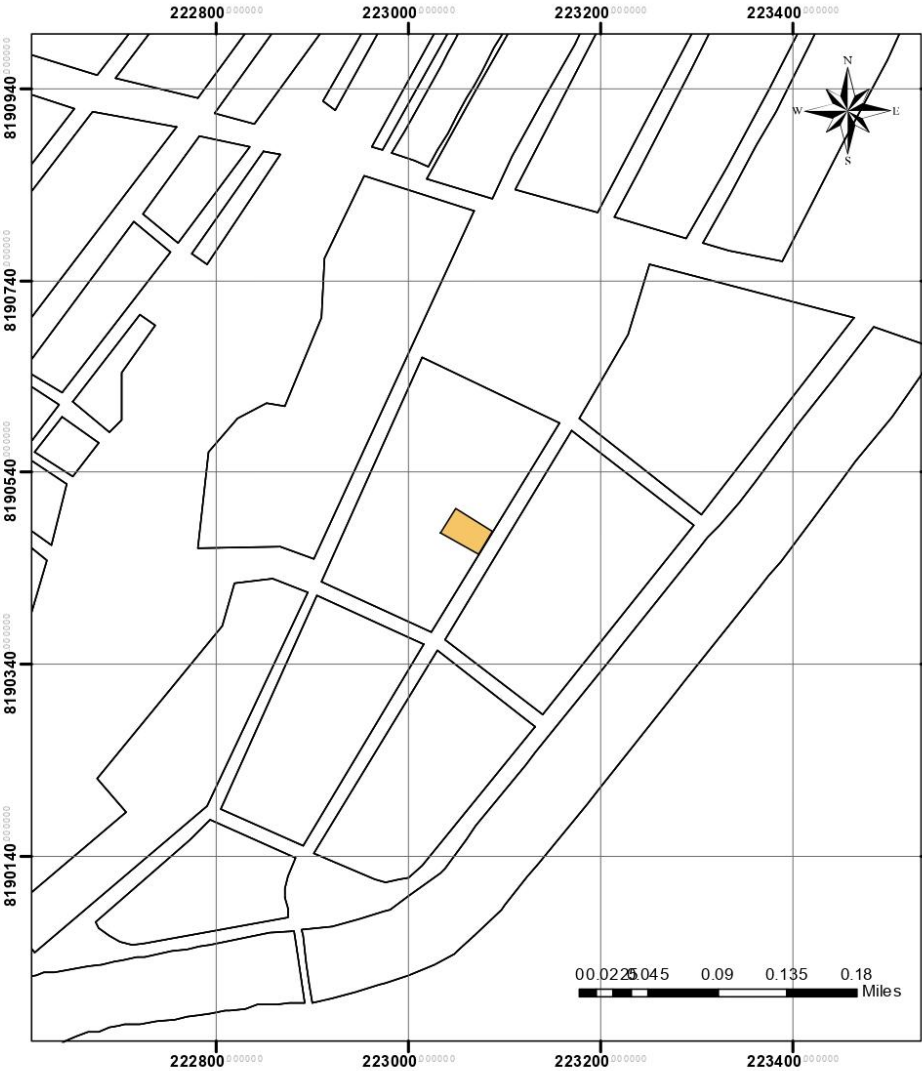
- de Costa Rica, Escuela de Química, Centro de Investigación En Protección Ambiental.*
- Roque Rodríguez, F. J. (2016). *Desinfección y depuración bioelectroquímica de aguas residuales domesticas asistida por energía fotovoltaica a miniescala caso: Ptar Chilpina-Arequipa.*
- Sandoval, M., & Laines, J. (2013). Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Ingeniería*, 17(2), 93–101.
- Saravia Ramos, G. A. (2017). *Gestión y manejo de residuos sólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chilpina Sedapar SA–Provincia de Arequipa–Departamento de Arequipa.*
- SNF FLOERGER. (2014). *Drinking water production.*
- Song, Z., Williams, C. J., & Edyvean, R. G. J. (2004). Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation. *Desalination*, 164(3), 249–259.
- Sotomayor, R. M. (2006). Tratamiento de los efluentes de la industria del cuero en la ciudad de Arequipa. *Ciencia y Desarrollo*, 7, 31–36.
- Suarez, S., Lema, J. M., & Omil, F. (2009). Pre-treatment of hospital wastewater by coagulation–flocculation and flotation. *Bioresource Technology*, 100(7), 2138–2146.
- SUNASS. (2017). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las Entidades Prestadoras de Servicio de Saneamiento.*
- Tchamango, S., Kamdoum, O., Donfack, D., Babale, D., & Ngameni, E. (2016). Comparison of electrocoagulation and chemical coagulation in the treatment of artisanal tannery effluents. *Nigerian Journal of Technology*, 35(1), 219–225.
- Teijón, J. M. (2006). *Fundamentos de bioquímica estructural* (Vol. 1). Editorial Tébar.
- Tomarken, A. J., & Serlin, R. C. (1986). Comparison of ANOVA alternatives under variance heterogeneity and specific noncentrality structures. *Psychological Bulletin*, 99(1), 90.
- Zevallos Valdivia, J. F. (2014). *Determinación de parámetros fisicoquímicos en efluentes industriales de curtiembres de la asociación de pequeñas y medianas empresas de curtiembres, fabricas de cola y derivados del cuero (apymeco)-Parque industrial de Rio Seco (PIRS).*
- Zhao, C., & Chen, W. (2019). A review for tannery wastewater treatment: some thoughts under stricter discharge requirements. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(25), 26102–26111.
- Zodi, S., Potier, O., Lapicque, F., & Leclerc, J. P. (2009). Treatment of the textile wastewaters by electrocoagulation: Effect of operating parameters on the sludge settling characteristics. *Separation and purification Technology*, 69(1), 29–36.

Zhu, B., Clifford, D. A., & Chellam, S. (2005). Comparison of electrocoagulation and chemical coagulation pretreatment for enhanced virus removal using microfiltration membranes. *Water Research*, 39(13), 3098–3108.





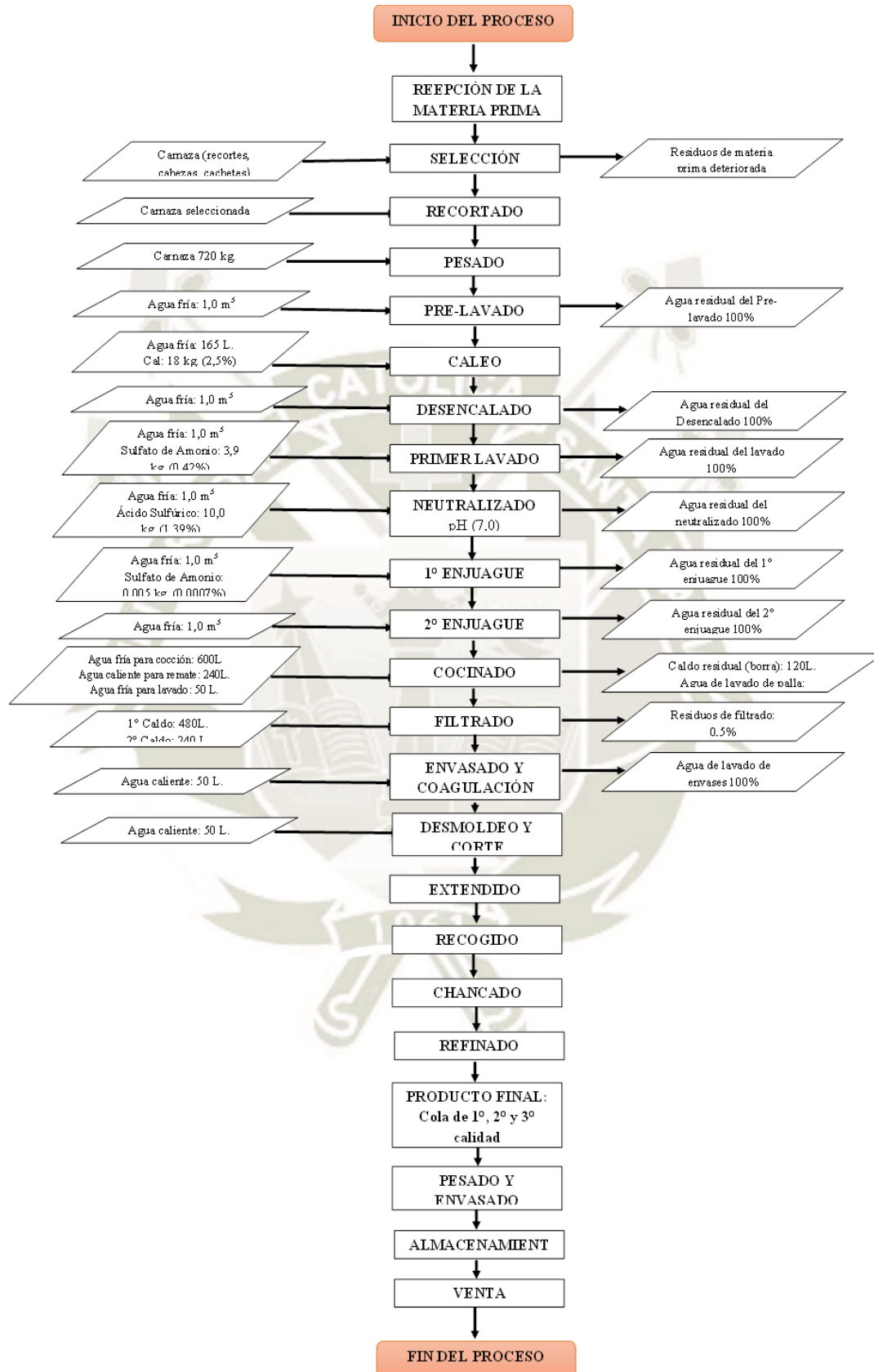
ANEXO I: Plano de ubicación de la fábrica productora de colapez, cola animal y derivados



LEYENDA

-  Ubicación de Empresa de Colágeno
-  Infraestructura de la Empresa

ANEXO II: Diagrama de flujo del proceso industrial



ANEXO III: Análisis de datos en extenso

Resultados de Turbidez de efluente tratado a diferentes dosis de coagulante y con tiempos de agitación y sedimentación de 10 y 15 minutos.

Dosis de coagulante en mg/L						
10 min. Agitación y 10 min. Sedimentación						
Repetición	20	40	60	80	100	120
1	244	251	259	224	255	224
1	237	251	260	225	255	226
1	242	250	261	227	256	226
2	256	240	250	225	241	245
2	264	242	250	230	253	247
2	263	242	250	222	246	248
3	249	242	281	280	265	253
3	249	243	292	281	264	255
3	250	252	293	285	263	256
Promedio	250.444	245.889	266.222	244.333	255.333	242.222
Des. estandar	9.15	4.93	17.70	28.36	8.11	13.18
CV%	3.65%	2.01%	6.65%	11.61%	3.18%	5.44%
Sesgo estand.	0.3428	0.2619	0.9219	1.0332	-0.6518	-0.7131

Dosis de coagulante en mg/L						
15 min. Agitación y 15 min. Sedimentación						
Repetición	20	40	60	80	100	120
1	244	251	259	224	255	224
1	237	251	260	225	255	226
1	242	250	261	227	256	226
2	256	240	250	225	241	245
2	264	242	250	230	253	247
2	263	242	250	222	246	248
3	249	242	281	280	265	253
3	249	243	292	281	264	255
3	250	252	293	285	263	256
Promedio	263.556	248.667	254.556	238.444	248.111	246.667
Des. estandar	13.9563	7.66485	12.2995	10.5607	8.95048	14.8324
CV%	5.30%	3.08%	4.83%	4.43%	3.61%	6.01%
Sesgo estand.	-0.91985	-0.102575	-0.988653	-0.303558	1.18187	-0.311295

Análisis de varianza para la agitación y sedimentación de 10 minutos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3582.15	5	716.43	2.93	0.0217
Intra grupos	11726.2	48	244.296		
Total (Corr.)	15308.4	53			

Análisis de varianza para la agitación y sedimentación de 15 minutos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3190.44	5	638.089	4.69	0.0014
Intra grupos	6531.56	48	136.074		
Total (Corr.)	9722.0	53			

Comparaciones múltiples de test de jarras con tiempos de 20 y 30 minutos de tratamiento

Dosis (ppm)	Agitación 10 minutos	Agitación 15 minutos
	Sedimentación 10 minutos	Sedimentación 15 minutos
20	250.444+/-7.04 ^{ab}	263.556+/-10.73 ^b
40	245.889+/-3.79 ^{ab}	248.667+/-5.89 ^{ab}
60	266.222+/-13.61 ^c	254.556+/-9.45 ^{ab}
80	244.333+/-21.8 ^a	238.444+/-8.12 ^a
100	255.333+/-6.23 ^{ab}	248.111+/-6.88 ^{ab}
120	242.222+/-10.14 ^a	246.667+/-11.4 ^a

*Las comparaciones se realizan de manera vertical

Análisis de varianza para la agitación y sedimentación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	40.1111	3	13.3704	0.03	0.9938
Intra grupos	15655.1	32	489.222		
Total (Corr.)	15695.2	35			

DOSIS COAGULANTE ÓPTIMA

Resultados de pH en la optimización de dosis de coagulante con tiempos de agitación y sedimentación de 15 minutos.

Repetición	80 ppm	82 ppm	84ppm	86 ppm	88ppm	90ppm
1	9.08	8.83	8.9	8.91	8.98	9.03
1	9.07	8.84	8.91	8.92	8.99	9.06
1	9.05	8.84	8.91	8.93	8.99	9.04
2	9.31	9.3	9.33	9.33	9.42	9.31
2	9.3	9.3	9.35	9.33	9.41	9.3
2	9.31	9.31	9.33	9.33	9.4	9.3
3	9.04	8.8	9.06	9	8.99	9
3	9.05	8.99	9.05	8.9	9	8.98
3	9.03	9	9.05	8.99	8.99	8.97
4	8.83	8.85	8.84	8.79	8.79	8.8
4	8.82	8.86	8.85	8.8	8.8	8.81
4	8.82	8.87	8.85	8.8	8.8	8.8
5	8.97	8.93	8.86	8.86	8.85	8.85
5	8.96	8.91	8.87	8.85	8.85	8.86
5	8.94	8.92	8.87	8.86	8.87	8.86
Recuento	15	15	15	15	15	15
Promedio	9.04	8.97	9.00	8.97	9.01	8.99
Des.estandar	0.164398	0.181502	0.188801	0.194814	0.222032	0.18151
CV%	1.82%	2.02%	2.10%	2.17%	2.46%	2.02%
Sesgo estand.	0.766536	1.8639	1.77714	2.00738	1.84337	1.20091

Análisis de varianza para los valores de pH reportados

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3190.44	5	638.089	4.69	0.0014
Intra grupos	6531.56	48	136.074		
Total (Corr.)	9722.0	53			

Resultados de turbidez en la optimización de dosis de coagulante con tiempos de agitación y sedimentación de 15 minutos.

Repetición	80 ppm	82 ppm	84ppm	86 ppm	88ppm	90ppm
1	63.9	56.7	53.1	56.7	65.9	56.27
1	54.9	55.5	54.8	57.3	67	55
1	64.5	57.2	53.6	57.2	66.5	55.7
2	59.8	61	66.1	43.5	58.4	151
2	60.2	61.3	66.5	52.8	57	150
2	59.8	57.8	65.6	42.8	56.5	151
3	51.9	50.2	53.3	37	40.5	42.6
3	53.3	51.5	54.7	36.4	40.4	43.6
3	54.1	51.1	54.3	36.5	40.5	44.3
4	55.9	59.8	51.9	50.3	66.1	51.4
4	65.9	61	54.2	52.9	66.1	51.4
4	65.8	61.2	56	51.3	65.6	52.8
5	59.8	52.4	53	38.8	56.4	74.1
5	60.9	53.1	59.9	42.6	58.1	75.2
5	60.5	53	59.8	42.4	56.8	75.3
Recuento	15	15	15	15	15	15
Promedio	59.41	56.19	57.12	46.57	57.45	75.31
Des.estandar	4.536	4.077	5.153	7.835	9.746	40.431
CV%	7.64%	7.26%	9.02%	16.83%	16.96%	53.68%
Sesgo estand.	-0.247506	-0.0581126	1.66461	0.13589	-1.50041	1.21937

Análisis de varianza para la turbidez reportada.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	152989.	6	25498.2	89.24	0.0000
Intra grupos	26001.6	91	285.732		
Total (Corr.)	178991.	97			

Resultados de SST en la optimización de dosis de coagulante con tiempos de agitación y sedimentación de 15 minutos.

Repetición	80 ppm	82 ppm	84ppm	86 ppm	88ppm	90ppm
1	990	990	1000	950	1150	1110
1	1000	1050	1010	955	1150	1130
1	1000	1000	950	900	1000	1120
2	1130	1140	1000	1110	1140	1160
2	1120	1140	1120	1010	1160	1170
2	1140	1150	1170	1000	1130	1160
3	1120	1130	1110	950	1130	1130
3	1110	1120	1010	900	1120	1120
3	1100	1000	1050	1010	1120	1150
4	1060	1180	1170	1110	1150	1150
4	1060	1190	1140	1100	1160	1150
4	1070	1190	1140	1000	1160	1140
5	1140	1150	1110	950	1150	1160
5	1140	1160	1140	1000	1160	1160
5	1130	1160	1140	950	1160	1170
Recuento	15	15	15	15	15	15
Promedio	1087.33	1116.67	1084	993	1136	1145.33
Des.estandar	54.3095	70.5759	72.7815	68.4992	40.3201	19.2230
CV%	4.99%	6.32%	6.71%	6.90%	3.55%	1.68%
Sesgo estand.	-1.32062	-1.55586	-0.806109	0.996388	-4.85859	-0.753057

Análisis de varianza para SST reportada.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	254203.	6	42367.1	13.49	0.0000
Intra grupos	279531.	89	3140.8		
Total (Corr.)	533733.	95			

Comparaciones múltiples para los parámetros de pH, Turbidez y SST en la optimización de dosis de coagulante

Dosis	pH	Turbidez	SST
80 ppm	9.04+/-0.09 ^b	59.41+/-2.51 ^{ab}	1087.33+/-30.08 ^b
82 ppm	8.97+/-0.1 ^b	56.19+/-2.26 ^{ab}	1116.67+/-39.09 ^b
84ppm	9.00+/-0.1 ^b	57.12+/-2.85 ^{ab}	1084.00+/-40.31 ^b
86 ppm	8.97+/-0.11 ^b	46.57+/-4.34 ^a	993.00+/-37.93 ^a
88ppm	9.01+/-0.12 ^b	57.45+/-5.4 ^{ab}	1136.00+/-22.33 ^b
90ppm	9.00+/-0.1 ^b	75.31+/-22.39 ^b	1145.33+/-10.65 ^b
Inicial	9.49+/-0.07 ^a	199.88+/-1.87 ^c	1160.83+/-12.6 ^b

*Las comparaciones se realizan de manera vertical

ELECTROGOAGULACIÓN

Resultados del proceso de electrocoagulación con cuatro y seis electrodos

ENSAYO	TRATAMIENTO	TURBIDEZ NTU	TURBIDEZ INICIAL NTU	SOLIDOS	SOLIDOS INICIAL
1-1	E6	184	526	580	1130
1-2	E6	190	534	590	1120
1-3	E6	175	450	570	1110
2-1	E6	163	526	610	1130
2-2	E6	182	534	620	1120
2-3	E6	180	450	610	1110
3-1	E6	160	443	580	1130
3-2	E6	150	497	610	1140
3-3	E6	180	439	600	1140
4-1	E6	175	443	610	1130
4-2	E6	150	497	600	1140
4-3	E6	200	439	610	1140
5-1	E4	450	500	900	1130
5-2	E4	480	498	900	1110
5-3	E4	460	520	850	1100
6-1	E4	500	500	900	1130
6-2	E4	510	498	910	1110
6-3	E4	490	520	850	1100
7-1	E4	486	500	900	1130
7-2	E4	498	498	850	1110
7-3	E4	500	520	930	1100

Análisis de varianza para Turbidez empleando electrocoagulación

Fuente	Suma Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
COVARIABLES					
INICIAL	35.3766	1	35.3766	0.11	0.7429
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTO	434580.	1	434580.	1362.90	0.0000
RESIDUOS	5739.54	18	318.863		
TOTAL (CORREGIDO)	506134.	20			

Análisis de varianza para Sólidos empleando electrocoagulación

Fuente	Suma Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
COVARIABLES					
INICIAL	1.40313	1	1.40313	0.00	0.9602
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TRATAMIENTO	369048.	1	369048.	674.69	0.0000
RESIDUOS	9845.82	18	546.99		
TOTAL (CORREGIDO)	438229.	20			

Comparaciones múltiples para los parámetros de pH, Turbidez y SST en la optimización de dosis de coagulante

Dosis	Turbidez	SST
4 Electrodo	486.598+/-13.06 ^b	887.66+/-17.10 ^b
6 Electrodo	173.64+/-11.19 ^a	599.26+/-14.66 ^a

ANEXO IV: Certificado de calibración del multiparámetro YSI

CERTIFICADO DE CALIBRACION
ENERO 08, 2019

01-04306
Pg 2/2

ARSA
REPRESENTACIONES

4. CALIBRACION - OXIGENO DISUELTO

Sonda de Oxígeno Disuelto : Sensor OD YSI PRO2003 Lote 18G100054
Método 1 : Aire Saturado (según manual de operación)
Método 2 : Prueba Cero (solución sulfito de sodio)
Temperatura Ambiente - Prueba : 25.6°C
Presión Barométrica : 752 mmHg (89.2 msnm, 293 psnm)
Salinidad : 0.0 ppt

METODO	LECTURA INICIAL	CORRECCION POR EL EQUIPO		LECTURA - MUESTRA	RANGO ACEPTABLE		RESULTADOS
					MIN	MAX	
1 - % SAT	99.4	98.9	A	98.1	96.9	100.9	CONFORME
1 - mg/L	8.26	8.08	A	8.01	7.88	8.28	CONFORME
2 - mg/L			-	0.11	0.00	0.20	CONFORME

A = Automática
M = Manual

Precisión Instrumento % Sat : ± 2% de lectura
Precisión Instrumento mg/L : ± 2% de lectura ó 0.2 mg/L, lo q resulte mayor

5. CALIBRACIÓN - ORP

Sensor : ORP catalogo 1002 lote 11G
Sol. Patrón ORP : YSI, catálogo 3682, Zobell lote 17J100356
Temperatura de prueba : 25.1°C
Temperatura de referencia : 25.0°C

PATRON ORP	LECTURA INICIAL	CORRECCION POR EL EQUIPO		LECTURA - MUESTRA	RANGO ACEPTABLE		RESULTDS
					MIN	MÁX	
231.0 mV	232.7 mV	231.9 mV	A	232.0 mV	201.9 mV	261.9 mV	CONFORME

A = Automática
M = Manual

Precisión Instrumento : ± 20 mV
Precisión Patrón ORP : ± 10 mV

6. RESULTADOS

Certificamos que el equipo ha sido calibrado/verificado según el procedimiento indicado por el fabricante, se encuentra operativo y las lecturas obtenidas se encuentran dentro de los rangos aceptables de acuerdo a las características del instrumento

Los resultados son válidos solo para el instrumento calibrado y/o verificado y corresponden al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones; el usuario debe recalibrar el instrumento a intervalos apropiados con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones.

Ing. Percy Ramos
Servicio Técnico

Carlos A. Núñez
Gerente General

CERTIFICADO DE CALIBRACION
ENERO 08, 2019

01-04306
Pg 1/2

UNIDAD	MULTIPARAMETRO PORTATIL (PH-CE-DO-ORP)
MODELO	PROFESSIONAL PLUS / CABLE Pro10102030-4M
SERIE	12G102934/ CABLE 12G100299
MARCA	YSI
ID - CLIENTE / ARSA	HC-YSI-02/ 000543
CLIENTE	HORIZONTE CONSULTORES S.R.L.
DIRECCION	MZA. O LT. 9 URB. PIEDRA SANTA II ETAPA -YANAHUARA-AREQUIPA
AREA	----
PATRON DE MEDICION	LOS INDICADOS

1. ACTUALIZACIÓN DE SOFTWARE (firmware)

SI NO

Versión Incluida 4.0.0 Versión Actualizada _____

2. CALIBRACIÓN - C/ ELECTRODO PH

Sensor : Electrodo de pH catalogo 1001A lote: 18J
 Solución Buffer 4.01 : ORION, catálogo 910104, lote SVS7
 Solución Buffer 7.00 : ORION, catálogo 910107, lote VY1
 Solución Buffer 10.01 : ORION, catálogo 910110, lote WU1
 Temperatura Prueba : 23.8 °C
 Temperatura Ref. : 25.0 °C

BUFFER	LECTURA INICIAL	CORRECCION POR EL EQUIPO	LECTURA - MUESTRA mV	pH	RANGO ACEPTABLE		RESULTDS	
					MIN	MÁX		
4.01	3.73	4.00	A	167.6	4.03	3.79	4.21	CONFORME
7.00	6.75	7.01	A	-8.0	7.03	6.80	7.22	CONFORME
10.01	9.80	10.01	A	101.5	10.02	9.79	10.23	CONFORME

A = Automática
M = Manual

Precisión Instrumento : ± 0.20 und pH
 Precisión Buffer 4 y 7 : ± 0.01 und pH
 Precisión Buffer 10 : ± 0.02 und pH

3. CALIBRACIÓN - CONDUCTIVIDAD (CONDUCTANCIA ESPECIFICA)

Sensor : CE-TEMP, cat 5560, Lote 12G100290
 Sol. Estándar 1,000 µS/cm : YSI, catálogo 3167, lote 18D101054
 Sol. Estándar 147 µS/cm : HAMILTON, catálogo 238985 Lote 1785540
 Temperatura de prueba : 24.4 °C
 Temperatura de referencia : 25.0 °C

METODO	LECTURA INICIAL	CORRECCION POR EL EQUIPO	LECTURA - MUESTRA	RANGO ACEPTABLE		RESULTDS	
				MIN	MÁX		
1000 µS/cm	946 µS/cm	1000 µS/cm	M	1001 µS/cm	985 µS/cm	1015 µS/cm	CONFORME
147 µS/cm				147.9 µS/cm	144.5 µS/cm	149.5 µS/cm	CONFORME

A = Automática
M = Manual

Precisión Instrumento : ± 0.5% ó 0.001 mS/cm, lo q resulte mayor
 Precisión Patrón 1000 uS : ± 1%
 Precisión Patrón 147 uS : ± 1%

T. (511) 440 2105 | ventas@arsarep.com.pe | www.arsarep.com.pe
 Coronel Odriozola 505 - San Isidro. Lima27. PERU

ANEXO V: Resultados de Análisis físicoquímicos de efluente.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umareello CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382030 ANEXO 1166
 E-mail: laboratorioensayo@ucsm.edu.pe | http://www.ucsm.edu.pe | Apto. 1350
 AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO
Nº DE INFORME: ANA20E19.003991A

Nombre del Cliente	: Luis Hualpa Arroyo
Dirección del Cliente	: Ramón Castilla 207 La Libertad Cerro Colorado
RUC	: No corresponde
Condición del Muestreado	: Por el cliente
Descripción	: Agua M1
Tamaño de muestra	: 1000 mL
Fecha de Recepción	: 20/05/2019
Fecha de Inicio del Ensayo	: 20/05/2019
Fecha de Emisión de Informe	: 28/05/2019
Página	: 1 de 1

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE TURBIDEZ (NTU) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. 21th edition 2005, Part. 2130-B: Nephelometric Method.	508,00
DETERMINACION DE SOLIDOS SEDIMENTABLES (mL/L/H) APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York, 2-59 y 2-60, método 2540 F	37,16
DETERMINACION DE SOLIDOS TOTALES (mg/L) AOAC Official Method 920,193 Solids in Water	488,50
DETERMINACION DE SOLIDOS EN SOLUCION (mg/L) AOAC Official Method 920,193 Solids in Water	441,20
DETERMINACION DE SOLIDOS EN SUSPENSION (mg/L) Calculo NMX-F-527-1992	47,30

OBSERVACIONES:

- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL –DA.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad



Q.F. Ricardo A. Abril Ramírez
 COORDINADOR
 ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📍 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO
Nº DE INFORME: ANA20E19.003991B

Nombre del Cliente	: Luis Hualpa Arroyo
Dirección del Cliente	: Ramón Castilla 207 La Libertad Cerro Colorado
RUC	: No corresponde
Condición del Muestreo	: Por el cliente
Descripción	: Agua M2
Tamaño de muestra	: 1000 mL
Fecha de Recepción	: 20/05/2019
Fecha de Inicio del Ensayo	: 20/05/2019
Fecha de Emisión de Informe	: 28/05/2019
Página	: 1 de 1

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANALISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE TURBIDEZ (NTU) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. 21th edition 2005, Part. 2130-B: Nephelometric Method.	501,00
DETERMINACION DE SOLIDOS SEDIMENTABLES (mL/L/H) APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York, 2-59 y 2-60, método 2540 F	37,08
DETERMINACION DE SOLIDOS TOTALES (mg/L) AOAC Official Method 920,193 Solids in Water	457,90
DETERMINACION DE SOLIDOS EN SOLUCION (mg/L) AOAC Official Method 920,193 Solids in Water	425,10
DETERMINACION DE SOLIDOS EN SUSPENSION (mg/L) Calculo NMX-F-527-1992	32,80

OBSERVACIONES:

- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL –DA.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Abrii Ramírez
CQFA 00824
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umarecillo CAMPUS UNIVERSITARIO H. 204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1156
✉ laboratorioensayo@ucscm.edu.pe http://www.ucscm.edu.pe 📍 Asfalto, 1350
AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO
N° DE INFORME: ANA20E19.003991C

Nombre del Cliente	: Luis Hualpa Arroyo
Dirección del Cliente	: Ramón Castilla 207 La Libertad Cerro Colorado
RUC	: No corresponde
Condición del Muestreado	: Por el cliente
Descripción	: Agua M3
Tamaño de muestra	: 1000 mL
Fecha de Recepción	: 20/05/2019
Fecha de Inicio del Ensayo	: 20/05/2019
Fecha de Emisión de Informe	: 28/05/2019
Página	: 1 de 1

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE TURBIDEZ (NTU) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. 21th edition 2005, Part. 2130-B: Nephelometric Method.	602,00
DETERMINACION DE SOLIDOS SEDIMENTABLES (mL/L/H) APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York, 2-59 y 2-60, método 2540 F	86,20
DETERMINACION DE SOLIDOS TOTALES (mg/L) AOAC Official Method 920,193 Solids in Water	453,60
DETERMINACION DE SOLIDOS EN SOLUCION (mg/L) AOAC Official Method 920,193 Solids in Water	404,20
DETERMINACION DE SOLIDOS EN SUSPENSION (mg/L) Calculo NMX-F-527-1992	49,40

OBSERVACIONES:

- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL –DA.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQFDA 00624
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Limacillo CAMPUS UNIVER. SANTA MARÍA H. 204 205 ☎ + 51 54 382238 ANEXO 1166
E: laboratorio@ucsm.edu.pe | http://www.ucsm.edu.pe | Arequipa - PERU



INFORME DE ENSAYO
Nº DE INFORME: ANA20E19.003991D

Nombre del Cliente	: Luis Hualpa Arroyo
Dirección del Cliente	: Ramón Castilla 207 La Libertad Cerro Colorado
RUC	: No corresponde
Condición del Muestreo	: Por el cliente
Descripción	: Agua M4
Tamaño de muestra	: 1000 mL
Fecha de Recepción	: 20/05/2019
Fecha de Inicio del Ensayo	: 20/05/2019
Fecha de Emisión de Informe	: 28/05/2019
Página	: 1 de 1

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE TURBIDEZ (NTU) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA WEF. 21th edition 2005, Part. 2130-B: Nephelometric Method.	564,00
DETERMINACION DE SOLIDOS SEDIMENTABLES (mL/L/H) APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York, 2-59 y 2-60, método 2540 F	82,31
DETERMINACION DE SOLIDOS TOTALES (mg/L) AOAC Official Method 920,193 Solids in Water	474,30
DETERMINACION DE SOLIDOS EN SOLUCION (mg/L) AOAC Official Method 920,193 Solids in Water	527,60
DETERMINACION DE SOLIDOS EN SUSPENSION (mg/L) Calculo NMX-F-527-1992	46,70

OBSERVACIONES:

- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL –DA.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Almirán Ramírez
COFDA 00624
ESPECIALISTA EN CONTROL DE
CALIDAD LECC





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Linceo CAMPUSE UNIVERSITARIO H-204/206 ☎ + 51 54 322038 ANEXO 1156
E-mail: laboratorio@ucsm.edu.pe | http://www.ucsm.edu.pe | Arequipa, PERÚ



INFORME DE ENSAYO
Nº DE INFORME: ANA09E18.003327

Nombre del Cliente	: Luis Guillermo Hualpa Arroyo
Dirección del Cliente	: Ramón Castilla 207 Cerro Colorado
RUC	: No corresponde
Condición del Muestreado	: Por el cliente
Descripción	: Agua Residual
Tamaño de muestra	: 3000 mL
Fecha de Recepción	: 09/05/2018
Fecha de Inicio del Ensayo	: 09/05/2018
Fecha de Emisión de Informe	: 16/05/2018
Página	: 1 de 1

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO mg/L) NMX-AA-030-SCFI-2001	999.68
DETERMINACIÓN DE SOLIDOS EN SUSPENSION TOTALES (mg/L) Calculo NMX-F-527-1992	122.00
DETERMINACIÓN DE SOLIDOS SEDIMENTABLES (mL/L/H) AOAC Official Method	40.00
DETERMINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS (mg/L) Metodo 5520e Soxhlet Extraction Method Standars Methods For The Examination Of Water And Waste Water Usa Apha Wdc 2005 19th Ed 1995 Pp 5-34	722.00
DETERMINACIÓN DE NITROGENO AMONIACAL (mg/L) NMX-AA-026-SCFI- 2001 Determinación de Nitrogeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas	455.75
DETERMINACIÓN DE SOLIDOS TOTALES (mg/L) AOAC Official Method 920.193 Solids in Water	5350.00
Determinación de Turbiedad por Método Nefelométrico (UNT) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF, 21th edition 2005, Part 2130-B Nephelometric Method	465.00
DETERMINACIÓN DE SOLIDOS EN SOLUCION (mg/L) AOAC Official Method 920.193 Solids in Water	5198.00

II. ANALISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES (DBO5 ppm) Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA NMX-AA-028-SCFI-2001	475.00

OBSERVACIONES:

- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL –DA.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQFDA 00624
ESPECIALISTA EN CONTROL DE
CALIDAD LECC



