

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central shield with a blue sky, a yellow sun, and a green landscape. The shield is surrounded by a grey border containing the Latin text "ORBIS CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER CETERA".

TRABAJO DE GRADUACIÓN
**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN A TRAVÉS DE UN
MODELO A ESCALA COMO PARTE DE UN PROCESO FÍSICO-QUÍMICO EN EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL, DIAGNÓSTICO
Y SERVICIOS REALIZADOS EN LA EMPRESA GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO
HÍDRICO S.A. EN EL MUNICIPIO DE MIXCO, GUATEMALA, C.A.”**

VERA MARÍA FIÓN RUÍZ

GUATEMALA, MAYO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN A TRAVÉS
DE UN MODELO A ESCALA COMO PARTE DE UN PROCESO FÍSICO-
QUÍMICO**

**EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL,
DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN LA EMPRESA GESTIÓN
INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO S.A. EN EL MUNICIPIO DE MIXCO,
GUATEMALA, C.A.”**

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

VERA MARÍA FIÓN RUÍZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERA

EN

GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADA

GUATEMALA, MAYO 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR EN FUNCIONES

DR. JORGE FERNANDO ORELLANA OLIVA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL PRIMERO	Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
VOCAL SEGUNDO	Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Jorge Mario Cabrera Madrid
VOCAL CUARTO	P. Agr. Marlon Estuardo González Álvarez
VOCAL QUINTO	Br. Sergio Wladimir González Paz
SECRETARIO	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria

GUATEMALA, MAYO DE 2021

Guatemala, mayo 2021

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de Graduación titulado: **“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN A TRAVÉS DE UN MODELO A ESCALA COMO PARTE DE UN PROCESO FÍSICO-QUÍMICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN LA EMPRESA GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO S.A. EN EL MUNICIPIO DE MIXCO, GUATEMALA, C.A.”** como requisito previo a optar al **título** de Ingeniera en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de Licencianda.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

A handwritten signature in dark ink, enclosed within a large, loopy oval shape. The signature itself is stylized and appears to read 'V.M. Ruíz'.

Vera María Fión Ruíz

ACTO QUE DEDICO

A

Mis padres

Silvia y Guillermo quienes me han apoyado en todo momento, y motivado a alcanzar todo lo que me propongo.

Mis hermanos

Ana y Guillermo por ser mi compañía siempre.

Mis abuelitos

Martita, Jorge, Palita y Fina por su sabiduría, amor y apoyo incondicional.

Mi familia

Por su cariño y apoyo.

Mis amigos

Por los momentos compartidos, la amistad sincera y el apoyo durante mi vida universitaria.

AGRADECIMIENTOS

A

**La gloriosa tricentenaria
Universidad de San Carlos de
Guatemala** Por abrirme sus puertas y permitirme formar parte de tan prestigiosa Casa de Estudios.

Facultad de Agronomía Por brindarme los cimientos de mi formación profesional.

Mi asesor Ing. Agr. Kelder Alexis Ortiz Cardona, por su paciencia, por tomarse el tiempo y esfuerzo para apoyarme en la realización del presente trabajo.

Mis amigos Pedro Enrique y Fredy Josué por su apoyo incondicional.

Mis catedráticos Por su apoyo durante mi proceso académico.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO	PÁGINA
RESUMEN.....	ix
CAPÍTULO I DIAGNÓSTICO REALIZADO A LA EMPRESA GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS S.A.....	1
1.1. PRESENTACIÓN	3
1.2. MARCO REFERENCIAL	3
1.2.1. Descripción de la entidad	3
1.2.2. Misión	3
1.2.3. Visión	4
1.2.4. Localización	4
1.2.5. Estructura organizativa	4
1.2.6. Proyectos.....	5
1.2.7. Productos y servicios	5
1.3. OBJETIVOS	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
1.4. METODOLOGÍA	6
1.4.1. Fase de gabinete	6
1.4.2. Fase de campo	7
A. Entrevistas	7
B. Observación	7
1.5. RESULTADOS	7
1.5.1. Herramienta para análisis de la información	7
A. Análisis FODA	8
B. Análisis de información	10
1.6. CONCLUSIONES	12
1.7. RECOMENDACIONES.....	12
1.8. BIBLIOGRAFÍA.....	12
CAPÍTULO II “EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN A TRAVÉS DE UN MODELO A ESCALA COMO PARTE DE UN PROCESO FÍSICO-QUÍMICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL MUNICIPIO DE MIXCO, GUATEMALA, C.A.”	15

CONTENIDO	PÁGINA
2.2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.2.1. Marco conceptual.....	19
A. Industria textil	19
a. Sustrato	19
b. Insumos.....	19
c. Maquinaria	20
d. Mano de obra	20
B. Aguas residuales.....	20
a. Aguas residuales de la industria textil.....	20
b. Tratamiento de aguas residuales	21
i. Tratamientos primarios.....	21
ii. Tratamientos secundarios	22
iii. Tratamientos terciarios.....	22
C. Métodos/ tecnologías para el tratamiento de aguas.....	22
a. Coagulación química.....	22
i. Coagulación	22
ii. Influencia del pH.....	22
iii. Influencia de las sales disueltas	23
iv. Influencia de la temperatura del agua	23
v. Influencia de la dosis del coagulante.....	23
vi. Influencia de mezcla.....	23
vii. Influencia de la turbidez	24
D. Floculación	24
E. Electrocoagulación	24
a. Reacciones involucradas en la electrocoagulación	25
ii. Cátodo.....	25
b. Factores que afectan la electrocoagulación	25
i. Densidad de carga	26
ii. Amperaje	26
iii. pH.....	26
iv. Presencia de NaCl	27
v. Tiempo	27
vi. Temperatura.....	27

CONTENIDO	PÁGINA
c. Reactores para procesos de electrocoagulación	27
i. Tipo Batch	28
ii. Circuitos monopolares en paralelo y en serie	29
2.2.2. Marco referencial	30
A. Antecedentes.....	30
B. Municipio de Mixco	31
a. Geografía.....	31
b. Clima	32
c. Población	32
d. Industria textil en el municipio de Mixco	32
e. Composición química de las descargas de la industria textil	33
f. Problemas ambientales en el municipio de Mixco ocasionados por la industria textil	33
g. Importancia ambiental, económica y social	34
2.3. OBJETIVOS	36
2.3.1. Objetivo general.....	36
2.3.2. Objetivos específicos.....	36
2.4. HIPÓTESIS	36
2.5. METODOLOGÍA	37
2.5.1. Análisis físico químico	37
A. Origen de las muestras evaluadas	37
B. Diseño y construcción del prototipo	37
a. Celda de electrocoagulación	37
b. Electrodos.....	38
c. Fuente de poder	38
C. Manejo del experimento	38
D. Establecimiento del ensayo	39
a. Diseño experimental	39
b. Tratamientos.....	40
c. Número de repeticiones.....	40
d. Número de unidades experimentales	40
e. Distribución espacial de los tratamientos.....	40
E. Variables de respuesta	41
F. Comparación y análisis de resultados	42

CONTENIDO	PÁGINA
a. Modelo estadístico	42
b. Análisis de varianza	42
c. Prueba múltiple de medias	42
2.5.2. Análisis económico.....	43
A. Costos de inversión.....	43
B. Costos de operación	43
a. Consumo de energía eléctrica.....	43
b. Materia prima	44
c. Mantenimiento de equipos	44
d. Mano de obra	44
C. Análisis financiero (Costo anual uniforme equivalente CAUE y flujo de caja)	45
a. Flujo de caja	45
b. Costo anual uniforme equivalente CAUE	45
2.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
2.6.1. Análisis físico químico	46
A. Análisis estadístico	49
a. Turbidez	49
b. Temperatura.....	50
2.6.2. Análisis económico.....	53
A. Costos de inversión.....	53
B. Costos de operación	53
a. Consumo de energía eléctrica.....	53
b. Consumo de materia prima	55
c. Mantenimiento de equipos	55
d. Mano de obra	56
C. Análisis financiero	56
a. Flujo de caja	56
b. Costo anual uniforme equivalente (CAUE).....	61
2.8. RECOMENDACIONES	65
2.9. BIBLIOGRAFÍA	66
2.10. ANEXOS	71
.....	79
CAPÍTULO III SERVICIOS PRESTADOS A LA EMPRESA GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS S.A.	79

CONTENIDO	PÁGINA
3.1. PRESENTACIÓN	81
3.2. Servicio # 1. Elaboración de guía para implementar un sistema de economía circular dentro de la empresa	81
3.2.1. OBJETIVOS	81
3.2.2. METODOLOGÍA	81
A. Revisión bibliográfica.....	81
B. Capacitación en línea sobre el tema.....	82
C. Actividades	82
D. Realización de la guía	82
3.2.3. RESULTADOS	83
A. Guía sobre economía circular.....	83
3.2.3. EVALUACIÓN	92
3.3. Servicio # 2. Asistencia para el cumplimiento legal ambiental.....	92
3.3.3. Objetivos.....	92
3.3.4. METODOLOGÍA.....	93
A. Incentivos	93
B. Licencias.....	93
C. Marco legal ambiental empresarial	93
D. Política ambiental	93
3.3.5. RESULTADOS	94
A. Pasos técnicos y legales para la obtención del incentivo sello verde por parte del MARN.	94
b. Marco legal ambiental GIRHSA.....	97
C. Política ambiental empresarial.....	102
E. Actividades no planificadas.....	106
3.4. Servicio # 3. Consultoría ambiental para recicladora de envases de plástico en el oriente del país.	107
3.4.3. OBJETIVOS	107
3.4.4. METODOLOGÍA.....	107
A. Primera visita de campo	107
B. Inicio fase de gabinete.....	107
C. Segunda visita de campo	108
D. Finalización del documento	108
3.4.5. RESULTADOS	108

CONTENIDO	PÁGINA
A. Identificación de impactos ambientales a través de la matriz de Leopold	109
B. Análisis de los impactos	111
3.4.6. EVALUACIÓN	113
3.5. BIBLIOGRAFÍA	114

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Organigrama GIRHSA.....	5
Figura 2 ^a . Ubicación de la empresa actualmente.	13
Figura 3 ^a . Fachada.	13
Figura 4. Fragmento proceso primario en aguas residuales.	20
Figura 5. Reactor con electrodos monopolares conectados en paralelo.	28
Figura 6. Reactor con electrodos monopolares conectados en serie.	28
Figura 7. Celda de electrocoagulación.	36
Figura 8. Sistema de electrocoagulación.	37
Figura 9. Croquis de campo.	40
Figura 10. Muestras de agua residual de cada tratamiento luego de haber sido sometidas a diferentes amperajes.	48
Figura 11 ^a . Prototipo de electrocoagulación perspectiva área.	70
Figura 12 ^a . Prototipo de electrocoagulación a escala pasados 10 minutos a 13 A.	70
Figura 13 ^a . Testigo y 4 amperios.	71
Figura 14 ^a . Testigo y 7 amperios.	71
Figura 15 ^a . Testigo y 13 amperios.	72
Figura 16 ^a . Testigo y 15 amperios.	72
Figura 17 ^a . Testigo.	73
Figura 18 ^a . Muestra sometida a 4 amperios.	73
Figura 19 ^a . Muestra sometida a 7 amperios.	74
Figura 20 ^a . Muestra sometida a 13 amperios.	74
Figura 21 ^a . Muestra sometida a 15 amperios.	75
Figura 22 ^a . Supuesto de normalidad para el análisis estadístico del parámetro de turbidez.	75
Figura 23 ^a . Supuesto de homogeneidad para el análisis estadístico de turbidez.	76
Figura 24 ^a . Supuesto de normalidad para el análisis estadístico del parámetro de temperatura.	76
Figura 25 ^a . Supuesto de homogeneidad para el análisis estadístico de temperatura.	77
Figura 26 ^a . Supuesto de homogeneidad para el análisis estadístico de Ph.	77
Figura 27. Pasos básicos hacia un modelo de economía circular.	88
Figura 28. Representación gráfica de los pasos técnicos como legales para la obtención del sello verde por parte del MARN.	96

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1. FODA de la empresa.....	8
Cuadro 2. Análisis de información.	10
Cuadro 3. Variables por considerar dentro del proceso de tratamiento.	40
Cuadro 4. Resumen de parámetros físico químicos obtenidos.	45
Cuadro 5. Análisis de varianza y prueba múltiple de medias para turbidez.	48
Cuadro 6. Análisis de varianza y prueba múltiple de medias de temperatura.....	50
Cuadro 7. Análisis de varianza y prueba múltiple de medias para Ph.	51
Cuadro 8. Costo de inversión.....	52
Cuadro 9. Consumo de energía.	52
Cuadro 10. Determinación de consumo de energía.....	53
Cuadro 11. Resumen de costos de consumo de energía eléctrica para cada tratamiento.	53
Cuadro 12. Materia prima.	54
Cuadro 13. Resumen de costos operacionales de los tratamientos, considerando la periodicidad de cada rubro.....	55
Cuadro 14. Costo del consumo de energía eléctrica mensual con 22 días laborales.	56
Cuadro 15. Costo del consumo de materia prima con 22 días laborales.	56
Cuadro 16. Proyección de los costos operacionales de tres años para el tratamiento 1. ...	57
Cuadro 17. Proyección de los costos operacionales de tres años para el tratamiento 2. ...	57
Cuadro 18. Proyección de los costos operacionales de tres años para el tratamiento 3. ...	58
Cuadro 19. Proyección de los costos operacionales de tres años para el tratamiento 4. ...	58
Cuadro 20. Flujo de egresos anuales para tratamiento 1.	59
Cuadro 21. Flujo de egresos anuales para tratamiento 2.	59
Cuadro 22. Flujo de egresos anuales para tratamiento 3.	59
Cuadro 23. Flujo de egresos anuales para tratamiento 4.	59
Cuadro 24. Resumen del valor presente neto (VPN) calculado para cada tratamiento.	60
Cuadro 25. Resumen de costo anual uniforme equivalente (CAUE) de cada tratamiento.	61
Cuadro 26. Recopilación de principios de la economía circular.....	83
Cuadro 27. Actividades enfocadas al funcionamiento de la empresa.	88
Cuadro 29. Criterios.....	109
Cuadro 30. Matriz de Leopold.	110
Cuadro 31. Análisis de resultados.	111

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN A TRAVÉS DE UN MODELO A ESCALA COMO PARTE DE UN PROCESO FÍSICO-QUÍMICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN LA EMPRESA GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO S.A. EN EL MUNICIPIO DE MIXCO, GUATEMALA, C.A.

RESUMEN

En el presente documento, se da a conocer el trabajo realizado en la empresa Gestión Integrada de Recursos Hídricos S.A. Guatemala, durante el Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía -EPSA-, en los meses de febrero a noviembre de 2020, en el municipio de Mixco, departamento de Guatemala. Este trabajo, contiene tres capítulos: los cuales abarcan el diagnóstico de la empresa, seguido de la investigación titulada “Evaluación del sistema de electrocoagulación a través de un modelo a escala como parte de un proceso físico-químico en el tratamiento de aguas residuales de la industria textil en el municipio de Mixco, C.A.” y por último los servicios ofrecidos durante este periodo.

El Capítulo I contiene un diagnóstico general de la empresa Integrada de Recursos Hídricos S.A. ubicada en el municipio de Mixco, Guatemala, donde se sintetiza información relevante sobre la situación y las tendencias de la empresa. De la misma manera se identificaron algunos problemas a través de la herramienta de análisis FODA, contemplando estos, se priorizaron dichos problemas, escogiendo así el problema más relevante para dar origen a la investigación.

El segundo Capítulo II trata sobre la investigación, cuyo propósito fue evaluar el amperaje óptimo en el sistema de electrocoagulación para el proceso físico-químico del tratamiento de aguas residuales de la industria textil a través de un modelo escala en el periodo mayo-septiembre del año 2020. Para la ejecución del experimento se evaluaron cuatro

tratamientos, correspondientes a cuatro diferentes amperajes: 4, 7, 13 y 15 A, además de un testigo absoluto.

Los parámetros físico-químicos que se consideraron fueron pH, temperatura y turbidez; además se realizó un análisis económico con la finalidad de identificar el tratamiento más recomendable.

Los resultados obtenidos demostraron que la muestra de agua residual con mejor parámetro de turbidez fue el tratamiento uno al aplicar una intensidad de carga de cuatro amperios respecto al testigo ya que en promedio la turbidez se redujo en un 67.79 % (278.6 UNT) respecto al testigo y

la temperatura, no se observó cambios significativos al aplicar las diferentes intensidades de carga mientras que, para el parámetro de pH, se verificó que a medida que se aumentó la intensidad de carga, este fue disminuyendo. Es decir, todos aumentaron respecto al testigo, pero se mostró un crecimiento inversamente proporcional a los amperios aplicados en los tratamientos, mientras que, en el análisis económico realizado, se identificó que el tratamiento 1 (4 amperios), fue el que mostró el menor indicador financiero (CAUE) de todos, con un valor de – Q. 6,935.03.

En el Capítulo III finalmente, se presentan los servicios profesionales brindados a la empresa, el primero fue la elaboración de una guía para la implementación de un sistema de economía circular dentro de la empresa, asistencia para el cumplimiento legal, lo cual abarca una política ambiental empresarial, un marco legal ambiental, e información acerca de incentivos ambientales y licencias por parte del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-, por último, una consultoría ambiental.

CAPÍTULO I
DIAGNÓSTICO REALIZADO A LA EMPRESA GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS
HÍDRICOS S.A.

1.1. PRESENTACIÓN

El agua es un recurso fundamental, considerado por muchos como el más importante y la base de toda forma de vida. No solo es importante como fuente de consumo directo, sino que de forma indirecta sirve para usos domésticos (como higiene personal, limpieza del hogar, etc.) y muchas industrias (textiles, agrícolas, pecuarias, etc.) las cuales pueden llegar a un impacto ambiental significativamente negativo al reincorporar las aguas residuales a un cauce natural sin previo tratamiento.

Es aquí donde Gestión Integrada de Recursos Hídricos S.A. -GIRHSA- juega un papel social importante, ya que se especializan en la gestión de proyectos relacionados con la ingeniería del agua, brindando soluciones integrales para la distribución y tratamiento del agua de proceso residual en el área municipal e industrial con los más altos estándares de calidad, en beneficio del desarrollo sostenible de nuestra sociedad y conservación del medio ambiente.

1.2. MARCO REFERENCIAL

1.2.1. Descripción de la entidad

Gestión Integrada de Recursos Hídricos S.A. -GIRHSA- nace en el año 2013, empresa guatemalteca especializada en ingeniería del agua en sector municipal e industrial. Provee soluciones a la medida en acondicionamiento de agua para proceso y consumo, así como en tratamiento de aguas residuales.

A lo largo de los años se ha desarrollado un equipo multidisciplinar y altamente calificado dedicado al desarrollo tecnológico para beneficio directo de sus clientes.

1.2.2. Misión

Es una organización dedicada a la ingeniería con especialización en gestión de proyectos relacionados con la ingeniería del agua. Provee soluciones integrales para la distribución y tratamiento del agua de proceso residual en el área municipal e industrial con los más altos estándares de calidad, en beneficio del desarrollo sostenible de nuestra sociedad y conservación del medio ambiente.

1.2.3. Visión

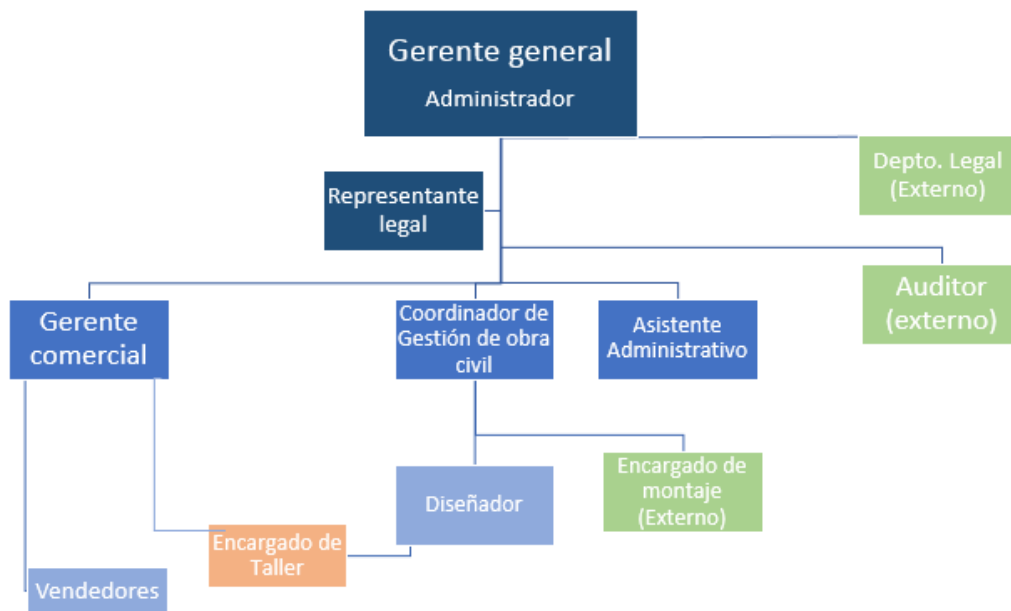
Empresa sólida y de prestigio gracias al compromiso con sus clientes, ofreciendo soluciones integrales y a la medida de sus necesidades que funcionan adecuadamente en el sector municipal e industrial de Guatemala y Centro América (GIRHSA, 2020).

1.2.4. Localización

La empresa cuenta con un espacio dividido en una pequeña oficina en la cual se desarrolla el trabajo administrativo, y un taller de construcción y suministro de tecnología, con la siguiente dirección:

- 5 avenida A 17-48 zona 11 de Mixco, colonia Colinas de Minerva.

1.2.5. Estructura organizativa



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 1. Organigrama GIRHSA

1.2.6. Proyectos

Al tener alianzas claves en diferentes sectores productivos, han realizado desde plantas de tratamiento en el oriente del país, equipamiento de planta de tratamiento de aguas residuales Tzanjuyu en el municipio de Panajachel, departamento de Sololá, equipamiento de plantas para Minas del pueblo, se han realizado mejoras en la planta de tratamiento de AVASA, también han trabajado en sistemas de tratamiento de aguas con contenido de agroquímicos en ingenios como Pantaleón, hasta sistemas y diseños de cloración con clorogas para municipalidades en el norte del país.

En la actualidad han realizado más de 25 proyectos para los diferentes sectores productivos del país, Centro América y El Caribe.

1.2.7. Productos y servicios

Cuenta con sistemas y tecnologías para tratamiento de aguas residuales, tanto domésticas como especiales, los sistemas para purificación o adecuación de calidad del agua para uso comercial o de proceso y los sistemas de bombeo. Como fabricante y distribuidor GIRHSA pone a disposición del cliente experiencias exitosas y soluciones adecuadas a los usos que precise.

Debido a la condición de diseñador y fabricante, la empresa estudia cada uno de los casos para ofrecer una solución con un índice de éxito asegurado.

A lo largo de su experiencia en fabricación de equipos en su taller de fabricación propio, combinan la fortaleza de un potente equipo de diseño con la más alta tecnología de diseño. Los valores que transmiten a sus colaboradores se expanden implícitos en los productos, siendo la mejor opción para el público.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Determinar la situación y las tendencias de la empresa GIRHSA en el periodo de febrero-noviembre del año 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar las actividades, productos y servicios de la empresa Gestión Integrada de Recursos Hídricos S.A. (GIRHSA) a través de información recopilada en fuentes primarias y secundarias.
2. Identificar la problemática en la empresa Gestión Integrada de Recursos Hídricos S.A. (GIRHSA) a través de la herramienta de análisis FODA.
3. Realizar recomendaciones que den solución a los problemas identificados.

1.4. METODOLOGÍA

1.4.1. Fase de gabinete

Para el desarrollo de esta etapa se disponía de un periodo de dos meses aproximadamente, en la cual se buscaba recopilar la mayor cantidad de información posible acerca de la institución GIRHSA, en la cual se está prestando servicio. Debido a que la empresa lleva muy poco tiempo en el mercado, se vuelve complicado recurrir a fuentes secundarias de información, por lo tanto, se realizó una recopilación de información a través de fuentes primarias las cuales fueron la entrevista, y la revisión de documentos de proyectos realizados por la empresa.

1.4.2. Fase de campo

A. Entrevistas

Debido a que la mayor cantidad de información se obtuvo por medio de fuentes primarias, se utilizó un instrumento que facilitó la obtención de esta por medio de entrevistas a los actores de la empresa.

B. Observación

Se realizó un acompañamiento de las actividades realizadas en este periodo, para conocer el “Modus operandi” de la empresa y tratar de recopilar la mayor cantidad de información a través de un proceso de observación y vaciado de información, también se solicitó la revisión de documentos de proyectos realizados por la empresa.

1.5. RESULTADOS

1.5.1. Caracterización de las actividades, productos y servicios de la empresa

Al tener alianzas claves en diferentes sectores productivos, han realizado desde plantas de tratamiento en el oriente del país, equipamiento de planta de tratamiento de aguas residuales Tzanjuyu en el municipio de Panajachel, departamento de Sololá, equipamiento de plantas para Minas del pueblo, se han realizado mejoras en la planta de tratamiento de AVASA, también han trabajado en sistemas de tratamiento de aguas con contenido de agroquímicos en ingenios como Pantaleón, hasta sistemas y diseños de cloración con clorogás para municipalidades en el norte del país.

En la actualidad han realizado más de 25 proyectos para los diferentes sectores productivos del país, Centro América y El Caribe.

Cuenta con sistemas y tecnologías para tratamiento de aguas residuales, tanto domésticas como especiales, los sistemas para purificación o adecuación de calidad del agua para uso comercial o de proceso y los sistemas de bombeo. Como fabricante y distribuidor GIRHSA

pone a disposición del cliente experiencias exitosas y soluciones adecuadas a los usos que precise.

A lo largo de su experiencia en fabricación de equipos en su taller de fabricación propio, combinan la fortaleza de un potente equipo de diseño con la más alta tecnología de diseño. Los valores que transmiten a sus colaboradores se expanden implícitos en los productos, siendo la mejor opción para el público.

1.5.2. Herramienta para la identificación de la problemática

A. Análisis FODA

El análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) es una herramienta para identificar factores positivos y negativos en las distintas áreas de la empresa, lo cual sirvió para diagnosticar la situación actual en los procesos.

Cuadro 1. FODA de la empresa

Fortalezas	Oportunidades
• Diseño y fabricación con base en estándares preestablecidos. • Altos estándares en tecnología. • Recurso humano especializado. • Soporte técnico inmediato. • Conocimiento del mercado. • Capacidad de adaptarse a las necesidades y exigencias del cliente. • Alianzas claves en diferentes sectores productivos.	• Acceso nacional e internacional. • Crecimiento de demanda. • Avance tecnológico. • Demora que tardan otras empresas en despachos.



Debilidades	Amenazas
• Se requiere mucha inversión para productos. • Proyectos estancados. • Escaso aprovechamiento de los desechos generados. • Mala disposición del espacio del área productiva.	• Competencia con precios más económicos. • Entrada de nuevos competidores. • Perdidas de mercados por altos costos y riesgos operativos. • Aumento de precio de insumos. • Débil legislación referente al tratamiento de aguas residuales.

Fuente: elaboración propia, 2020.

B. Análisis de información
Cuadro 2. Análisis de información.

MATRIZ DE ANALISIS FODA	Fortalezas (F) • Diseño y fabricación con base en estándares prestablecidos. • Altos estándares en tecnología. • Recurso humano especializado. • Soporte técnico inmediato. • Conocimiento del mercado. • Capacidad de adaptarse a las necesidades y exigencias del cliente. • Alianzas claves en diferentes sectores productivos.	Debilidades (D) • Se requiere mucha inversión para productos. • Proyectos estancados. • Escaso aprovechamiento de los desechos generados. • Mala disposición del espacio del área productiva.
Oportunidades (O) • Acceso nacional e internacional. • Crecimiento de demanda. • Avance tecnológico.	ESTRATEGIA (FO) Aprovechar el crecimiento de la demanda, acaparando nuevos clientes a través de alianzas claves en diferentes sectores productivos, proporcionando diseño y fabricación con base en altos estándares en tecnología y recurso humano especializado.	ESTRATEGIA (DO) Implementar nuevas técnicas para el aprovechamiento de desechos generados que representen un beneficio económico para empresa.

• Demora que tardan otras empresas en despachos.		
Amenazas (A) • Competencia con precios más económicos. • Entrada de nuevos competidores. • Pérdidas de mercados por altos costos y riesgos operativos. • Aumento de precio de insumos. • Débil legislación referente al tratamiento de aguas residuales.	ESTRATEGIA (FA) Evitar que la competencia con precios más económicos represente un problema a futuro a la institución manteniendo altos estándares en diseño, fabricación, tecnología y servicios.	ESTRATEGIA (DA) Agilizar proyectos estancados para evitar pérdida de clientes por nuevos competidores con precios más económicos.

Fuente: elaboración propia, 2020

Mas adelante se encuentra un apartado con una lista de recomendaciones respecto a los problemas aquí identificados.

1.6. CONCLUSIONES

1. La empresa actualmente cuenta con sistemas y tecnologías para tratamiento de aguas residuales, tanto domésticas como especiales, los sistemas para purificación o adecuación de calidad del agua para uso comercial o de proceso y los sistemas de bombeo, debido a la condición de diseñador y fabricante, la empresa estudia cada uno de los casos para ofrecer una solución con un índice de éxito asegurado.
2. Inicialmente se determinó que en la empresa Gestión Integrada de Recursos Hídricos S.A. existe una mala disposición del espacio en el área de taller, lo cual representa una disminución de eficiencia para la elaboración de materiales, además, se identificó que existe un escaso aprovechamiento de los desechos generados y que existen proyectos que no se han finalizado en el plazo de tiempo estipulado de forma previa por lo que se presentaron alternativas para dar solución a algunos de los problemas que al principio se observaron a lo largo de los meses se fueron presentando cambios y priorizaciones en los mismos los cuales se ven reflejados en los servicios prestados.

1.7. RECOMENDACIONES

1. Plantearse objetivos a corto, mediano y largo plazo, presionar al área comercial para llegar a ellos e incrementar ventas.
2. Delegar funciones.
3. Tener una comunicación efectiva para administrar mejor el tiempo y recursos, así optimizar sus resultados reflejado en productos de calidad en un periodo más corto.
4. Aplicar la administración por procesos, no por funciones, de manera que los colaboradores entiendan que sus responsabilidades van más allá de funciones específicas y que en realidad se prioricen los procesos que existen dentro de la empresa.

1.8. BIBLIOGRAFÍA

1. Gestión Integrada de Recursos Hídricos, Guatemala (GIRHSA). (2020). GIRHSA, nuestras soluciones. <http://girhsa.com/>

1.9. ANEXOS





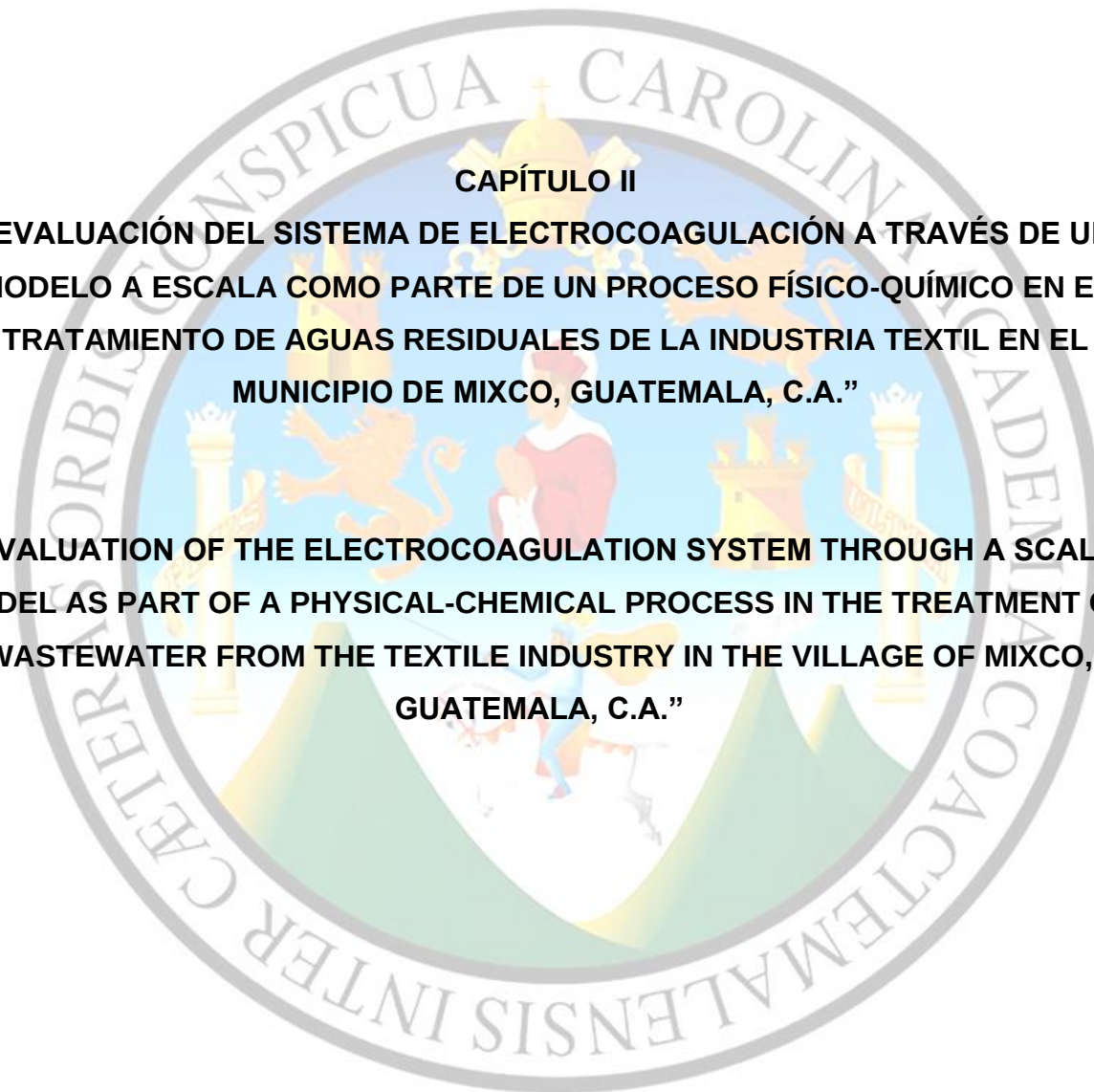
Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 2A. Ubicación de la empresa actualmente.



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 3A. Fachada.



CAPÍTULO II

“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN A TRAVÉS DE UN MODELO A ESCALA COMO PARTE DE UN PROCESO FÍSICO-QUÍMICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL MUNICIPIO DE MIXCO, GUATEMALA, C.A.”

“EVALUATION OF THE ELECTROCOAGULATION SYSTEM THROUGH A SCALE MODEL AS PART OF A PHYSICAL-CHEMICAL PROCESS IN THE TREATMENT OF WASTEWATER FROM THE TEXTILE INDUSTRY IN THE VILLAGE OF MIXCO, GUATEMALA, C.A.”

2.1. PRESENTACIÓN

La industria textil, según datos de la asociación de la industria de vestuario y textiles de Guatemala -VESTEX- (2020), aporta un 8.9 % al PIB Nacional, con aproximadamente 1,644 millones de dólares exportados. Este sector se ha visto envuelto en polémicas a lo largo de los años por su manejo de aguas residuales ya que éstas cuentan con una gran carga de contaminantes, siendo los colorantes los más importantes, ya que son diseñados para ser muy resistentes, volviendo el proceso de tratamiento más complejo debido a su naturaleza química, por lo que se vuelve importante encontrar alternativas eficientes y económicas para la separación de estos contaminantes del agua.

La falta de tratamiento de aguas residuales en Guatemala es uno de los problemas más serios, ya que causa diferentes grados de contaminación a los ecosistemas. La industria textil en Guatemala, según VESTEX, se esperaba que alcanzara en el 2019 un valor cercano a US\$ 2 mil millones, representando el 19 % de la producción industrial nacional (PIB Industrial), siendo así el sector industrial más importante para la economía nacional. Este sector genera un impacto considerable en el recurso hídrico, ya que para desarrollar sus procesos productivos se consumen volúmenes grandes de agua, por 1 kg de material se utiliza 7 L de agua.

En el año 2012 se produjo 54.5 millones de kg de material textil, esto quiere decir que se utilizó cerca de 381.5 millones de litros de agua solamente para el proceso de pretratamiento. Se han encontrado casos en el país en el que los colorantes presentes en las aguas residuales del sector de vestuarios y textiles de Guatemala han contaminado cuerpos de agua naturales (Central America Data, 2019).

Un ejemplo de estos casos es el río Samalá, ubicado en el departamento Quetzaltenango, el cual se tiñó de rojo, resultado de descargas de aguas residuales con tintes utilizados para la confección de prendas sin un tratamiento previo (EFEverde, 2016).

La electrocoagulación es un proceso que utiliza la electricidad para eliminar contaminantes en el agua que se encuentran suspendidos, o disueltos, a través de la inducción de corriente eléctrica en el agua residual mediante placas metálicas paralelas de diversos materiales. Al

ser una alternativa eficiente para la separación de contaminantes en el tratamiento de aguas residuales juega un papel muy importante, pero hasta el momento no se cuenta con información concreta acerca del amperaje para la optimización de su funcionamiento.

Por lo tanto, crear información sobre la mejora del funcionamiento de éste para la separación de contaminantes generados por la industria textil, es importante para dar soluciones factibles.

En esta investigación se evaluaron diferentes amperajes en el sistema de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales utilizando una muestra de agua residual proporcionada por una empresa dedicada a la confección de prendas de vestir ubicada en la zona 7 del municipio de Mixco, correspondiente al proceso de lavandería.

En cuanto a resultados, determinó que la cantidad óptima para el manejo de la celda de electrocoagulación fue de 13 amperios, ya que con esta cantidad de corriente se pudo remover la mayor cantidad de turbiedad presente en el agua tratada, con base en el análisis económico realizado, se identificó que el tratamiento más recomendable es el tratamiento 1 (4 amperios), considerando que la electrocoagulación es solo una etapa dentro del tratamiento de aguas residuales.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Marco conceptual

A. Industria textil

Es la industria que se dedica a la producción de fibras naturales y sintéticas, y productos relacionados con la fabricación y tinturado de prendas de vestir; transformando las fibras (naturales o artificiales) en hilos utilizables. Los distintos procesos en la producción de textiles manejan una gran diversidad de productos químicos, los cuales han sido responsables de la generación de carga contaminante en el agua (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 1996).

Actualmente se han implementado nuevas tecnologías para controlar estos procesos y tratar los efluentes afectados, con el propósito de alcanzar niveles altos de eficiencia, rentabilidad, y reducir los riesgos que conlleva para el ser humano y medio ambiente (Lockuán, 2012).

Según Lockuán (2012) el proceso de tinturado cuenta con cuatro factores esenciales: el sustrato, los insumos, la maquinaria y el recurso humano, los cuales se describen a continuación:

a. Sustrato

Abarca todo el material que se va a teñir, ya sean fibras, hilos, tejidos o incluso prendas.

b. Insumos

Son todos aquellos agentes que efectúan un cambio de color (colorantes y blanqueadores ópticos) o bien, ayudan durante el proceso de tintorería a obtener resultados óptimos (productos químicos, productos auxiliares y enzimas).

c. Maquinaria

Depende del sistema de trabajo, pueden ser tres: sistema continuo, discontinuo o semicontinuo.

d. Mano de obra

Es el factor más importante, ya que en este cae la responsabilidad, pues es quien decide a los anteriores, comprende a los niveles operativos, medios y directivos (Lockuán, 2012).

B. Aguas residuales

Son aquellas que provienen de las diversas actividades realizadas por el ser humano, de acuerdo con su origen se puede clasificar en domésticas e industriales. Si son de origen doméstico presentan características particulares a diferencia de las provenientes de la actividad industrial, aunque en algunas ocasiones puntuales pueden ser semejantes. Esto produce un problema ambiental, por lo cual es preciso tratarlas con diversos procesos para evitar la contaminación de los cuerpos de agua (BID, 2005).

a. Aguas residuales de la industria textil

Según la ONU (2019), la industria textil tiene un alto consumo de agua en sus procesos de teñido y procesos de lavado en general, considerando el volumen y la composición de sus efluentes, las aguas residuales de la industria textil son una de las más contaminantes de todos los sectores industriales, produciendo un 20 % de las aguas residuales a nivel mundial.

Dependiendo del proceso tiene las siguientes características:

- Tinturado: alcalinas, coloreadas, mayor demanda biológica de oxígeno (DBO), temperaturas altas, sólidos en suspensión altos.
- Lavandería: alta turbidez, alcalinidad, sólidos orgánicos, coloreadas, temperaturas altas (Lenntech, 2019).

b. Tratamiento de aguas residuales

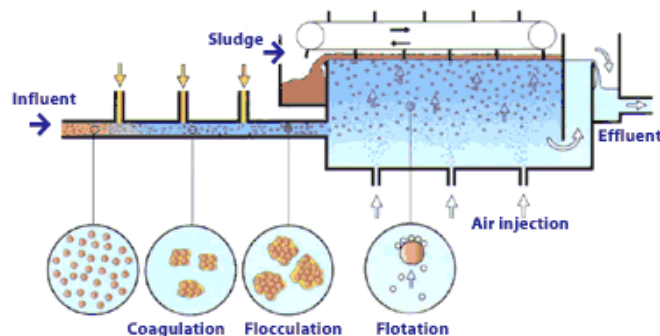
En la actualidad existen varios tipos de tratamiento para aguas residuales, cada uno de ellos aplicable de acuerdo con los parámetros físico-químicos y biológicos del efluente a tratar.

A un agua residual doméstica por lo general se le puede realizar un tratamiento biológico, ya que presenta una gran cantidad de materia orgánica en ella, por ende, tienen la característica de ser bastante biodegradables permitiendo que las bacterias fundamentales en los procesos biológicos puedan realizar su función (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 1996).

Por otro lado, el agua residual industrial, habitualmente no contienen una cantidad significativa de componentes que sean biodegradables por lo que un proceso biológico no es lo ideal, en este caso lo factible es realizar un físico-químico (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 1996).

i. Tratamientos primarios

Entre estos hallamos fisicoquímicos como lo son la sedimentación, coagulación, floculación y filtración, los cuales son útiles para eliminar sólidos suspendidos, coloides y algunos sólidos inorgánicos disueltos (Fair, Geyer & Okun, 1973) como se observa en la figura 4.



Fuente: Partner S.A., 2020.

Figura 4. Fragmento proceso primario en aguas residuales.

ii. Tratamientos secundarios

Existe para la eliminación de desechos y sustancias que el proceso anterior (sedimentación) no eliminó, se pueden expeler las partículas coloidales y similares, puede incluir procesos biológicos y químicos. Este tipo de tratamiento se acelera la descomposición de los contaminantes orgánicos (Fair, Geyer & Okun, 1973).

iii. Tratamientos terciarios

Estos procesos son muy específicos y eliminan, en muchos casos, la totalidad de compuestos químicos residuales que no alcanzan a ser eliminados por procesos primarios o secundarios, entre ellos adsorción, ósmosis inversa, remoción por espuma, entre otros (Fair, Geyer & Okun, 1973).

C. Métodos/ tecnologías para el tratamiento de aguas

a. Coagulación química

i. Coagulación

“Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado” (López, 2017).

ii. Influencia del pH

Esta es una de las variables más importantes por considerar al momento del proceso de coagulación, por lo que para cada tipo de agua existe un rango de pH óptimo, esto depende del tipo de los iones y la alcalinidad del agua. El rango para sales de aluminio en el proceso es de 6.5 a 8.0, mientras que el rango optimo en hierro es de 5.5 a 8.5 unidades, estos son los metales más comunes (CEPIS, 2004).

iii. Influencia de las sales disueltas

Las sales contenidas dentro del agua ejercen ciertas influencias, por lo tanto, ciertas modificaciones sobre la coagulación y floculación entre ellas las siguientes:

- Alteración del rango de pH óptimo.
- Alteración del tiempo requerido para la floculación.
- Alteración de la cantidad de coagulantes requeridos.
- Alteración de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.

iv. Influencia de la temperatura del agua

La variación de 1 °C en la temperatura del agua lleva a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados provocando una alteración en la energía cinética de las partículas en suspensión, lo cual conlleva a un proceso de coagulación más lento; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación (CEPIS, 2004).

v. Influencia de la dosis del coagulante

La cantidad del coagulante a emplear tiene relación directa con la eficiencia de la coagulación, por lo que una dosis óptima es esencial, esta dosis permite la obtención de mejores resultados en cuanto la remoción de turbidez y de contaminantes presentes en el agua. Muy poco coagulante y alta cantidad de éste ocasionan problemas en la formación de flóculos y disminuyen la eficiencia de la coagulación (CEPIS, 2004).

vi. Influencia de mezcla

El grado de agitación que se da durante la añadidura del coagulante, es primordial ya que esta determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta fracción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra tenga menor o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, esto asegura que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido de la manera correcta y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondientes (CEPIS, 2004).

vii. Influencia de la turbidez

Es un parámetro muy importante dentro del proceso de la coagulación química debido a que cada una posee una dosis precisa de coagulante en la cual se obtiene una turbidez residual más baja (CEPIS, 2004).

D. Floculación

Es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan entre sí, para promover el crecimiento del flóculo hasta alcanzar el tamaño y peso necesario para posterior remoción mediante sedimentación (Fair, Geyer & Okun, 1973).

E. Electrocoagulación

La electrocoagulación es un proceso que utiliza la electricidad para eliminar contaminantes en el agua que se encuentran suspendidos, o disueltos. La técnica consiste en inducir corriente eléctrica en el agua residual a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, dentro de los más comúnmente utilizados están el hierro y el aluminio (Mollah, y otros, 2004)

Se considera que durante el proceso de electrocoagulación interceden tres etapas: primero la formación del coagulante por oxidación electrolítica del metal del ánodo, luego se da la desestabilización de los contaminantes y emulsiones, por último, facilitando la formación de flóculos por agregación de partículas del agente contaminante o adsorción de éstas en el coagulante (Piña, Gonzales, Prieto, Guevara & García, 2011).

El proceso de electrocoagulación es afectado por varios factores. Entre los más importantes se encuentran la naturaleza y concentración de los contaminantes, el pH del agua entre otros. Estos factores determinan y controlan las reacciones ocurridas en el sistema y la formación del coagulante (Arango, & Garcés, 2007).

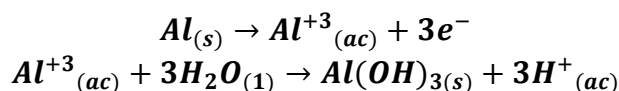
La electrocoagulación es utilizada en la remoción de contaminantes de muy diversas aguas residuales, tales como las de la industria de galvanoplastia, fábricas de envasados, industria del papel (desperdicios de molinos de papel), molinos de acero, efluentes con contenido de cromo, plomo o mercurio y efluentes con contenido de aceites como los generados por

talleres de maquinaria, refinerías, talleres de reparación de autos, transporte, almacenamiento y distribución de aceites, efluentes de la industria alimentaria, lavanderías e industria textil, y finalmente ha sido utilizada en la remoción de los contaminantes de las aguas para consumo humano y residuales domésticas (Arango, 2009).

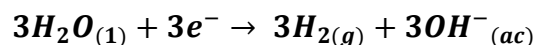
a. Reacciones involucradas en la electrocoagulación

Chang (2007) afirma que las reacciones más importantes que pueden sufrir las partículas de contaminantes son: hidrólisis, electrólisis, reacciones de ionización y formación de radicales libres. Las reacciones de electrocoagulación dependen del material de los electrodos, para el caso del aluminio, son las siguientes:

i. Ánodo



ii. Cátodo



Los iones de Al^{+3} en combinación con los OH^{-} reaccionan para formar algunas especies monoméricas como $Al(OH)_2^{+}$, $Al_2(OH)_2^{+}$ y otras poliméricas tales como $Al_6(OH)_{15}^{3+}$, $Al_7(OH)_{17}^{4+}$, $Al_8(OH)_{20}^{4+}$ y $Al_{13}(OH)_{34}^{+5}$ que por procesos de precipitación forman el $Al(OH)_{3(s)}$ que es una sustancia de carácter gelatinoso que expone una gran área superficial con propiedades absorbentes y que es propicia para los procesos de adsorción y atracción de las partículas contaminantes (Arango, 2005).

b. Factores que afectan la electrocoagulación

Según Chen (2004) son diversos los factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación y algunos de estos factores tienen mayor influencia sobre el proceso. A continuación, se mencionan los más relevantes:

i. Densidad de carga

La densidad de carga al sistema de electrocoagulación según Chen (2004) es la que determina la cantidad de iones de Al^{3+} o Fe^{2+} que son liberados de los respectivos electrodos. Para el aluminio se conoce una masa equivalente electroquímica de 335.6 mg/Ah (miligramos/ amperio-hora) y para el hierro un valor de 1,041 mg/Ah (miligramo/ amperio-hora).

ii. Amperaje

Es la fuerza de una corriente de electricidad expresada y medida en amperios. Chen (2004) recomienda para que el sistema pueda funcionar un largo periodo de tiempo sin mantenimiento, se utilicen densidades de carga de $20 A/m^2$ a $25 A/m^2$ (amperio/ metro cuadrado). Durante el tratamiento este parámetro incrementa el porcentaje de reducción de la DQO, reduciendo, en investigaciones, hasta un 94.27 % de su valor inicial y 87 % de DBO (Cueva, 2020).

iii. pH

EL pH influye directamente en la formación de hidróxido, debido a que tiene relación directa con la eficiencia de la corriente en el proceso de solubilidad. En diferentes investigaciones se ha observado que el pH varía durante el proceso de electrocoagulación, y esta variación se debe al material de los electrodos y pH inicial del agua a tratar. El pH durante el proceso puede aumentar para aguas residuales ácidas, efecto atribuido a la generación de hidrógeno molecular que se origina en el cátodo. Al contrario, en aguas residuales alcalinas el pH puede decrecer y, dependiendo de la naturaleza del contaminante, el pH influye sobre la eficiencia del proceso (García, Hernández, Reyes, & Marmolejo, 2012).

Se ha determinado que el pH juega un papel importante en la remoción de contaminantes, obteniendo los mejores resultados, en términos generales, cuando sus valores son cercanos a 7 (neutro). En la industria textil, cuando el pH es neutro, se logran las mejores remociones de turbiedad y DQO en sus aguas residuales (Arango, & Garcés, 2007).

iv. Presencia de NaCl

Usualmente se emplea sal de mesa para incrementar la conductividad del agua residual a tratar. Además, se ha estudiado que los iones de cloro pueden reducir de manera significativa los efectos negativos de otros iones como sulfatos y bicarbonatos (Chen, 2004).

v. Tiempo

Algunos autores indican lo siguiente: a mayor valor de tiempo de residencia, mayor es la cantidad de sólidos formados, debido a que se favorece tanto los procesos de electrodos como la floculación y precipitación de los sólidos, por lo tanto, se producen más gases, los cuales, al ascender, trasladan las partículas de óxido a la superficie en forma de espuma y a su vez suscita el crecimiento de los flóculos y su posterior precipitación.

Por mínimo que sea el cambio en el tiempo representa una gran influencia en la suma de sólidos obtenidos, a pesar de ello, estos mismos autores afirman que estadísticamente sus cambios resultan menos significativas que las variaciones de pH, ya que éste, está muy relacionado a la constante del producto de solubilidad (Kps) la cual debe de reducirse al elevarse el mismo, lo que significa que los sólidos son más insolubles y por tanto se obtiene una mayor precipitación de estos en la medida que el pH aumenta (Holton, Barton, & Mitchell, 2005).

vi. Temperatura

Temperaturas más elevadas dan como resultado una mayor conductividad eléctrica, por lo tanto, un menor consumo de energía. Sin embargo, es un parámetro poco estudiado dentro de estos sistemas. Se han encontrado referencias en la antigua Unión Soviética, en la que a 60 °C con placas de aluminio se encontraba la mayor conductividad eléctrica (Chen, 2004).

c. Reactores para procesos de electrocoagulación

Estos pueden clasificarse primero como reactores tipo Bach o reactores de sistema

continuo. La elección de uno de estos tipos de reactor dependerá de las características del contaminante y de su concentración, así mismo de las cantidades de agua a tratar (Arango, & Garcés, 2007).

Otra clasificación es en función de la flotación. Una vez que el contaminante ha sufrido el proceso de coagulación existen dos maneras de dividirlo del medio acuoso, las cuales son: sedimentación y la flotación. Por lo que los reactores pueden diseñarse como reactores con sólo coagulación, o bien con coagulación y flotación. Aquellos que no aprovechan la electrocoagulación para producir burbujas que separen los agregados (flóculos) del contaminante por flotación son llamados reactores de coagulación únicamente, mientras que los reactores en los que aprovechan las burbujas creadas para efectuar la flotación de los agregados del contaminante llevan por nombre reactores de coagulación y flotación (Arango, & Garcés, 2007).

i. Tipo Batch

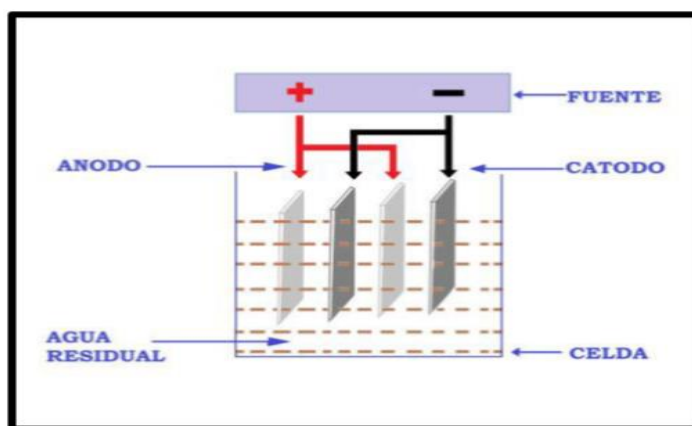
Éste debe operar con un volumen determinado de agua residual para tratar en un ciclo, Tiene como ventaja lo simple que es y el bajo costo que representa para el tratamiento localizado de aguas (Arango, & Garcés, 2007).

El reactor encargado para efectuar la electrocoagulación en una operación por Batch, en su forma más sencilla, es el conjunto de una celda electroquímica con un ánodo y un cátodo colocados de forma vertical, los cuales son conectados a una fuente de energía externa (Arango, 2005). El material anódico se desgasta (corroe) eléctricamente debido a la oxidación, mientras que el cátodo permanece pasivo (NACE international The Corrosion Society, 2004).

El diseño formado por un par de electrodos no es el ideal a la hora del proceso ya que para obtener una adecuada disolución del metal es necesario que los electrodos posean una gran área superficial, es por esta razón que se utilizan celdas con electrodos monopolares en paralelo o conectados en serie (Mollah, Schennach, Parga, y Cocke, 2001).

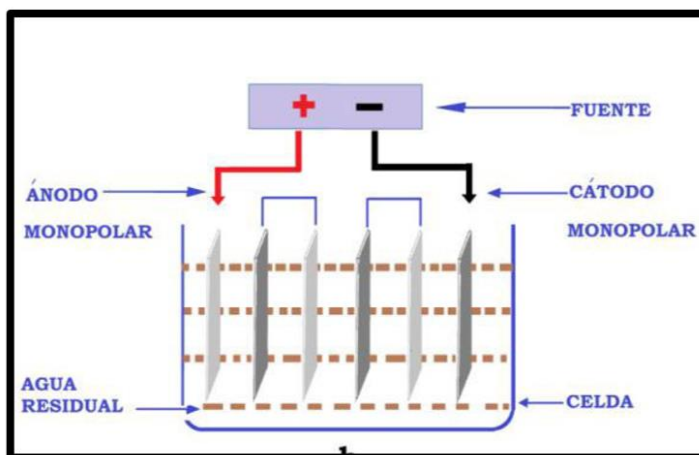
ii. Circuitos monopolares en paralelo y en serie

En la forma monopolar en paralelo la electricidad se divide entre todos los electrodos con relación a la resistencia de las celdas individuales (Chen, 2004). Y la posición de los electrodos cuando es en serie se observa que cada par de electrodos de sacrificio está conectado internamente uno con el otro, y no tiene interconexiones con los electrodos externo (Mollah, Schennach, Parga, y Cocke, 2001). En las figuras 5 y 6 se muestra la repartición de los electrodos.



Fuente: Mollah, Schennach, Parga, & Cocke, 2001.

Figura 5. Reactor con electrodos monopolares conectados en paralelo.



Fuente: Mollah, Schennach, Parga, & Cocke, 2001.

Figura 6. Reactor con electrodos monopolares conectados en serie.

2.2.2. Marco referencial

A. Antecedentes

En 1906, en Estados Unidos, se concedió la primera patente que permitía emplear la tecnología de electrocoagulación. A pesar de esto, la industria se negó a adoptar esta técnica por diferentes problemas financieros y de regulación de incentivos. Galvani y Volta, importantes físicos italianos de la época, realizaron trabajos a finales del siglo XVIII que dieron origen a la electroquímica, la cual se ha desarrollado y aplicado en diferentes áreas, como en el desarrollo de métodos para la eliminación de la contaminación (Restrepo, Arango & Garcés, 2006).

En Londres, en el año 1888 Webster efectuó el primer ensayo reportado, utilizando ánodos de hierro soluble, con una separación de 1 inch, un potencial de 8 vatios y una corriente anódica de 0.6 A/Pie^2 (amperio/ pie cuadrado) (Restrepo, Arango & Garcés, 2006).

En 1896 en el agua del río Ohio, ubicado en Kentucky se utilizaron ánodos de aluminio y hierro para la coagulación de esta. En el año de 1914, en la ciudad de New York surge un nuevo método llamado Landreth, creado a partir de una modificación del proceso Webster, el cual consiste en añadir cal, que mejora la conductividad eléctrica (Restrepo, Arango & Garcés, 2006).

En Alemania, la utilización de electrocoagulación en el año 1932 logró la reducción de la DBO en un 50 % en aguas residuales. La falla en la implementación de estos procesos se debió al elevado costo de la energía y el mantenimiento de los electrodos. En las últimas décadas este proceso ha tomado auge y se ha diversificado para la remoción de partículas dispersas en aguas residuales provenientes de procesos industriales (Restrepo, Arango & Garcés, 2006).

En el año 2013 en Riobamba, Ecuador, Byron Oña Pazmiño realizó un trabajo de investigación que lleva por nombre “tratamiento avanzado de aguas residuales del proceso de lavado y tinturado de jeans en la empresa “mundocolor” mediante electrocoagulación” donde se obtuvieron datos favorables para el tratamiento de aguas de la industria textil en

cuanto a la reducción de color del 94 %, utilizando combinaciones de los pares de electrodos aluminio-acero (Oña, & Falconí, 2013).

En el trabajo de investigación: tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante procesos electroquímicos realizado por Pérez (2015), se mostraron resultados para electrocoagulación a pH de 5 y electrocoagulación con modificación de pH a 2.5; se observaron que los porcentajes de remoción de DQO tienden a ser similares, 75 % y 81 %, respectivamente; determinando que el pH de trabajo se lo puede extender a un rango amplio dentro de pH ácido.

En Perú, el estudio de la electrocoagulación para el tratamiento de agua residual procedente de lavadoras para la reutilización en riego de vegetales logró evaluar las mejores condiciones de operación para la reducción de los contaminantes, dando como resultado favorable el experimento número 5 con un pH = 7.5, intensidad de 5 amperios, distancia de 2 cm y un tiempo de permanencia de un promedio de 15 minutos (Cuba, 2020).

B. Municipio de Mixco

a. Geografía

Se encuentra ubicado en el departamento de Guatemala, con su cabecera a 17 km al oeste de la ciudad capital. Mixco, por la cercanía de otros centros urbanos como la ciudad capital, conforma una conurbación, lo que lo involucra en las dinámicas territoriales del área metropolitana de Guatemala (AMG) (Municipalidad de Mixco, 2018).

El municipio de Mixco tiene como colindancias los municipios de San Raymundo y San Pedro Sacatepéquez al norte; el municipio de Villa Nueva al sur; los municipios de Chinautla y Guatemala al este, todos estos del departamento de Guatemala; y con el departamento de Sacatepéquez, con los municipios de San Lucas Sacatepéquez y Santiago Sacatepéquez, ambos al oeste (Municipalidad de Mixco, 2018).

b. Clima

Se encuentra ubicado entre dos subcuencas nacionales del río “María linda” y “Michatoya”. Cuenta con un clima considerado como templado con temperaturas mínimas promedio que parten de los 10 °C hasta temperaturas máximas promedio que alcanzan 29 °C.

De acuerdo con el Diccionario Geográfico Nacional, publicado por el IGN, Mixco cuenta con una extensión territorial de 99 km², el cual se divide en 11 zonas municipales que están conformadas por un total de 648 lugares poblados. Parte del territorio de Mixco está cubierto por el área de Reserva Forestal Protectora de Manantiales Cordillera Alux, la cual abarca un 20.98 % de su territorio, lo que equivale a 21.96 km² (Municipalidad de Mixco, 2018).

c. Población

Para el año 2018, con base en los datos presentados por el INE para el censo realizado en dicho año, el municipio de Mixco cuenta con 463,019 personas en el área urbana y 2,754 personas en el área rural.

En el año 2011 el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) publica los informes departamentales Cifras para el Desarrollo Humano, donde Mixco obtiene una ponderación en el Índice de Desarrollo Humano (IDH) de 0.826, siendo los valores entre 1 y 0, donde 1 es la mejor calificación, quedando Mixco en segundo lugar, junto con el municipio de Guatemala, entre los 17 municipios del departamento de Guatemala (Municipalidad de Mixco, 2018).

d. Industria textil en el municipio de Mixco

Guatemala cuenta con la industria textil más grande de la región centroamericana. Existen alrededor de 64 empresas textileras, produciendo anualmente 135 millones de libras, en el municipio de Mixco, de las cuales el 34.91 % corresponde a tejido plano y el 65.09 % de tejido punto. La industria cuenta con 260 empresas suplidoras de servicios y accesorios que proveen en su mayoría a las 182 fábricas de vestuario que se encuentran inscritas oficialmente a la comisión de vestuario y textiles de esas (VESTEX, 2020).

De acuerdo con el directorio regional de la comisión de vestuario y textiles (2020), operan en Guatemala 35 empresas textiles y 147 empresas que proporcionan accesorios. Las 88 empresas establecidas en Ciudad de Guatemala y las 64 en Mixco emplearon el 39 % y el 23.6 % de la fuerza laboral en esta industria respectivamente.

e. Composición química de las descargas de la industria textil

A través del proceso en las diferentes etapas se utilizan varios productos, entre los más recurrentes según investigaciones se encuentran los siguientes:

En la etapa de desencolado y descrudado, se utiliza fécula, para la fase de tintura Agua descalcificada, NaCl, NaOH, Na_2CO_3 , Colorante MX- 2R, Dispersante FINDET 1618, en cuanto al aclarado y jabonado que son parte de la fase de lavandería, se utiliza agua descalcificada y AMPLEX CA-ECO (1 %) por último, para la fase suavizado, agua descalcificada, TETRATNYL ATH y alcohol de polivinilo (Henao, & Ramírez, 2016).

f. Problemas ambientales en el municipio de Mixco ocasionados por la industria textil

Entre los principales problemas ambientales esta la contaminación del agua, ya que muchos de las etapas dentro del proceso textil generan residuos líquidos con diversos contaminantes los cuales no son tratados adecuadamente y afectan la calidad del agua de los medios receptores, en cuanto a recurso hídrico otra de las problemáticas es el agotamiento del mismo, ya que el sector textil utiliza cantidades importantes de agua a lo largo del proceso (De Floran, 2015).

La contaminación atmosférica es relevante ya que la industria textil libera algunos contaminantes al aire durante el desarrollo de su proceso productivo, entre los contaminantes que destacan se encuentran los gases y vapores provenientes de compuestos orgánicos volátiles usados en las actividades de lavado, teñido y estampado. También se encuentran los gases como óxidos de carbono, de nitrógeno y de azufre, provenientes del uso de calderas (De Floran, 2015).

g. Importancia ambiental, económica y social

El municipio de Mixco cuenta con 4 plantas de tratamiento ya en funcionamiento, sin embargo, varios sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial no cuentan con una planta de tratamiento. Por tal razón la municipalidad de Mixco (2018), cumpliendo con la normativa establecida en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y su Reforma (138-2017), tiene en construcción otras dos plantas de tratamiento de alto rendimiento y otras en planificación, entre otras acciones de saneamiento ambiental todo esto con la finalidad de evitar la contaminación del Lago de Amatitlán y sus afluentes (Municipalidad de Mixco, 2018).

El municipio de Mixco tiene 235 desfuegos de aguas residuales y pluviales, dichos desfuegos no cuentan con tratamiento alguno. Lamentablemente en su mayoría son desfuegos que solo se conducen a quebradas, riachuelos, ríos y barrancos. (Municipalidad de Mixco, 2018).

Al utilizar la electrocoagulación como una alternativa en una de las fases más importantes del proceso para la depuración de aguas residuales, se obtienen beneficios como: la reducción de químicos en dicha etapa, que engloban las sales de aluminio y hierro que abarcan sulfatos, cloruros, aluminato etc. y otros como el ozono, los cuales, en dosis elevadas, producen un exceso de lodos que, generalmente, constituyen uno de los mayores problemas. Por otra parte, estos agentes no dan siempre un precipitado que posea las características deseadas para una buena separación (Arango, 2005).

Al tener un mejor proceso de tratamiento de aguas residuales, no solo se beneficia el destino final de las mismas, sino se evita el desgaste que generan los químicos vertidos por la industria que pone en riesgo el sistema de drenajes y atenta contra la calidad de vida de los vecinos en el sector. Considerando las repercusiones que esto conlleva como lo establece el Código Procesal Penal (1973) en artículo 347 A, el cual determina que será sancionado con uno a dos años de prisión quien contamine el aire el suelo o las aguas (Municipalidad de Mixco, 2018).

El municipio de Mixco tiene seis tipos de empresas sobresalientes en el territorio, la farmacéutica, confección de prendas de vestir y accesorios, embotelladoras, panificadoras,

centros de educación y centros de salud. De acuerdo con la información del directorio regional de la comisión de vestuario y textiles (2020), existen 64 empresas inscritas de forma legal en el municipio de Mixco, correspondiente al 23.6 % de la fuerza laboral en esta industria.

El municipio es parte de la ciudad de la república de Guatemala, por tal razón las principales actividades económicas son el comercio (34.50 %), actividades profesionales, científicas y técnicas (13.07 %) y actividades inmobiliarias (7.74 %) en base a la encuesta del Banco de Guatemala (2013).

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. Objetivo general

Evaluar el amperaje óptimo en el sistema de electrocoagulación para el proceso físico-químico del tratamiento de aguas residuales de la industria textil a través de un modelo escala elaborado en el municipio de Mixco, Guatemala, en el periodo mayo-septiembre del año 2020.

2.3.2. Objetivos específicos

1. Determinar cuál es la muestra de agua residual que presenta mejores parámetros físico-químicos (pH, turbidez y temperatura) luego de aplicar el tratamiento.
2. Identificar con base en un análisis económico que tratamiento es el más recomendable.

2.4. HIPÓTESIS

Los resultados ideales en la corrección de parámetros físico-químicos para el tratamiento de aguas residuales por medio del proceso de electrocoagulación se alcanzarán con intensidades de carga por encima de los 10 amperios.

2.5. METODOLOGÍA

2.5.1 Análisis físico químico

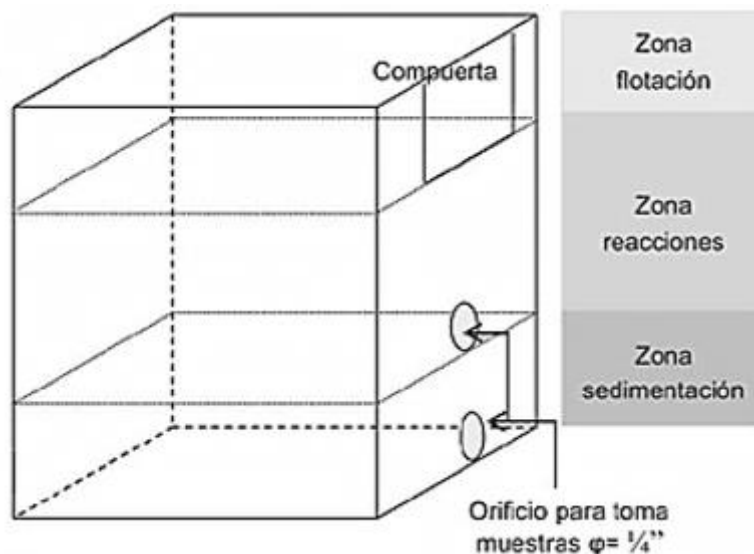
A. Origen de las muestras evaluadas

La muestra de agua fue proporcionada por una empresa dedicada a la confección de prendas de vestir ubicada en la zona 7 del municipio de Mixco, correspondiente al proceso de lavandería, la cual representaba una descarga típica de la industria textil.

B. Diseño y construcción del prototipo

a. Celda de electrocoagulación

La forma de reactor que se utilizó fue tipo Batch a escala de laboratorio con una capacidad de 6.75 L. El material que se utilizó para la elaboración de la celda fue acrílico transparente con un grosor de 5 mm, y forma cuadrada con las siguientes dimensiones: 0.15 m x 0.15 m x 0.3 m, la cual fue pegada con cemento solvente especial, en esta estructura estaban sumergidos los electrodos como se muestra en la figura 7.



Fuente: Arango & Garcés, 2007.

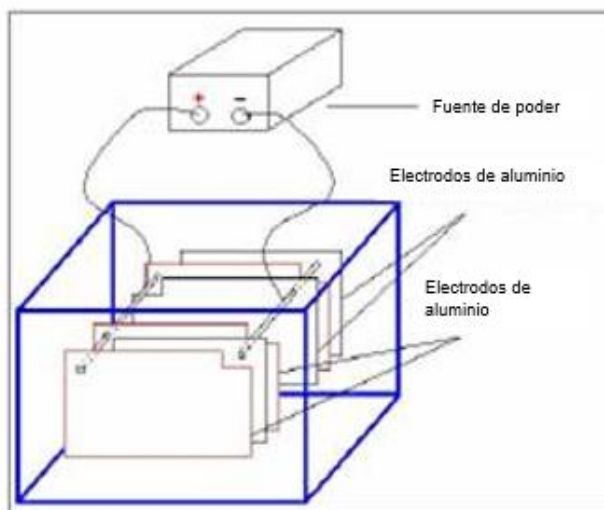
Figura 7. Celda de electrocoagulación.

b. Electroodos

Los electrodos fueron monopolares en paralelo de aluminio, con una forma cuadrada de 10 cm x 10 cm, los cuales se conectaron a una fuente de poder. Se contó con un espaciamiento de 1 cm entre placas.

c. Fuente de poder

Contaba con una capacidad de suministrar 30 A y 20 V, marca Steren la cual permitió regular la cantidad de corriente suministrada a la celda en el proceso a través de los electrodos como se muestra en la figura 8, el voltaje fue de 12-18 V, mientras el amperaje de 4, 7, 13 y 15 amperios.



Fuente: Arango & Garcés, 2007.

Figura 8. Sistema de electrocoagulación.

C. Manejo del experimento

Se trabajó con una muestra en un recipiente lavado y esterilizado como se muestra en la figura 17A, con el fin de evitar alteraciones a la misma por factores externos. Con el objetivo de caracterizar la muestra y que pueda ser replicable, se determinó de forma preliminar la

conductividad eléctrica (CE), ya que este parámetro está directamente relacionado con la eficiencia del sistema y no se considera variable durante el proceso.

D. Establecimiento del ensayo

- Las muestras de agua fueron tomadas en un recipiente de vidrio previamente lavado y esterilizado, para que no existieran alteraciones de la muestra.
- Se tomaron los valores de pH y temperatura a cada muestra con un potenciómetro digital de precisión marca Hanna.
- Se tomó la turbidez de cada muestra con un Turbidímetro HI98703 marca Hanna.
- Se colocaron los electrodos de aluminio limpios en los soportes del reactor electroquímico.
- Se llenó la celda con la muestra.
- Los electrodos fueron conectados a la fuente de poder (figura 11A).
- Se encendió y puso en marcha el reactor, con diferentes amperios los cuales fueron de: 4, 7, 13 y 15.
- Se utilizó un tiempo retención de 10 min en cada unidad experimental. (Pérez, 2015).
- La muestra de agua resultante del proceso se colocó en un recipiente de vidrio previamente lavado y esterilizado, y se dejó en reposo durante 10 minutos para su sedimentación como se presentan en las fotos 18A, 19A, 20A, y 21A.
- Se tomaron nuevamente los parámetros antes mencionados a media altura para su posterior análisis.

a. Diseño experimental

Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar ya que se consideró como factor de bloqueo el hecho de no poder aplicar los tratamientos de forma simultánea. Por lo tanto, se realizó una corrida de todos los amperajes, para luego repetir el proceso el número de repeticiones o bloques que se establecieron. En cada repetición o bloque se sorteó el orden en que se aplicaron los amperajes.

b. Tratamientos

Se definieron 4 tratamientos, los cuales fueron de 4 diferentes amperajes: 4, 7, 13 y 15 A respectivamente (Pérez , 2015).

c. Número de repeticiones

Se estableció realizar diez repeticiones para este experimento, con la finalidad de obtener un error experimental bajo. Este número fue definido con base en los recursos y tiempo disponibles.

d. Número de unidades experimentales

La celda de electrocoagulación fue considerada como la unidad experimental, ya que es en esta donde se realizaron los tratamientos. Por lo tanto, se contó con 40 unidades experimentales, producto de la multiplicación de los tratamientos por el número de repeticiones (10 en este caso).

e. Distribución espacial de los tratamientos

En la figura 9 se muestra de forma gráfica la secuencia de tratamientos en la que se realizó cada repetición.

B4	T2	T4	T0	T3	T1
B1	T1	T0	T4	T2	T3
B7	T1	T3	T0	T4	T2
B9	T3	T1	T4	T2	T0
B5	T2	T4	T0	T3	T1
B2	T2	T1	T4	T0	T3
B3	T0	T4	T3	T1	T2
B10	T3	T2	T4	T0	T1
B6	T3	T1	T0	T2	T4
B8	T0	T2	T3	T1	T4

Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 9. Croquis de campo.

E. Variables de respuesta

En el cuadro 3 se presentan los parámetros físico-químicos (pH, temperatura y turbidez) al inicio y al final del experimento.

Cuadro 3. Variables por considerar dentro del proceso de tratamiento.

Tipo	Variable/parámetro	Unidad
Variables de respuesta	pH	----
	Temperatura	°C (Grados Celsius)
	Turbidez	UNT (Unidades nefelométricas de turbidez)

Continuación cuadro 3.

Variables operacionales	Amperaje	A (Amperios)
	Densidad de carga	A/m^2 (Amperio/ metro cuadrado)

Fuente: elaboración propia, 2020.

F. Comparación y análisis de resultados

a. Modelo estadístico

Para este diseño se empleó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Valor de parámetros fisicoquímicos de una muestra de agua residual.

μ = Media general del valor de parámetros fisicoquímicos de una muestra de agua residual.

τ_i = Efecto del i-ésimo amperaje utilizado.

β_j = Efecto del j-ésimo bloque.

ε_{ij} = Error experimental asociado a la ij-ésima celda de electrocoagulación.

b. Análisis de varianza

Se realizó un análisis de varianza con un 95 % de confianza (5 % de significancia) para determinar si existían diferencias significativas entre tratamientos. Para esto se utilizó el programa Infostat.

c. Prueba múltiple de medias

Al encontrarse diferencias significativas entre tratamientos al realizarse el ANDEVA se realizó una prueba de Tukey con un 5 % de significancia con el objetivo de definir que

tratamiento presentaba los mejores resultados a través de la comparación de sus medias individuales.

2.5.2. Análisis económico

A. Costos de inversión

Para determinar el costo de inversión o preoperativo, se decidieron todos los activos necesarios para poner en marcha el proyecto en una planta de tratamiento de aguas residuales de la industria textil.

B. Costos de operación

Para los costos de operación se consideraron todos aquellos que fueran variables en función del volumen de agua tratado. Consumo de energía eléctrica, materia prima, mano de obra, mantenimiento y depreciación del equipo.

a. Consumo de energía eléctrica

El costo por consumo de energía eléctrica fue calculado con la fórmula que se muestra a continuación, utilizando la tarifa de energía eléctrica que impone la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA) para el municipio de Mixco, Guatemala.

$$C_{EE} = a * E$$

Dónde:

C_{EE} = Costo por consumo de energía eléctrica (GTQ/L).

a = Tarifa de consumo de energía eléctrica sin IVA (GTQ 1.298633/L).

E = Consumo de energía eléctrica (kWh/L).

El consumo de energía eléctrica fue calculado con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{W \times t}{1000 \times Q}$$

Dónde:

E = Consumo de energía eléctrica (kWh/L).

W = Potencia eléctrica del equipo (W).

t = tiempo de duración del tratamiento (h).

Q = Volumen a tratar sobre el tiempo de duración del tratamiento (L).

Para determinar la potencia eléctrica del equipo se empleó la siguiente fórmula:

$$W = V * I$$

W = Potencia eléctrica del equipo (W).

V = Voltaje durante el tratamiento (V).

I = Intensidad de corriente durante el tratamiento (A).

b. Materia prima

El costo del consumo de materia prima se determinó por el desgaste que sufrió el electrodo al aplicarle una carga eléctrica. Para esto, se determinó la masa del electrodo antes del tratamiento y al finalizar el mismo.

c. Mantenimiento de equipos

Se determinó que únicamente se le debe dar mantenimiento a la fuente de poder de forma preventiva con una periodicidad de 4 meses, es decir 3 mantenimientos al año. Para esto se realizó una cotización con un técnico especializado en equipo industrial.

d. Mano de obra

Para realizar el proceso de electrocoagulación dentro de la planta, se determinó la cantidad de personal que se requiere para cumplir con las actividades, se le asignó un salario que concordara con el grado de responsabilidad, tiempo y dificultad de las funciones establecidas.

C. Análisis financiero (Costo anual uniforme equivalente y flujo de caja)

a. Flujo de caja

Se definió el período de tiempo para elaborar el flujo de caja.

No se consideraron ingresos, por lo tanto, no fue necesario partir de otros indicadores financieros como balance general o un estado de resultados anual de la empresa, ya que únicamente se contó con proyecciones de costos.

b. Costo anual uniforme equivalente CAUE

Este indicador brindó un punto de referencia para la toma de decisiones del tratamiento que más se ajustaba a las necesidades de la empresa. Previo a realizar el cálculo de CAUE fue necesario determinar el valor presente del capital, en función de la tasa de interés de oportunidad establecida, para lo cual se empleó la fórmula de valor presente neto (VPN) mostrada a continuación:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+i)^t} - I_o$$

Dónde:

VPN = Valor presente neto.

V_t = Flujos de caja en cada periodo de tiempo t.

i = tasa de interés de oportunidad.

I_o = Costo de la inversión inicial.

n = Número de periodos de tiempo considerados para la evaluación del proyecto.

$$CAUE = VPN * \frac{(1+i)^n * i}{(1+i)^n - 1}$$

Dónde:

CAUE = Costo anual uniforme equivalente.

VPN = Valor presente neto.

i = Tasa de interés de oportunidad.

n = Número de periodos de tiempo considerados para la evaluación del proyecto.

2.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.6.1. Análisis físico químico

En el cuadro 4 se presenta una tabla con el resumen de los parámetros físico químicos obtenidos luego de someter una muestra de agua residual a diferentes amperajes.

Cuadro 4. Resumen de parámetros físico químicos obtenidos.

Bloque	Amperaje (A)	pH	Turbidez (UNT)	Temperatura (° C)
1	0	8	410	18
	4	9.3	132	19
	7	9.2	127	18
	13	8.8	113	18.5
	15	8.7	115	18.5
2	0	8	409	18.1
	4	9.4	130	19
	7	9.1	125	18.5
	13	8.9	111	19
	15	8.6	112	19
3	0	8.2	413	18.3
	4	9.7	134	19
	7	9.3	128	19
	13	8.8	115	18.5
	15	8.4	116	18.5
4	0	8.1	410	18
	4	9.5	131	19
	7	9	127	18.5
	13	8.9	112	18
	15	8.5	114	18.5

Continuación del cuadro 4.

5	0	7.9	411	18.2
	4	9.3	132	19
	7	8.9	126	19
	13	8.8	112	18.5
	15	8.3	115	18.5
6	0	8	409	18
	4	9.4	131	19
	7	9.1	124	18.5
	13	8.9	112	18.5
	15	8.4	115	18
7	0	8.1	412	17.8
	4	9.6	133	18.5
	7	9	128	19
	13	8.8	114	18.5
	15	8.3	115	19
8	0	8	412	18.2
	4	9.4	134	19
	7	9.3	129	19
	13	8.7	115	18
	15	8.2	117	18.5
9	0	8.3	414	18
	4	9.7	135	18.5
	7	9.4	128	19
	13	9	116	18.5
	15	8.4	117	19
10	0	8.2	410	18.3
	4	9.6	132	19.5
	7	9.3	125	18.5
	13	8.8	113	19
	15	8.2	113	18.5

Con base en los resultados obtenidos y mostrados en el cuadro 4, se determinó que en promedio la turbidez se redujo en un 67.79 % (278.6 UNT) al aplicar una intensidad de carga de 4 amperios respecto al testigo (figura 13A). En cuanto al tratamiento 2, que corresponde

a 7 amperios, como se presenta en la figura 14A, se observó una reducción del 69.17 % respecto al testigo, mientras que el tratamiento 3 (13 amperios) se presentó la mayor reducción, con 297.7 UNT que representan una disminución del 72.43 % respecto al testigo, como se muestra en la figura 15A. Por último, al aplicar 15 amperios, se observó una menor disminución de turbidez con relación al tratamiento anterior (13 amperios), siendo esta de un 72.04 % respecto el testigo (figura 16A).

Por lo tanto, la cantidad óptima para el manejo de la celda de electrocoagulación fue de 13 amperios como se aprecia en la figura 12A, ya que con esta cantidad de corriente se pudo remover la mayor cantidad de turbidez presente en el agua tratada. El Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales de la república de Colombia (2005) sugiere no incrementar en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor al momento de realizar la descarga de agua, mientras que la norma mexicana de análisis de agua residual (NMX-AA-38-SCFI-2001) estable un valor no mayor a 40 UNT.

Por lo tanto, es importante determinar la eficiencia de las fases posteriores que conforman el tratamiento de aguas residuales.

Esto sucede debido a que, a una mayor cantidad de corriente aplicada al sistema, se produce una mayor hidrolización del agua según Chen, (2004), desestabilizando más rápidamente las cargas de los coloides y generando más burbujas de H_2 y de O_2 . Conforme estas burbujas van ascendiendo a la superficie, van creando un movimiento interno de las partículas suspendidas ya desestabilizadas, haciendo que estas se agreguen unas con otras con mayor facilidad y así poder arrastrar los flóculos, llevándoselos consigo a la superficie formando así la espuma saturada de partículas en suspensión.

Respecto a la temperatura, no se observaron cambios significativos al aplicar las diferentes intensidades de carga. De acuerdo con lo mostrado en el cuadro 4, la variación promedio entre el testigo y el tratamiento que presentó la temperatura promedio más elevada, que en este caso fue el tratamiento 1 (4 amperios), fue de únicamente 0.9 °C.

Para el pH, se observó que a medida que se aumentó la intensidad de carga, este fue disminuyendo. Es decir, todos aumentaron respecto al testigo, pero se mostró un

crecimiento inversamente proporcional a los amperios aplicados en los tratamientos, ya que el tratamiento 1 (4 amperios) aumentó de un pH promedio del testigo de 8.08 a un promedio de 9.49, mientras que el tratamiento 4 (15 amperios) presentó una media de 8.4.

El proceso de electrocoagulación genera poca cantidad de lodo. Dichos lodos formados por este proceso son similares a los obtenidos mediante procesos químicos, sin embargo, los que obtienen mediante electrocoagulación retienen menos agua y son más estables, por lo tanto, se pueden separar más rápidamente mediante filtración.



Figura 10. Muestras de agua residual de cada tratamiento luego de haber sido sometidas a diferentes amperajes.

En la figura 10 se muestra que la remoción de turbidez inicialmente se vio afectada de una manera directamente proporcional a la cantidad de corriente aplicada a la celda en el tiempo de retención preestablecido de tratamiento al que se sometieron las muestras, hasta que alcanzó el punto óptimo (tratamiento 4 de 13 amperios), posteriormente se observó un comportamiento decreciente en la curva de rendimiento.

A. Análisis estadístico

a. Turbidez

En el cuadro 5 se presenta el análisis de varianza y prueba múltiple de medias realizado al efecto de diferentes amperajes en la turbidez de diferentes muestras de agua residual.

Cuadro 5. Análisis de varianza y prueba múltiple de medias para turbidez.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Turbidez	50	1.00	1.00	0.36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	671643.74	13	51664.90	120150.94	<0.0001
Tratamiento	671539.72	4	167884.93	390430.07	<0.0001
Bloque	104.02	9	11.56	26.88	<0.0001
Error	15.48	36	0.43		
Total	671659.22	49			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.84189

Error: 0.4300 gl: 36

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
0	411.00	10	0.21	A
4	132.40	10	0.21	B
7	126.70	10	0.21	C
15	114.90	10	0.21	D
13	113.30	10	0.21	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En el cuadro 5 se muestran los resultados del análisis estadístico realizado para el parámetro de turbidez, el análisis de varianza (ANDEVA) muestra un p-valor menor a 0.0001 entre tratamientos, lo que nos indica que existen diferencias estadísticamente significativas. Se comprobó que se cumplieran con los supuestos de normalidad, homogeneidad (figuras 22A y 23A) e independencia. Por lo tanto, se procedió a hacer una prueba múltiple de medias, utilizando el método de Tukey, el cual mostró que el tratamiento con una media de turbidez menor fue el de 13 amperios.

Esto se atribuye al aumento de iones aluminio disueltos en el agua, los cuales se unen a moléculas de iones hidroxilo disueltas en el medio acuoso, provocando la precipitación de diferentes moléculas monoméricas y poliméricas de Hidróxido de Aluminio, que representa una reducción en la turbidez de las muestras (Arango, 2005).

b. Temperatura

En el cuadro 6 se presenta el análisis de varianza y prueba múltiple de medias realizado al efecto de diferentes amperajes en la temperatura de diferentes muestras de agua residual.

Al igual que el parámetro anterior, se comprobó que se cumplieran con los supuestos de normalidad, homogeneidad (figuras 24A y 25A) e independencia.

Cuadro 6. Análisis de varianza y prueba múltiple de medias de temperatura.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Temperatura	50	0.30	0.05	69.22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.31	13	0.02	1.20	0.3204
Tratamiento	0.14	4	0.04	1.74	0.1628
Bloque	0.17	9	0.02	0.96	0.4905
Error	0.73	36	0.02		
Total	1.04	49			

Al realizar el ANDEVA para temperatura, con un p-valor de 0.1628 entre tratamientos, por lo que se determinó que no existían diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes amperajes, por lo que se concluye en que todos los tratamientos son iguales.

Existe un fenómeno que se conoce comúnmente como el efecto Joule, el cual indica, que “cuando circula corriente eléctrica por un conductor, parte de la energía cinética se convierte en calor” (Martínez, 2007). De acuerdo con esto, debería de existir un aumento de temperatura al aplicar las diferentes intensidades de carga, pero estos cambios fueron mínimos, lo cual se puede deber al poco tiempo que las muestras fueron expuestas a estas cargas.

Martínez (2007), hace referencia a lo poco que se conoce del efecto de la temperatura en el proceso de electrocoagulación. A su vez menciona que existen estudios que demuestran que hay un aumento en la eficiencia en el tratamiento cuando la temperatura se encuentra en un rango de 35 y 60 °C, ya que existe un mejor proceso de disolución del aluminio. Pero estas temperaturas deben ser alcanzadas por medio de un calentamiento adicional al tratamiento, lo cual no representa beneficio económico.

c. pH

En el cuadro 7 se muestra el análisis de varianza y prueba múltiple de medias realizado al efecto de diferentes amperajes en el pH de diferentes muestras de agua residual. Se comprobó que cumpliera con los supuestos de la investigación como se muestra en la figura 26A.

Cuadro 7. Análisis de varianza y prueba múltiple de medias para pH.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	50	0.96	0.94	1.41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13.19	13	1.01	65.61	<0.0001
Tratamiento	12.86	4	3.21	207.79	<0.0001
Bloque	0.34	9	0.04	2.42	0.0292
Error	0.56	36	0.02		
Total	13.75	49			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.15967

Error: 0.0155 gl: 36

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
4	9.49	10	0.04	A
7	9.16	10	0.04	B
13	8.84	10	0.04	C
15	8.40	10	0.04	D
0	8.08	10	0.04	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

El ANDEVA realizado para pH, mostró un p-valor menor a 0.0001 entre tratamientos, por lo cual se determinó que existían diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos, por lo que se procedió a realizar una prueba múltiple de medias de Tukey. Dicha prueba mostró que el pH más elevado fue el del tratamiento 1 (4 amperios) con una media de 9.49, mientras que el que presentó el pH más bajo fue el testigo (0 amperios) con una media de 8.08.

Uno de los fenómenos que se observó es que a medida que se incrementó el amperaje, el pH aumento en menor proporción. Esto se debe a que, al momento de aplicar una mayor intensidad de corriente, se libera una mayor cantidad de iones de aluminio, los cuales entran

en contacto con los iones hidroxilo disueltos en el medio, resultando en un menor incremento de pH (Pérez, 2015).

2.6.2. Análisis económico

Como complemento al análisis de parámetros físico químicos, se decidió incorporar un análisis económico que proporcione más elementos que faciliten la toma de decisión.

A. Costos de inversión

En el cuadro 8 se exhiben todos los activos necesarios para poner en marcha el proyecto en una planta de tratamiento de aguas residuales de la industria textil, los cuales representan el costo de inversión.

Cuadro 8. Costo de inversión.

Concepto	Costo (Q.)
Celda de electrocoagulación	489.95
Fuente de poder Steren	1,690.00
Bomba de agua 5 W	150.00
TOTAL	2,329.95

Se incluyó el costo de una bomba de agua de 5 W para abastecer el sistema de forma demostrativa, ya que normalmente es esta la forma en la que funciona una planta de tratamiento de aguas residuales, aunque en el ensayo este procedimiento se hizo de forma manual.

B. Costos de operación

a. Consumo de energía eléctrica

En el cuadro 9 se presenta la determinación de la potencia requerida por la fuente de alimentación con base en el amperaje y voltaje utilizado. En cuestión de consumo de energía, se puede deducir por los resultados mostrados en el cuadro 9, que el mejor tratamiento es el No. 1, al haber presentado los valores más bajos en la prueba.

Cuadro 9. Consumo de energía.

	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)
T1	20	4	80
T2	20	7	140
T3	20	13	260
T4	20	15	300

El cuadro 10 muestra la determinación del consumo de energía de la fuente de alimentación y la bomba de agua utilizada para llevar el agua hasta la celda de electrocoagulación, la cual trabaja con una potencia de 5 W.

Cuadro 10. Determinación de consumo de energía.

	Potencia (W)	Consumo energía fuente (kWh/L)	Consumo energía bomba agua (kWh/L)
T1	80	0.0020	1.25926E-05
T2	140	0.0035	
T3	260	0.0064	
T4	300	0.0074	

Se calculó el costo del consumo de energía eléctrica de la fuente de alimentación y la bomba de agua esto se basó en el consumo mostrado en la tabla anterior a una tarifa sin IVA de Q. 1.298633/kWh impuesta por la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA) para el municipio de Mixco, Guatemala.

Se realizó una proyección del cálculo de consumo de energía eléctrica total, asumiendo que se utiliza la celda de electrocoagulación de 6.75 L de capacidad durante 24 horas, con un periodo de retención de 10 minutos, lo que representa un total de 144 ciclos al día. Esto quiere decir que se estarían tratando 972 L de agua residual al día como se presenta en el cuadro 11.

Cuadro 11. Resumen de costos de consumo de energía eléctrica para cada tratamiento.

	Costo Consumo de energía fuente (Q./L)	Costo Consumo de energía bomba de agua (Q./L)	Costo total (Q./L)	Costo total (Q.) Diario
T1	0.0026	1.63532E-05	0.0026	2.5143
T2	0.0045		0.0045	4.3721

Continuación cuadro 11.

T3	0.0084		0.0084	8.1197
T4	0.0096		0.0096	9.3689

Los resultados obtenidos del consumo de energía eléctrica por tratamiento se muestran a continuación (el T0 o testigo no se muestra en la tabla, ya que no se le aplicó ningún tratamiento) arrojando que el costo total diario más barato fue el tratamiento No. 1 y el más elevado el No. 4, al basar el costo de energía en el consumo de energía presenta el mismo comportamiento directamente proporcional al amperaje.

b. Consumo de materia prima

Para la realización de los electrodos se utilizaron laminas lisas de aluminio calibre 10 de 4 x 10 feet (1.22 m x 3.05 m) a un precio de Q. 1887.45. De las cuales se obtuvieron 360 electrodos, dando como resultado un costo de Q. 5.24 por unidad.

Se procedió a determinar el peso inicial del electrodo para poder calcular el desgaste total de la pieza durante el tratamiento, el cual fue de 85 g (0.085 kg). Con base en esto se obtuvo que el costo del material por unidad de peso era de Q 61.647, el cual sirvió para obtener el costo de la materia prima consumida en el proceso (cuadro 12).

Cuadro 12. Materia prima.

	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Consumo (kg)	Consumo total (kg)	Costo de materia prima (Q)
T1	0.085	0.083	0.002	0.02	1.2329
T2	0.085	0.0823	0.0027	0.027	1.6645
T3	0.085	0.082	0.003	0.03	1.8494
T4	0.085	0.0809	0.0041	0.041	2.5275

c. Mantenimiento de equipos

Para determinar el costo estimado para el mantenimiento semestral del equipo, en este caso la fuente de alimentación se consultó con un técnico especializado en equipo industrial, el cual indicó un aproximado de Q. 4,500.00.

d. Mano de obra

Se determinó que únicamente se requiere una persona para cumplir con las actividades requeridas en este proceso. Además, se determinó que el nivel de complejidad de las funciones no requiere de mano de obra muy calificada, por lo tanto, se acordó establecer el salario mínimo, que para este período es de Q. 2,825.10 mensuales.

En el cuadro 13 se presenta el resumen de costos operacionales de los tratamientos, considerando la periodicidad de cada rubro.

Cuadro 13. Resumen de costos operacionales de los tratamientos, considerando la periodicidad de cada rubro.

Costo	Periodicidad	VALOR (Q.)			
		T1	T2	T3	T4
Consumo de energía eléctrica (Q./L)	Depende del volumen a tratar	0.0026	0.0045	0.0084	0.0096
Consumo de materia prima (Q.)	Depende de volumen a tratar	1.23294	1.664469	1.84941	2.527527
Mantenimiento de equipos (Q.)	Semestral	45000	45000	45000	45000
Mano de obra (Q.)	Mensual	2825.1	2825.1	2825.1	2825.1

Dichos costos representan el flujo de egresos en los cuales debe incurrir la empresa para el tratamiento de aguas residuales, esto en función del volumen de agua que debe ser tratada (excepto los costos fijos como la mano de obra y mantenimiento).

C. Análisis financiero

a. Flujo de caja

Para la elaboración del flujo de caja se calcularon costos operacionales por período de tiempo, para poder proyectarlo de forma anual utilizando la periodicidad de cada uno de los rubros contemplados. Para el consumo de energía eléctrica y materia prima se proyectaron costos mensuales con 22 días laborales, como se muestra en el cuadro 14 costo del

consumo de energía eléctrica mensual con 22 días laborales y el cuadro 15 costo del consumo de materia prima con 22 días laborales.

Cuadro 14. Costo del consumo de energía eléctrica mensual con 22 días laborales.

	Costo energía total (Q./L)	Costo energía total (Q./día)	Costo energía total (Q./mes)
T1	0.0026	2.5143	55.3137
T2	0.0045	4.3721	96.1869
T3	0.0084	8.1197	178.6329
T4	0.0096	9.3689	206.1149

Cuadro 15. Costo del consumo de materia prima con 22 días laborales.

	Consumo total (kg/ciclo)	Consumo total (kg/día)	Costo de materia prima (Q./día)	Costo de materia prima (Q./mes)
T1	0.02	2.88	177.5434	3905.954
T2	0.027	3.888	239.6835	5273.038
T3	0.03	4.32	266.3150	5858.931
T4	0.041	5.904	363.9639	8007.206

En los cuadros 16, 17, 18, y 19 se muestra una proyección de los costos operacionales para 3 años, considerando un incremento anual del 4 % relacionado a la inflación, estimación realizada por el Consejo Monetario Centroamericano para el año 2021.

Cuadro 16. Proyección de los costos operacionales de 3 años para el tratamiento 1.

TRATAMIENTO No. 1						
Costo	Periodicidad al año	Valor por periodo (Q.)	Años de evaluación			
			1		2	
			Incremento (%)	Costo anual (Q.)	Incremento (%)	Costo anual (Q.)
Energía eléctrica	12	55.314	0	663.763948	4	690.314506
Materia prima	12	3905.954	0	46871.447	4	48746.3049
Mantenimiento de equipos	2	45000	0	90000	4	93600
Mano de obra	12	2825.1	0	33901.2	4	35257.248
TOTAL				171436.411		178293.867
						185425.622

Cuadro 17. Proyección de los costos operacionales de 3 años para el tratamiento 2.

TRATAMIENTO No. 2						
Costo	Periodicidad al año	Valor por periodo (Q.)	Años de evaluación			
			1		2	
			Incremento (%)	Costo anual (Q.)	Incremento (%)	Costo anual (Q.)
Energía eléctrica	12	96.187	0	1154.2433	4	1200.41303
Materia prima	12	5273.038	0	63276.4535	4	65807.5116
Mantenimiento de equipos	3	45000	0	135000	4	140400
Mano de obra	12	2825.1	0	33901.2	4	35257.248
TOTAL				233331.897		242665.173
						252371.78

Cuadro 18. Proyección de los costos operacionales de 3 años para el tratamiento 3.

TRATAMIENTO No. 3						
Costo	Periodicidad al año	Valor por periodo (Q.)	Años de evaluación			
			1		2	
			Incremento (%)	Costo anual (Q.)	Incremento (%)	Costo anual (Q.)
Energía eléctrica	12	178.633	0	2143.59469	4	2229.33848
Materia prima	12	5858.931	0	70307.1706	4	73119.4574
Mantenimiento de equipos	3	45000	0	135000	4	140400
Mano de obra	12	2825.1	0	33901.2	4	35257.248
TOTAL				241351.965		251006.044
						261046.286

Cuadro 19. Proyección de los costos operacionales de 3 años para el tratamiento 4.

TRATAMIENTO No. 4						
Costo	Periodicidad al año	Valor por periodo (Q.)	Años de evaluación			
			1		2	
			Incremento (%)	Costo anual (Q.)	Incremento (%)	Costo anual (Q.)
Energía eléctrica	12	206.115	0	2473.37849	4	2572.31363
Materia prima	12	8007.206	0	96086.4664	4	99929.9251
Mantenimiento de equipos	3	45000	0	135000	4	140400
Mano de obra	12	2825.1	0	33901.2	4	35257.248
TOTAL				267461.045		278159.487
						289285.866

A partir de esto, se realizaron cuadros con flujos de egresos anuales para cada tratamiento en el periodo de 3 años establecido con anterioridad, los cuales se presentan en los cuadros 20, 21, 22, 23.

Cuadro 20. Flujo de egresos anuales para tratamiento 1.

TRATAMIENTO 1				
Rubro	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Inversión	2329.95			
Costos de operación		171436.411	178293.867	185425.622

Cuadro 21. Flujo de egresos anuales para tratamiento 2.

TRATAMIENTO 2				
Rubro	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Inversión	2329.95			
Costos de operación		233331.897	242665.173	252371.78

Cuadro 22. Flujo de egresos anuales para tratamiento 3.

TRATAMIENTO 3				
Rubro	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Inversión	2329.95			
Costos de operación		241351.965	251006.044	261046.286

Cuadro 23. Flujo de egresos anuales para tratamiento 4.

TRATAMIENTO 4				
Rubro	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Inversión	2329.95			
Costos de operación		267461.045	278159.487	289285.866

Como se muestra en los cuadros anteriores (cuadros del 20 al 23), el flujo de egresos del año 0 representa el costo de inversión del proyecto, es por eso que es el mismo para todos los tratamientos, ya que no se ve influenciado por la cantidad de agua a tratar.

En el cuadro 20 que corresponde al tratamiento 1 se pueden observar los flujos de egresos anuales más bajos, respecto a los demás tratamientos, mientras que en el cuadro 23, el cual corresponde al tratamiento 4, se pueden observar egresos anuales que superan los Q. 25,000 desde el primer año de implementación.

Para el cálculo del VPN se determinó que la tasa de interés de oportunidad sería del 12 % considerando los siguientes aspectos: una tasa de interés nominal por parte del banco de un 5.36 %, una inflación del 4 % y una tasa mínima para el inversor y empresario del 5.5 y 5.14 % respectivamente.

$$TIO = 5.36 - 4 + 5.5 + 5.14$$

$$TIO = 12 \%$$

Utilizando la fórmula descrita en la metodología, se realizó el cálculo del valor presente neto para cada tratamiento. A continuación, se ejemplifica el cálculo para el tratamiento 1, que corresponde a 4 amperios:

$$VPN = -\frac{2329.95}{(1 + 0.12)^0} - \frac{171436.411}{(1 + 0.12)^1} - \frac{178293.867}{(1 + 0.12)^2} - \frac{185425.622}{(1 + 0.12)^3}$$

$$VPN = -Q\ 16,656.76$$

Cuadro 24. Resumen del valor presente neto (VPN) calculado para cada tratamiento.

	T1	T2	T3	T4
VPN	-Q. 16,656.76	-Q. 21,829.32	-Q. 22,499.55	-Q. 24,681.46

Como se muestra en la fórmula al ser todos los flujos únicamente de egresos los valores son negativos, por lo tanto, todos se restan, dando un VPN negativo.

En el cuadro 24 se presenta el resumen del valor presente neto para cada tratamiento, mostrando que el tratamiento No. 4 fue el que arrojó el VPN más elevado con -Q. 24,681.46.

b. Costo anual uniforme equivalente (CAUE)

El costo anual uniforme equivalente representa una herramienta útil para proyectos de inversión en los cuales se busca seleccionar entre uno o más procesos alternativos, ya que se necesita un análisis desde un punto de vista económico, pero no se cuenta con ingresos.

La fórmula que se empleó para este indicador financiero se presenta a continuación:

$$CAUE = -Q16,656.76 * \frac{(1 + 0.12)^3 * 0.12}{(1 + 0.12)^3 - 1}$$

$$CAUE = -6935.03$$

Cuadro 25. Resumen de costo anual uniforme equivalente (CAUE) de cada tratamiento.

	T1	T2	T3	T4
CAUE	-Q. 6,935.03	-Q. 9,088.62	-Q. 9,367.66	-Q. 10,276.10

Este parámetro convierte los egresos en los que se debe incurrir para el funcionamiento del proceso, en cantidades anuales uniformes que son las mismas para cada año durante el ciclo de vida del proyecto. Es decir, las anualidades subsiguientes serán exactamente las mismas a la primera.

Como se presenta en el cuadro 25, el tratamiento 1 (4 amperios), es el que muestra el menor CAUE de todos, con un valor de – Q. 6,935.03. El comportamiento de este parámetro fue directamente proporcional, ya que a medida que se aumentaron los amperios para tratar las aguas residuales, se identificó un aumento en el CAUE, siendo el valor más elevado para el tratamiento 4 (15 amperios) con – Q. 10,276.10.

Para esta investigación se decidió utilizar un prototipo ya que volvía más sencillo evaluar la eficiencia del proceso, pero esto no implica que al momento de replicarlo a un volumen industrial vaya a funcionar de la misma manera, ya que los costos, en estos casos, no son escalables. Es un proceso evolutivo en el cual se debe ir formalizando la prueba y diseño a medida que se va avanzando en la implementación.

Considerando que la electrocoagulación es solo una etapa dentro del tratamiento de aguas residuales, y que luego de ella el agua tratada paso por un proceso de floculación y filtración antes de la descarga al cuerpo receptor, se recomienda optar por el tratamiento 1 (4 amperios), ya que la reducción de la turbidez respecto al testigo es estadísticamente significativa, con resultados del 67.79 % respecto al testigo, una reducción de 278.6 UNT y el CAUE es Q. 2,153.59 menor al segundo tratamiento con menor valor (Vilchez, 2014).

No se optó por el tratamiento 3 (13 amperios), ya que la diferencia en la reducción de turbidez entre el tratamiento 1 (4 amperios, con la menor reducción) y dicho tratamiento fue únicamente del 4.64 %, pero para lograr reducir este porcentaje, el CAUE debe aumentar Q. 3,341.67, lo cual no representa un beneficio para la empresa.

2.7. CONCLUSIONES

1. Se determinó que la muestra de agua residual con mejor parámetro de turbidez fue el tratamiento 1 al aplicar una intensidad de carga de 4 amperios respecto al testigo ya que en promedio la turbidez se redujo en un 67.79 % (278.6 UNT) respecto al testigo, respecto a la temperatura, no se observaron cambios significativos al aplicar las diferentes intensidades de carga mientras que, para el parámetro de pH, se observó que a medida que se aumentó la intensidad de carga, este fue disminuyendo. Es decir, todos aumentaron respecto al testigo, pero se mostró un crecimiento inversamente proporcional a los amperios aplicados en los tratamientos.

Por lo tanto, la cantidad óptima para el manejo de la celda de electrocoagulación fue de 13 amperios, ya que con esta cantidad de corriente se pudo remover la mayor cantidad de turbidez presente en el agua tratada.

2. Con base en el análisis económico realizado, se identificó que el tratamiento 1 (4 amperios), fue el que mostró el menor indicador financiero (CAUE) de todos, con un valor de – Q. 6,935.03. El comportamiento de este parámetro fue directamente proporcional, ya que a medida que se aumentaron los amperios para tratar las aguas residuales, se identificó un aumento en él, siendo el valor más elevado para el tratamiento 4 (15 amperios) con – Q. 10,276.10, considerando que la electrocoagulación es solo una etapa dentro del tratamiento de aguas residuales, se recomienda optar por el tratamiento 1 (4 amperios), ya que la reducción de la turbidez respecto al testigo es estadísticamente significativa y el CAUE es Q. 2,153.59 menor al segundo tratamiento con menor valor.

2.8. RECOMENDACIONES

1. Acidificar el agua a tratar para comparar el resultado obtenido con aguas alcalinas.
2. Realizar experimentos variando la distancia entre los electrodos y realizar comparaciones entre los mismos.
3. Utilizar en el proceso electrodos de materiales alternos al aluminio, como el hierro.
4. Realizar una caracterización completa de las muestras para su posterior análisis.
5. La literatura hace referencia a una disminución en el consumo de energía eléctrica al utilizar electrodos bipolares en serie. Por lo tanto, se recomienda realizar una prueba alternando electrodos de aluminio y hierro para evaluar si los resultados son favorables.

2.9. BIBLIOGRAFÍA

1. Arango, A. (2005). La electrocoagulación: Una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 49-56.
<https://www.redalyc.org/pdf/695/69520109.pdf>
2. Arango, A., & Garcés, L. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Revista Universidad EAFIT*, 43(147), 56-67.
https://www.researchgate.net/publication/26576251_Diseño_de_una_celda_de_electrocoagulación_para_el_tratamiento_de_aguas_residuales_de_la_industria_láctea
3. Banco Interamericano de Desarrollo, USA (BID). (1997). *Manual de caracterización de aguas residuales industriales*. Medellín, Colombia: BID / ANDI.
<https://www.dropbox.com/s/jprb4stsj3rkbgS/MANUAL%20DE%20CARACTERIZACION%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20INDUSTRIALES.pdf?dl=0>
4. Central América Data, Costa Rica. (2019). *Sector textil: Polémica por contaminación de aguas*.
https://www.centralamericadata.com/es/article/home/Sector_textil_Polémica_por_contaminación_de_aguas
5. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Perú (CEPIS). (2004). *Tratamiento de aguas para consumo humano: Plantas de filtración rápida manual I: Teoría*. Lima, Perú: CEPIS.
6. Cortazar Martínez, A., Coronel Olivares, C., Escalante Lozada, A., & González Ramírez, C. (2010). Contaminación generada por colorantes de la industria textil. *Vida Científica; Boletín Científico de la Escuela Preparatoria no. 4*, 2(3).
<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n3/e1.html>
7. Cortazar, A., Coronel, C., Escalante, A., & González, C. (2014). Contaminación generada por colorantes de la industria textil. *Vida Científica; Boletín Científico de la Escuela Preparatoria no. 4*, 2(3).
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/article/view/1862>

8. Cuba Tello, M. V, (2020). *Tratamiento de agua residual procedente de lavadoras por el método de electrocoagulación para la reutilización en riego de vegetales -Ate Vitarte*. (Tesis Mag. Sc., Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Dirección General de Estudios de Posgrado: Perú). https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/11734/Cuba_tm.pdf?sequence=1&isAllowed=y
9. Cueva Torres, E. F., & Pereda Vela, M. Y. (2020). *Efecto del amperaje y tiempo del proceso de la electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales del camal de José Leonardo Ortíz*. (Tesis Ing. Quim., Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias: México). http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/8688/Cueva_Torres_Ewdim.pdf
10. Chang, R. (2007). *Química*. México: MacGraw-Hill.
11. Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 38, 11–41. https://www.jpcomplex.ir/Content/media/image/2013/08/772_orig.pdf
12. De Floran Moscoso, Y. A. (2015). *Problemática social de la contaminación ambiental en Mixco departamento de Guatemala: Un estudio de caso a través del método etnográfico*. (Tesis Lic. Antrop., Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela de Antropología: Guatemala). http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/14/14_0525.pdf
13. EFEVerde, España. (18 octubre 2016). *Guatemala multará a cinco empresas textiles por contaminar el río Samalá*. <https://www.efeverde.com/noticias/guatemala-empresas-textiles-contaminar-rio-samala/>
14. Fair, G. M., Geyer, J. C., & Okun, D. A. (1973). *Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*. España: LIMUSA. https://www.todostuslibros.com/libros/purificacion-de-aguas-y-tratamiento-y-remocion-de-aguas-residuales_978-968-18-0167-0
15. Fair, G. M., Geyer, J. C., Okun, D. A. (1973). *Purificación de aguas de tratamientos y remoción de aguas residuales*. México: LIMUSA.
16. Henao Ospina, N., & Ramírez Betancour, S. (2016). *Tratamiento de aguas residuales del sector textil mediante proceso acoplado electro-coagulación-electro-oxidación*. (Tesis Ing. Proces., Universidad Eafit, Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Procesos: Medellín, Colombia). <https://core.ac.uk/download/pdf/159381452.pdf>
17. Holton, P., Barton, G., & Mitchell, C. (2005). *The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology*. Amsterdam, Holanda.

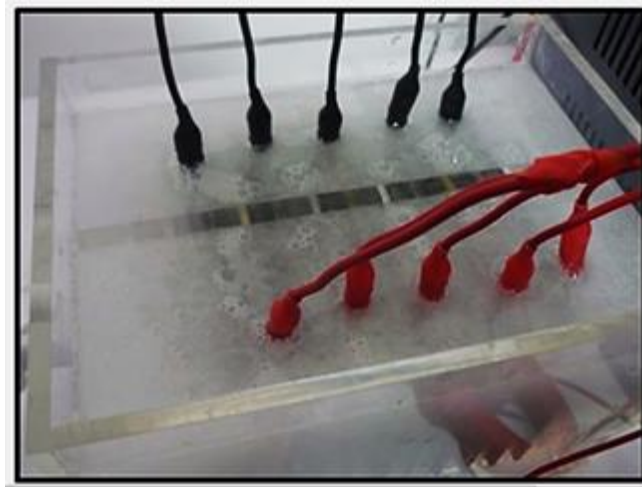
18. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia (IDEAM). (2005). Norma técnica para el control de descargas líquidas. <http://greensafe.com.ec/normasTecnicas/7.-NT002%20Control%20de%20descargas%20l%C3%ADquidas.pdf>
19. Lenntech, USA. (2019). *Industria textil*. Miami, USA. <http://www.lenntech.es/industria-textil.htm>
20. Lockuán Lavado, F. E. (2012). *La industria textil y su control de calidad: V. Tintorería*. https://issuu.com/fidel_lockuan/docs/v._la_industria_textil_y_su_control_de_calidad
21. López, M. (2017). *Manual unidad informativa: Operaciones para la gestión de residuos industriales*. Madrid, España.
22. Martínez Navarro, F. (2007). *Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional*. (Tesis PhD., Universidad de Castilla-La Mancha, Facultad de Ciencias Químicas: Ciudad Real, España). <https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/984/251%20Tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20industriales.pdf>
23. Mollah, M., Morkovsky, P., Gomes, J., Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 114(1-3), 199-210. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389404004170>
24. Mollah, M., Schennach, R., Parga, J., & Cocke, D. (2001). Electrocoagulation (EC) — science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 84(1), 29-41. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389401001765>
25. Municipalidad de Mixco, Guatemala. (2018). *Plan de desarrollo municipal con enfoque territorial 2032*. Guatemala: SEGEPLAN. <https://www.segeplan.gob.gt/nportal/index.php/planes-2018-2019-departamento-de-guatemala/file/1300-plan-de-desarrollo-municipal-con-enfoque-territorial-mixco-2032> <https://www.segeplan.gob.gt/nportal/index.php/municipio-mixco/123-areas/planificacion-territorial/planificacion-del-desarrollo/municipal>
26. NACE International The Corrosion Society, USA. (2004). *Curso de corrosión básica: Manual del estudiante*. Texas, USA. <https://vdocuments.mx/curso-de-corrosion-basico-nace-espanol.html>
27. Oña Pazmiño, B. G., & Falconí Cedillo, D. R. (2013). *Tratamiento avanzado de aguas residuales del proceso de lavado y tinturado de jeans en la empresa “mundocolor” mediante electrocoagulación*. (Tesis Ing. Ind., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica Escuela de Ingeniería Industrial: Riobamba, Ecuador). <https://core.ac.uk/download/pdf/234577511.pdf>

28. Organización Mundial de la Salud, USA (ONU). (2019). *El costo ambiental de estar a la moda*. <https://news.un.org/es/story/2019/04/1454161>
29. Partner, Chile. (2020). *Tratamientos primarios; Separación fisicoquímica de sólidos en suspensión y aceites & grasas*. <https://partnersa.cl/tipo/tratamientos-primarios/>
30. Pérez Cuáquer, G. J. (2015). *Tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos*. (Tesis Ing. Quim., Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Carrera de Ingeniería Química: Quito, Ecuador). <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4518/1/T-UCE-0017-116.pdf>
31. Piña–Soberanis, M., Martín–Domínguez, A., González–Ramírez, C. A., Prieto–García, F., Guevara–Lara, A., García–Espinoza, J. E. (2011). Revisión de variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(2), 98-105. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382011000200010
32. Prieto, F., Callejas, J., Reyes, V., & Marmolejo, Y. (2012). Electrocoagulación: Una alternativa para depuración de lactosuero residual. *AIDIS*, 5(3). DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2012.5.3.34727>
33. Ramírez Ortiz, A. A. (2010). *Eficiencia de la remoción de hierro y manganeso por medio de un proceso de electrocoagulación utilizando un prototipo de celda electroquímica tipo Batch*. (Tesis Mag. Sc. Ing. Sanit., Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria: Guatemala). http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0418_MT.pdf
34. Restrepo Mejía, A., Arango Ruíz, Á., & Garcés Giraldo, L. F. (2006). *La electrocoagulación: Retos y oportunidades en el tratamiento de aguas*. Producción + Limpia, 1(2), 58-77. http://lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol1n2/pl_v1n2_58-77_electrocoagulacion.pdf
35. Secretaria de Economía, México. (2001). Análisis de agua - determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba (cancela a la NMX-AA038-1981). NMX-AA-038-SCFI-2001. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/16777/NMX-AA-038-SCFI-2001.pdf>
36. Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (1996). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. México: Metcalf & Eddy. https://www.academia.edu/35963101/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales_Volumen_1_3ra_Edici%C3%B3n_METCALF_and_EDDY_FREELIBROS_ORG_pdf

37. VESTEX, Guatemala. (2020). VESTEX: Asociación de la industria de vestuario y textiles de Guatemala. <http://www.vestex.com.gt/>
38. Vilchez, A. (31 de julio de 2014). CAUE: Costo anual uniforme equivalente (CAUE). Gestiona Mundo. <http://gestionamundo.blogspot.com/2014/07/caue.html?m=1>



2.10. ANEXOS



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 11A. Prototipo de electrocoagulación perspectiva área.



Figura 12A. Prototipo de electrocoagulación a escala pasados 10 minutos a 13 A.



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 13A. Testigo y 4 amperios.



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 14A. Testigo y 7 amperios.



Figura 15A. Testigo y 13 amperios.

Fuente: elaboración propia, 2020.



Figura 16A. Testigo y 15 amperios.

Fuente: elaboración propia, 2020.



Figura 17A. Testigo.

Fuente: elaboración propia, 2020.



Figura 18A. Muestra sometida a 4 amperios.

Fuente: elaboración propia, 2020.



Figura 19A. Muestra sometida a 7 amperios.

Fuente: elaboración propia, 2020.



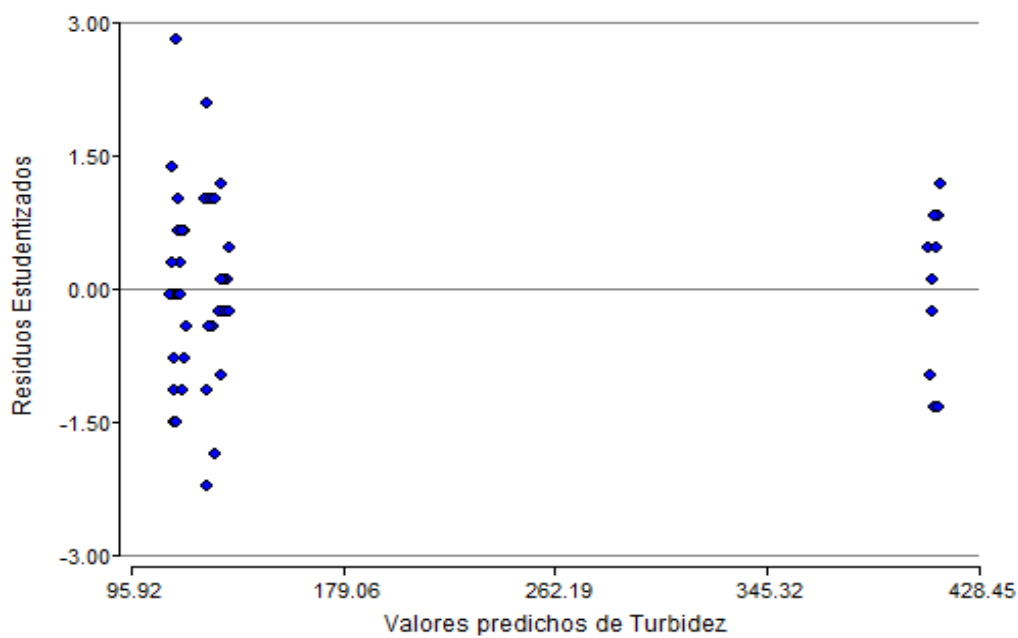
Figura 20A. Muestra sometida a 13 amperios.

Fuente: elaboración propia, 2020.



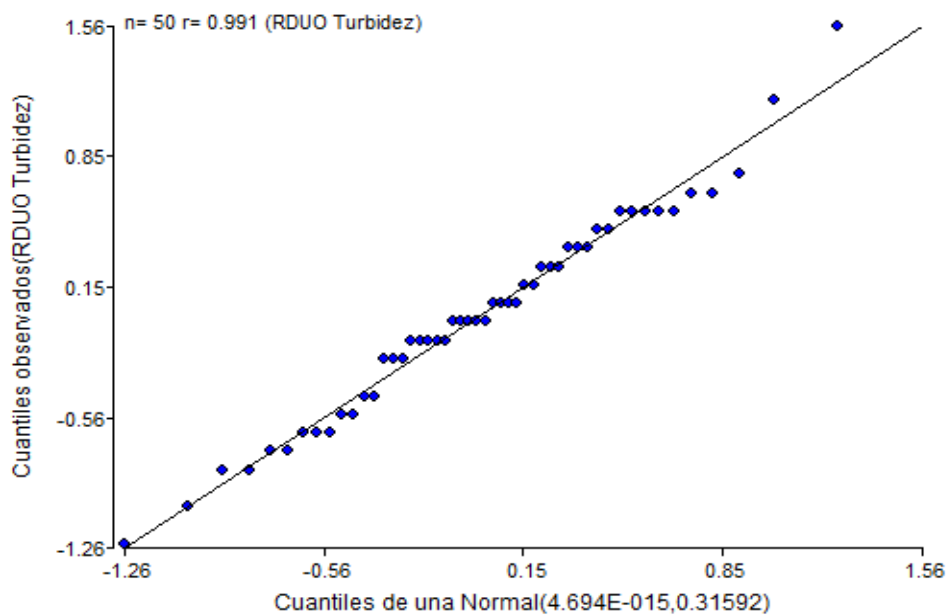
Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 21A. Muestra sometida a 15 amperios.



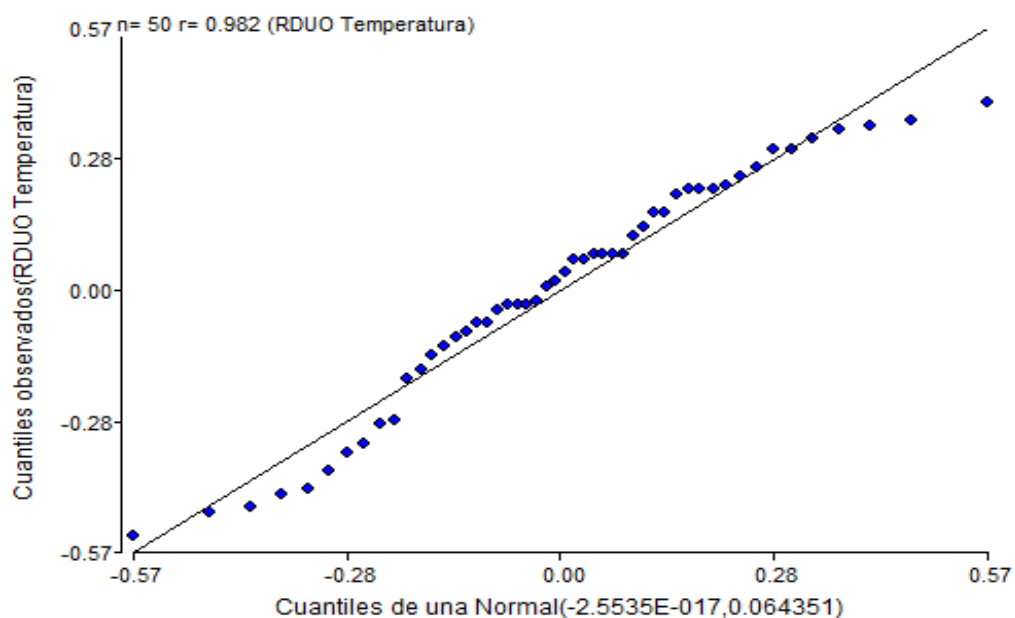
Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 22A. Supuesto de normalidad para el análisis estadístico del parámetro de turbidez.



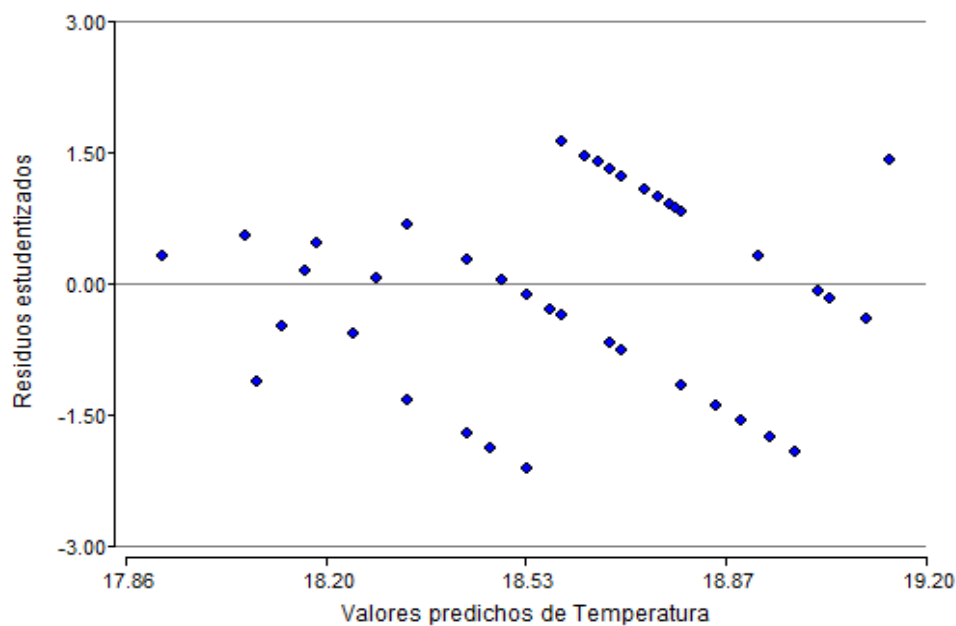
Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 23A. Supuesto de homogeneidad para el análisis estadístico de turbidez.



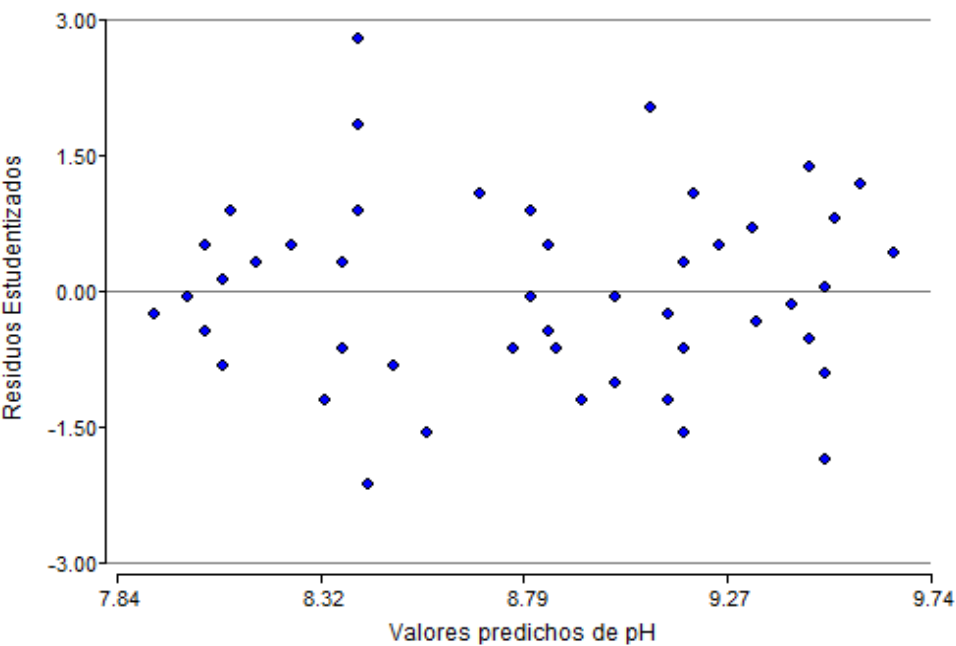
Fuente: elaboración propia, 2020.

24A. Supuesto de normalidad para el análisis estadístico del parámetro de temperatura.



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 25A. Supuesto de homogeneidad para el análisis estadístico de temperatura.



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 26A. Supuesto de homogeneidad para el análisis estadístico de pH.



3.1. PRESENTACIÓN

La empresa Gestión Integrada de Recursos Hídricos S.A. -GIRHSA- nace en el año 2013, empresa guatemalteca especializada en ingeniería del agua en sector municipal e industrial. Provee soluciones a la medida en acondicionamiento de agua para proceso y consumo, así como en tratamiento de aguas residuales.

A lo largo de los años se ha desarrollado un equipo multidisciplinar y altamente cualificado dedicado al desarrollo tecnológico para beneficio directo de sus clientes.

En la actualidad han realizado más de 25 proyectos para los diferentes sectores productivos del país, Centro América y El Caribe, ya que la empresa realiza la función de diseñador y fabricante, la empresa estudia cada uno de los casos para ofrecer una solución con un índice de éxito asegurado.

A lo largo de su experiencia en fabricación de equipos en su taller de fabricación propio, combinan la fortaleza de un potente equipo de diseño con la más alta tecnología de diseño. Los valores que transmiten a sus colaboradores se expanden implícitos en los productos, siendo la mejor opción para el público.

3.2. Servicio # 1. Elaboración de guía para implementar un sistema de economía circular dentro de la empresa

3.2.1. OBJETIVOS

1. Establecer una guía general para una implementación más sencilla de un sistema de economía circular en cualquier área de interés de la empresa.
2. Promover un consumo eficiente de recursos y desechos.

3.2.2. METODOLOGÍA

A. Revisión bibliográfica

Se definió el concepto de economía circular, cuál es su objetivo y su aplicabilidad en términos muy generales. Además de esto se definieron los principios fundamentales y los beneficios de la implementación de este tipo de sistema económico.

B. Capacitación en línea sobre el tema

Se participó en el Webinar sobre economía circular y su relación con los objetivos de desarrollo sostenible impartido por el oficial de programas de eficiencia de recursos naturales para el programa de las naciones unidas para el medio ambiente, Ignacio Sánchez, como parte del IV foro de sostenibilidad industrial y al Ecowebinar Soluciones ecoeficientes (episodio I) impartido por Milton Amaya y Abdiel Pérez. Esto se realizó con la finalidad de entender de mejor manera la aplicación de este modelo económico en materia ambiental.

C. Actividades

Como parte inicial, con la información recopilada, se establecieron cinco pasos básicos que se deben considerar sobre la implementación de este sistema. Posteriormente se definieron una serie de actividades que se deben ejecutar para implementarlo de forma adecuada.

D. Realización de la guía

Como resultado de la unión de la información recopilada, capacitaciones y actividades definidas con anterioridad, se realizó una guía que permita la implementación del sistema antes mencionado, cuando la empresa lo considere oportuno y en el área que sea de su interés. En esta guía se definieron una serie de actividades enfocadas al funcionamiento de la empresa con una breve explicación de las mismas.

3.2.3. RESULTADOS

A. **Guía sobre economía circular**

¿Qué es la economía circular?

La economía circular es un modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido. De esta forma, el ciclo de vida de los productos se extiende.

En la práctica, implica reducir los residuos al mínimo. Cuando un producto llega al final de su vida, sus materiales se mantienen dentro de la economía siempre que sea posible. Estos pueden ser productivamente utilizados una y otra vez, creando así un valor adicional.

Contrasta con el modelo económico lineal tradicional, basado principalmente en el concepto “usar y tirar”, que requiere de grandes cantidades de materiales y energía baratos y de fácil acceso. La obsolescencia programada contra la que el Parlamento Europeo pide medidas es también parte de este modelo.

Cuadro 26. Recopilación de principios de la economía circular.

CADENA DE SUMINISTRO	Preservar y mejorar el capital natural	Fortalecer y mantener el desarrollo de una economía que no comprometa las funcionalidades ecosistémicas, controlando las reservas finitas y equilibrando los flujos de recursos renovables, por ejemplo, reemplazando los
-----------------------------	---	---

		combustibles fósiles con energía renovable o devolviendo los nutrientes a los ecosistemas.
	Uso de energías renovables	Utilizar y/o desarrollar fuentes de energía renovables en sus operaciones, por ejemplo, bioenergía, solar, eólica.
	Pensamiento en cascada (residuo=alimento)	Incrementar el valor de una materia prima o secundaria para introducirla en otra parte del ciclo de vida del mismo producto o en otros eslabones de la cadena de suministro.
EMPRESA	Innovación	Innovar para crear valor empresarial a través de la sostenibilidad, gestión de recursos en productos y servicios.
	Administración del impacto.	Gestionar el impacto directo e indirecto de sus decisiones y actividades, por medio de prácticas

		sostenibles con sus grupos de interés de manera clara, precisa, oportuna, honesta y completa.
	Optimización de valor	Mantener todos los productos, componentes y materiales en su valor y utilidad más altos en todo momento
	Pensamiento local	Deben adaptarse a su contexto y tener una relación dinámica de proximidad.
PRODUCTO	Resiliencia a través de la diversidad	Los productos y servicios se deben adaptar a distintos contextos a lo largo de su ciclo de vida, siendo más eficientes, simples, modulares y versátiles.
	Circularidad y longevidad de materiales y productos	El producto debe tener la capacidad de regenerarse y a su vez perdurar en el tiempo conservando su máxima utilidad.
	Diseño de salida de residuos	Los productos y servicios se pueden concebir y diseñar de manera que se

		minimice la generación de residuos para integrarlos a los ciclos biológicos y técnicos.
--	--	---

Fuente: elaboración propia, 2020.

¿Por qué se debe optar por este modelo económico?

Por una parte, por las oportunidades que esto conlleva, como lo son:

- Mejoramiento de competitividad
- Reducción de costos de operación
- Fortalecimiento de relaciones:
 - Clientes
 - Proveedores
 - Colaboradores
- Crecimiento del PIB

La transición a la economía circular puede desatar un crecimiento global de \$4.5 millones de millones para 2030 y mejorará la resiliencia de las economías globales por otra parte, para la mitigación de riesgos.

Recursos escasos y fluctuaciones en los precios de los productos básicos

El crecimiento económico y de la población impulsan la demanda de recursos y el consumo. En los últimos 40 años, la extracción anual de los materiales se ha triplicado. A medida que la población crece y más consumidores ingresan a la clase media, se prevé que la demanda total de recursos llegará a 130 mil millones de toneladas en 2050, desde los 50 mil millones en 2014. Esto resulta en un uso excesivo de la capacidad total de la tierra de más de un 400%.

La volatilidad de los precios de los recursos es la nueva normalidad

La escala y la velocidad del crecimiento de demanda, acompañada por variaciones frecuentes de los precios a corto plazo, podrían tener como resultado altos precios a largo plazo y por ende mayor inseguridad de abastecimiento.

“LOS RIESGOS DE INACCIÓN SON ALTOS”

Jackson Hole

Principales materiales

El plástico, aluminio, vidrio, madera, hierro, cultivos primarios y ganados son los 8 principales responsables del:



20 % De emisiones globales de GEI



95 % De uso del agua

34 % de esos materiales
van a refugios

33 % van en la comida



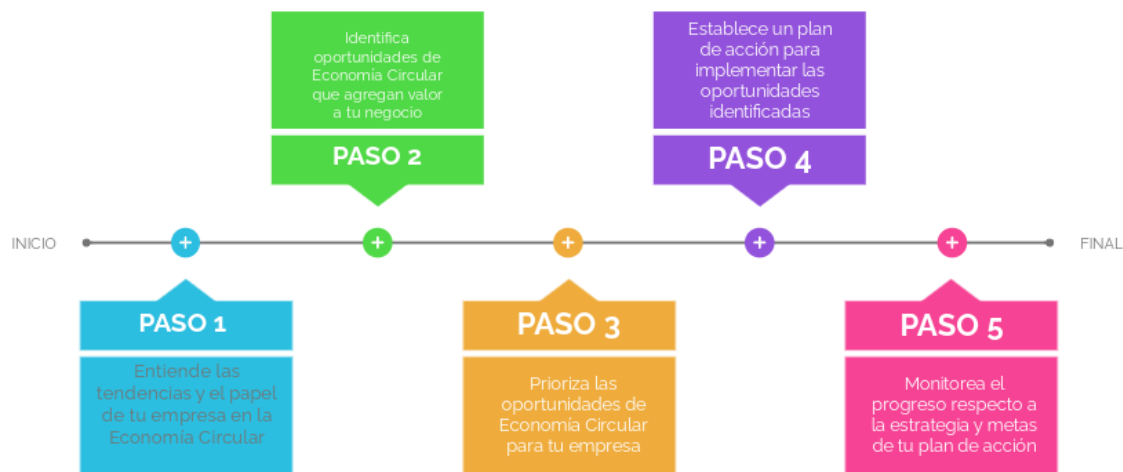
88 % De uso del suelo

Fuente: (West, J. 2014).

La aplicación de medidas de la economía circular en estas áreas puede ayudar a abordar los desafíos del cambio climático, escasez de agua y el uso de tierra.

¿Cómo empezar? -Básico-

A continuación, se presentan los 5 pasos básicos hacia un modelo de economía circular dentro de la empresa:



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. 5 pasos básicos hacia un modelo de economía circular.

Cuadro 27. Actividades enfocadas al funcionamiento de la empresa.

ACTIVIDAD	EXPLICACIÓN
Desarrollo de tecnologías que impulse la EC	Impulsar la inversión, investigación y el desarrollo en tecnologías innovadoras en cada uno de los principios de economía circular. Por ejemplo, generar nuevos productos, diseños, procesos, servicios, métodos u organizaciones, automatización, sistemas remotos de monitoreo.
Equilibrio eco sistémico en las zonas de operación de la organización	Regenerar, mantener y restablecer la salud de los ecosistemas y el capital natural (siembra de árboles, conservación y regeneración de suelos y agua, preservación de biodiversidad y

	sus ecosistemas) con el fin de disminuir la afectación de la biosfera.
Devolver los recursos biológicos recuperados a la biosfera	Realizar procesos que permitan el retorno de los materiales dentro de un ciclo biológico, por ejemplo: retorno de aguas residuales tratadas, compost.
Implementación y desarrollo de energías renovables	Utilizar y/o desarrollar fuentes de energía renovables en sus operaciones, por ejemplo: bioenergía, solar, eólica.
Alianzas para el desarrollo de la EC con organizaciones y grupos de interés	Tener alianzas estratégicas u operativas con el fin de desarrollar la EC con otras organizaciones o grupos de interés.
Refabricar productos o componentes	Desmaterializar y remanufacturar productos o componentes para la elaboración de nuevos productos. Reincorporación de materiales y productos a lo largo de la cadena de valor o en la cadena de suministro.
Gestionar (administrar, coordinar, organizar) para la mitigación de impacto	Gestionar (administra, coordina, organiza) el impacto directo e indirecto de sus decisiones y actividades, por medio de prácticas RSE (Responsabilidad Social Empresarial) con sus grupos de interés de manera clara, precisa, oportuna, honesta y completa.
Educar a los actores de la cadena e interesados sobre la EC	Educar a sus proveedores, distribuidores, empleados,

	consumidores para que se sientan familiarizados con los procesos, productos y/o servicios que van a adquirir y los beneficios que implica la EC en ellos.
Desarrollo de estrategias que generen rentabilidad	Inclusión del componente económico, generación de valor económico a través del desarrollo de diferentes modelos propios de la economía circular, por ejemplo: ecodiseño, recuperación, reciclaje, entre otros.
Diseño para la prolongación de la vida útil (Ecodiseño o DfE)	Los productos y/o servicios se puedan concebir y diseñar considerando las estrategias de ecodiseño. (Desarrollo de nuevos conceptos, reducción del consumo y diversidad de materiales, selección de materiales de menor impacto ambiental, reducción del impacto ambiental de los procesos productivos, optimización de la distribución, reducción de impactos ambientales durante el uso, incremento de la vida útil, optimización de la gestión de residuos.
Producto como servicio (PSS)	La característica principal de este modelo es que el rendimiento asume un papel más importante que la propiedad. Pagar por el uso: los clientes compran servicios en lugar de productos y pagan según el uso por un periodo de tiempo. Como empresa se es responsable por



Empezar pequeño y escalar

Comenzar en pequeña escala y poner a prueba programas innovadores que puedan llegar a estrategias a largo plazo. Se debe celebrar éxitos, reevaluar los fracasos para mantener motivados a los colaboradores, mientras se acoplan al nuevo modelo económico.



Trazar el progreso

Utilizar métricas financieras, ambientales y sociales para medir y rastrear el impacto que la innovación circular tiene en el negocio.

3.2.3. EVALUACIÓN

Como resultado de la unión de la información recopilada, capacitaciones y actividades definidas con anterioridad, se realizó una guía, la cual permitirá la implementación del sistema antes mencionado, cuando la empresa lo considere oportuno y en el área que sea de su interés. En esta guía se definieron una serie de actividades enfocadas al funcionamiento de la empresa con una breve explicación de las mismas.

3.3. Servicio # 2. Asistencia para el cumplimiento legal ambiental.

3.3.3. Objetivos

1. Establecer los pasos técnicos y legales para la obtención del incentivo ambiental sello verde por parte MARN.
2. Estipular los aspectos legales ambientales que como empresa deben cumplir.
3. Proyectar la vocación de liderazgo de la empresa en el desarrollo de energías limpias y el respeto por el medioambiente a través de una política empresarial ambiental.

3.3.4. METODOLOGÍA

A. Incentivos

Se investigó el proceso para la obtención del sello ambiental por parte del Ministerio de Ambiente y Recursos naturales (MARN). Además, se elaboró una representación gráfica de los pasos tanto técnicos como legales para la obtención del incentivo (sello verde) por parte del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

B. Licencias

Se realizó una evaluación con base en consultas e información recopilada si la empresa requería alguna licencia por parte del MARN para que su funcionamiento sea dentro del marco legal.

C. Marco legal ambiental empresarial

Se investigaron los aspectos legales relacionados a las actividades que la institución realiza. Con base en esto, se elaboró un marco legal ambiental enfocado a la empresa GIRHSA y al recurso agua.

D. Política ambiental

Se elaboró una política ambiental para la empresa que contempla el propósito de la empresa, ámbito de aplicación, organización medio ambiental, compromisos en materia ambiental con instrumentos para la ejecución e impulso de los mismos y los principios básicos de la actuación de la empresa.

3.3.5. RESULTADOS

A. Pasos técnicos y legales para la obtención del incentivo sello verde por parte del MARN.

En la gráfica que a continuación se presenta, se describen las dos bases que se deben seguir para la implicación de este incentivo, las cuales son: la parte legal y la técnica.

En cuanto a la base legal los aspectos que norman la legislación guatemalteca se desglosan en dos grandes ámbitos, uno internacional y otro nacional.

Los compromisos internacionales son los que obligan al Estado de Guatemala a promover iniciativas, que responda a la tendencia mundial de encontrar soluciones para temas de carácter ambiental como lo son: el cambio climático y detener el deterioro ambiental, generando incentivos para los sectores industriales y empresariales. Este incentivo toma en consideración el Tratado de Libre Comercio entre República Dominicana, Centroamérica y Estados Unidos de América -DR-CAFTA- que en su Capítulo 17, ya que establece mecanismos voluntarios para mejorar el desempeño ambiental (Artículo 17.4).

Respecto a lo nacional también es importante destacar que la ratificación del DR-CAFTA, promueve los compromisos asumidos en el mismo, generando por tanto compromisos en la temática ambiental a través del Capítulo 17 que obliga al cumplimiento de la legislación ambiental y promueve los mecanismos voluntarios para mejorar el desempeño ambiental, en los que está sustentada la creación del incentivo de Sello Verde Nacional.

El otro soporte del mapa mental es la base técnica, por medio de la cual se estructura el programa de Incentivos del sello verde, el cual consta de 4 etapas las cuales se describen a continuación:

- **Inscripción y adhesión al programa Sello Verde Nacional.**

El interesado debe ingresar una solicitud al MARN sobre su intención de adherirse al programa de incentivos, también debe entregar un formulario de autodeclaración ambiental,

donde hace constar que cumple con los requisitos establecidos para ingresar al programa de incentivos.

- **Evaluación de Estrategias de prevención Producción más Limpia y/o Sistema de Gestión Ambiental (SGA).**

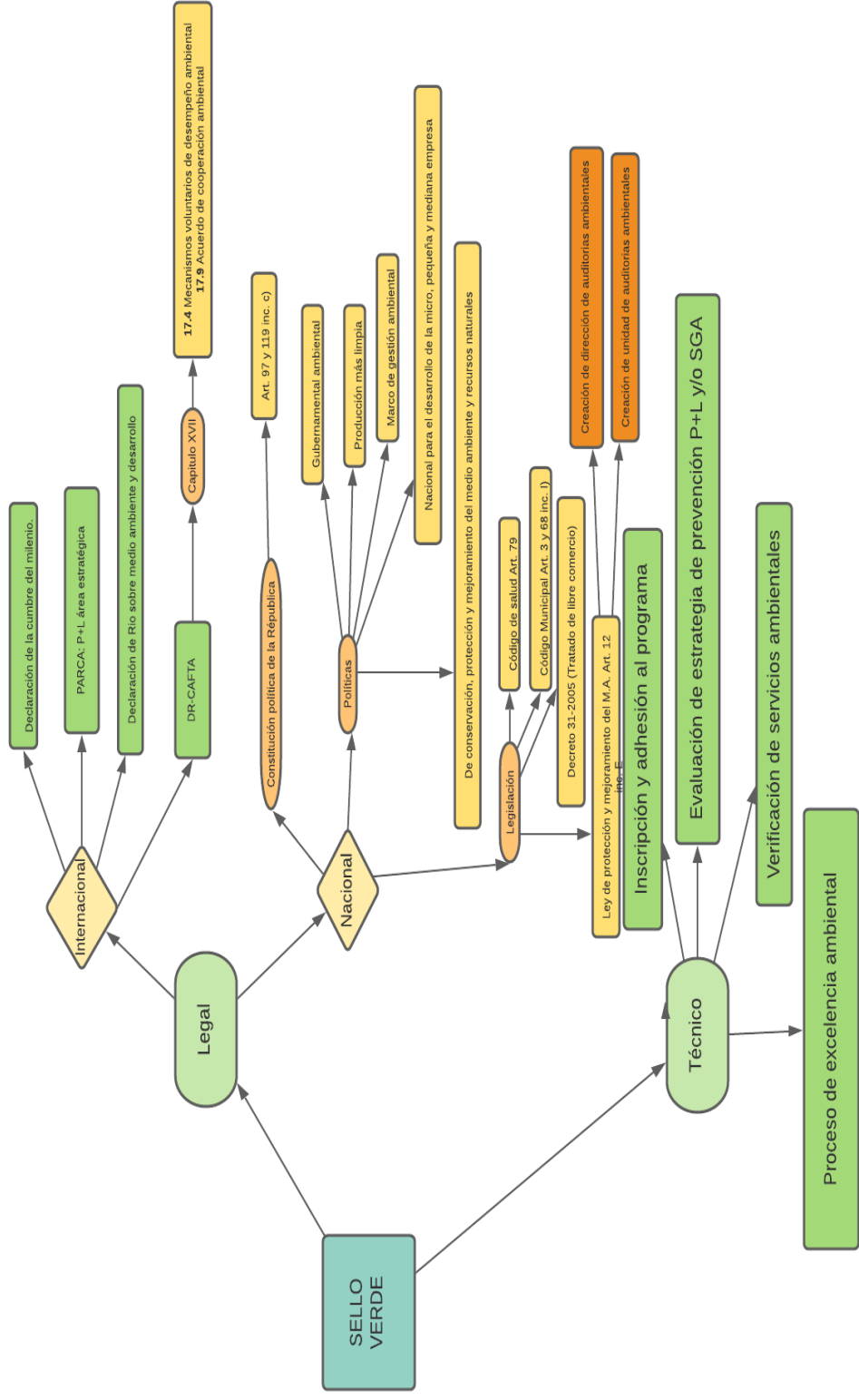
El MARN debe proporcionar al interesado, referencia sobre consultores o instituciones técnicas con la competencia para realizar la evaluación de SGA.

- **Verificación de Compromisos Ambientales.**

La dirección del MARN responsable del mecanismo, debe comunicar y planificar con la unidad de auditorías ambientales llevar a cabo la revisión de compromisos ambientales de la empresa o institución.

- **Proceso de Excelencia Ambiental.**

El interesado debe continuar hacia la Excelencia Ambiental, una vez la empresa cuente con la aprobación de los pasos antes mencionados, se continúa un ciclo de mejora continua donde presentará al MARN un plan PGA ajustado, basado en prácticas de PML, estrategias de prevención de la contaminación, sistemas de gestión ambiental entre otros.



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 28. Representación gráfica de los pasos técnicos como legales para la obtención del sello verde por parte del MARN.

B. Aspectos legales ambientales

a. Licencias

Se determinó que la empresa por el momento no debe optar por ninguna licencia, en específico por la licencia de disposición final controlada ya que no realizan en sí actividades de eliminación o disposición final de un producto peligroso, obsoleto o perecedero que haya caducado y/o no sea apto para comercializarse. En caso la empresa quisiera empezar a hacerse cargo de la disposición final de los lodos de acuerdo con lo establecido en el Decreto No. 68-86 Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, y el Acuerdo Gubernativo No. 137-2016 Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental, se debe solicitar dicha licencia llenando el formulario correspondiente DVGA-GA-025, con un valor de Q 100.

b. Marco legal ambiental GIRHSA

Constitución Política de la República de Guatemala

La promulgación de la Constitución Política de Guatemala en el año 1985 une la gestión ambiental al conjunto de funciones del Estado al manifestar que el Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a brindar desarrollo económico, tecnológico y social que prevenga la contaminación del ambiente y conserve el equilibrio ecológico.

El Artículo noventa y siete (97) indica que: “se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y el agua, se realicen racionalmente”.

En el artículo ciento veintiuno (121) en la literal b) que son bienes del Estado: “Las aguas de la zona marítima que ciñe las costas de su territorio, los lagos, ríos navegables y sus riberas, los ríos, vertientes y arroyos que sirven de límite internacional de la República, las

caídas y nacimientos de agua de aprovechamiento hidroeléctrico, las aguas subterráneas y otras que sean susceptibles de regulación por la ley y las aguas no aprovechadas por particulares en la extensión y término que fije la ley.”

En el artículo ciento veintisiete (127) establece el Régimen de Aguas indicando que “todas las aguas son bienes de dominio público, inalienables e imprescriptibles. Su aprovechamiento, uso y goce, se otorgan en la forma establecida por la ley, de acuerdo con el interés social. Una ley específica regulará esta materia”; y en el artículo ciento veintiocho (128) del mismo cuerpo legal establece el aprovechamiento de aguas, lagos y ríos. “El aprovechamiento de las aguas de los lagos y de los ríos, para fines agrícolas, agropecuarios, turísticos o de cualquier otra naturaleza, que contribuya al desarrollo de la economía nacional está al servicio de la comunidad y no de persona particular alguna, pero los usuarios están obligados a reforestar las riberas y los cauces correspondientes, así como a facilitar las vías de acceso.

Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente

En 1986, se emite la normativa específica ambiental que corresponde a la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto 68-86 del Congreso de la República), cuyo objetivo es contribuir a la protección, conservación y mejoramiento de los recursos naturales del país, así como la prevención del deterioro y mal uso o destrucción de estos y la restauración del medio ambiente en general.

El artículo catorce (14) del Decreto 68-86 estipula que, con el fin de prevenir la contaminación atmosférica y mantener la calidad del aire, el Organismo Ejecutivo a través del Ministerio correspondiente emitirá el Reglamento respectivo. A la fecha no se ha publicado ningún reglamento sobre límites máximos permisibles de emisión de gases y condiciones sobre calidad ambiental del aire en Guatemala.

El artículo diecisiete (17) del Decreto 68-86, dispone que el Organismo Ejecutivo emita los Reglamentos que sean necesarios con respecto a las emisiones de energía en forma de ruido, sonido, microondas, vibraciones, ultrasonido o acciones perjudiciales para la salud mental y física y el bienestar humano o que cause trastornos al equilibrio ecológico. A la fecha no se ha publicado ningún reglamento en esta materia.

El Artículo dieciocho (18) de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente estipula que el Organismo ejecutivo debe emitir reglamentos relacionados con actividades que pudieran causar alteración estética del paisaje y otros factores considerados como agresión visual, y que podría afectar la salud mental y física al igual que la seguridad de las personas. A la fecha, dichos reglamentos no han sido emitidos.

Política Nacional de Producción Más Limpia

Establece dentro de sus estrategias “Generar e Instrumentalizar Incentivos para Producción Más Limpia”; con el objeto de que se reconozca el valor agregado de los productos, bienes y/o servicios que hacen uso eficiente de sus materias primas, consumen menos recursos e insumos, sobre todo que impactan de menor grado al ambiente.

Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental Acuerdo Gubernativo No.137-2016

Dentro del marco normativo, legal y regulatorio a nivel nacional se establece que, con el objeto de promover y reconocer el cumplimiento del sector industrial, comercial y de servicios que implementen buenas prácticas y tecnologías limpias e innovadores que minimicen los impactos al ambiente, puedan ser acreedores de Sello Ambiental y el Premio Nacional de Producción Más Limpia.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y sus Reglamentos

En el año 2006, el 11 de mayo fue publicado en el Diario de Centroamérica el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (Acuerdo Gubernativo número 236-2006), emitido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). El reglamento tiene como objeto establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reúso de aguas residuales, así como para disposición de lodos. Con el fin de mejorar las características de dichas aguas, y lograr establecer un proceso continuo que permita: a) Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana; b) Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización; y, c) Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada. También es objeto de este reglamento establecer los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

promueve la conservación y mejoramiento del recurso hídrico. El Reglamento establece que le compete la aplicación de este al MARN.

Código de Salud (Decreto 90-97)

El nuevo Código de Salud (decreto 90-97) fue publicado en el año 1997, en el que el Capítulo IV Salud y Ambiente, sección I Calidad Ambiental, Artículo sesenta y ocho (68), calidad ambiental sobre ambientes saludables indica que: El Ministerio de Salud en colaboración con CONAMA (actualmente el MARN), las municipalidades y la comunidad organizada, promoverán un ambiente saludable que favorezca el desarrollo pleno de los individuos, familias y comunidades.

El artículo cuarenta y cuatro (44) del Código de Salud que tiene relación con la salud ocupacional indica que el Estado a través del Instituto Guatemalteco de Seguro Social (IGSS), el Ministerio de Trabajo y Previsión Social y demás instituciones del sector, y con la colaboración de empresas públicas y privadas, desarrollarán acciones tendientes a conseguir ambientes saludables y seguros en el trabajo para la prevención de enfermedades ocupacionales, atención de las necesidades específicas de los trabajadores y accidentes de trabajo. Por consiguiente, es necesario informar a las instituciones que tengan competencia sobre las características del proyecto y las medidas que se proponen para minimizar los riesgos y accidentes.

El artículo sesenta y nueve (69) establece que el Ministerio de Salud y el MARN establecerán los límites de exposición y de calidad ambiental permisibles a contaminantes ambientales, cuando estos sean de naturaleza física, química y biológica. No obstante, cuando los elementos son radiactivos, participa en el proceso el Ministerio de Energía y Minas.

El artículo ochenta y dos (82) establece lo siguiente: “Fomento de la construcción de servicios. El Ministerio de Salud en coordinación con las Municipalidades y la comunidad organizada, en congruencia con lo establecido en los artículos 78 y 79 de la presente ley, fomentará la construcción de obras destinadas a la provisión y abastecimiento permanente de agua potable a las poblaciones urbanas y rurales.” El artículo ochenta y seis (86) establece lo siguiente: “Normas. El Ministerio de Salud establecerá las normas vinculadas

a la administración, construcción y mantenimiento de los servicios de agua potable para consumo humano, vigilando en coordinación con las Municipalidades y la comunidad organizada, la calidad del servicio y del agua de todos los abastos para uso humano, sean estos públicos o privados.”

Asimismo, en la sección tres (III) del mismo cuerpo legal “La eliminación y disposición de excretas y aguas residuales” regula en general la instalación e implementación de tratamiento de aguas residuales para poder lograr la eliminación de excretas.

El artículo noventa y dos (92), relacionado con la dotación de servicios, establece que: Las municipalidades, industrias, comercios, entidades agropecuarias, turísticas y otro tipo de establecimiento público y privado, deberán dotar o promover la instalación de sistemas adecuados para la eliminación de excretas, el tratamiento de aguas residuales y aguas servidas, así como el mantenimiento de dichos sistemas conforme a la presente ley y los reglamentos respectivos.

El artículo noventa y tres (93) Acceso y cobertura. El Ministerio de Salud de manera conjunta con las instituciones del Sector, las Municipalidades y la comunidad organizada, promoverá la cobertura universal de la población a servicios para la disposición final de excretas, la conducción y tratamientos de aguas residuales y fomentará acciones de educación sanitaria para el correcto uso de las mismas.”

En el artículo noventa y cuatro (94) se regula lo siguiente: “Normas sanitarias: El Ministerio de Salud con otras instituciones del sector dentro de su ámbito de competencia, establecerán las normas sanitarias que regulan la construcción de obras para la eliminación y disposición de excretas y aguas residuales y establecerá de manera conjunta con las municipalidades, la autorización, supervisión y control de dichas obras.”

El artículo noventa y seis (96) establece directamente la construcción de obras de tratamiento, el cual indica que “es responsabilidad de las Municipalidades o de los usuarios de las cuencas o subcuencas afectadas, la construcción de obras para el tratamiento de las aguas negras y servidas para evitar la contaminación de otras fuentes de aguas, ríos, lagos, nacimientos de agua. El Ministerio de Salud deberá brindar asistencia técnica en aspectos vinculados a la construcción, funcionamiento y mantenimiento de estas.”

El artículo noventa y siete (97) regula la descarga de aguas residuales, dicho artículo indica que: “queda prohibido la descarga de contaminantes de origen industrial, agroindustrial y el uso de aguas residuales que no hayan sido tratadas sin previo dictamen favorable del Ministerio de Salud.

COGUANOR NTG 29006. Agua para consumo humano (agua potable). Recolección, preservación, transporte y almacenamiento de muestras

Esta norma establece los procedimientos de recolección, preservación, transporte y almacenamiento de muestras de agua, desde su fuente hasta su ingreso al laboratorio, para el análisis de los parámetros descritos en la norma COGUANOR NTG 29001 entre los cuales están: color, olor, turbiedad, conductividad eléctrica, potencial de hidrogeno, solidos totales disueltos, cloro residual libre, dureza, metales pesados, entre otros.

La frecuencia del muestreo tiene como objetivo definir la continuidad del seguimiento que debe efectuarse a la calidad del agua para consumo humano (agua potable). Durante situaciones de emergencia, la frecuencia del muestreo será establecida por la autoridad reguladora pertinente. La cantidad mínima de muestras que se deben examinar mensualmente varía de acuerdo con el número de habitantes de la población abastecida.

C. Política ambiental empresarial

Propósito

La Política ambiental tiene el fin de proyectar a la institución su disposición de liderazgo en el desarrollo de energías limpias y el respeto por el medioambiente.

En cuanto a esto, los mandos administrativos de la institución consideran el medioambiente como el elemento esencial del concepto de sostenibilidad y, en particular, uno de los tres pilares para alcanzar un modelo energético sostenible, de la mano con la competitividad y la seguridad del suministro.

La empresa, consciente de su potencial para contribuir a la conservación y protección del medioambiente, ha asumido voluntariamente la responsabilidad de liderar la lucha contra el cambio climático y preservación de la biodiversidad. Además, la empresa cree firmemente en el respeto por el medioambiente como uno de los valores colectivos que

determinan toda su táctica de negocio al ser fundamental en la elaboración de un modelo energético sostenible, lo que se convierte, en el ámbito medioambiental, a menores emisiones y mayor eficiencia en la producción y uso de la energía, así como en el acatamiento de la normativa ambiental y de las mejores prácticas tanto nacional como internacionalmente.

Con todo ello, mediante una política de información transparente y una estrategia de diálogo constante, la empresa da respuesta a las expectativas de sus grupos de interés en cuanto a la protección del medioambiente, los requerimientos regulatorios cada vez más rigurosos.

Ámbito de aplicación

Esta Política ambiental se aplica en todas las secciones tanto administrativas como operacionales.

Además, también aplica a terceros, es decir, a las empresas contratadas que actúen en nombre de la institución, así como a las alianzas temporales de empresas y otras asociaciones equivalentes, cuando la empresa asuma su gestión.

Organización medioambiental

La definición y cumplimiento de la Política ambiental en la empresa GIRHSA corresponde a la junta directiva de la misma, ellos serán los responsables de establecer y supervisar la aplicación, correspondiente, de la estrategia y la clasificación medioambiental a nivel de institución.

Compromisos en materia ambiental

La mejora en cuanto a energías limpias, la inversión en tecnología y el respeto por el ambiente son principios esenciales del modelo actual de producción de la empresa.

La Sociedad considera esta dimensión ambiental como una prioridad en la planificación de sus negocios. Esto la obliga a promover la innovación, la ecoeficiencia y la reducción

progresiva de los impactos ambientales en las actividades que desarrolla la empresa, con el fin de que la energía se transforme en una fuente sostenible de la economía y en socia del desarrollo equilibrado.

Por ello, consciente de la importancia de este factor para el desarrollo de su misión empresarial, para sus clientes, accionistas y para otros grupos de interés relevantes con los que interactúa, la empresa se compromete a promover la innovación en este campo y la ecoeficiencia (reducción del impacto ambiental por unidad de producción), es decir, a reducir progresivamente los impactos ambientales de sus diligencias, infraestructuras, bienes y servicios, así como a brindar, promover e investigar alternativas ecoeficientes en su mercado, acordando así la mejora de sus actividades con el genuino derecho de las generaciones presentes y futuras a disfrutar de un medioambiente adecuado. En este sentido, la política nacional de cambio climático recoge un objetivo concreto de reducción gradual de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero.

Asimismo, la empresa optimiza la gestión del agua, residuos a través de sistemas implantados que fijan objetivos y metas sobre, entre otros aspectos, la reducción de estos, el uso de buenas prácticas en cuanto al uso del recurso hídrico y el manejo de material reciclado, favoreciendo así a la transición hacia un modelo de economía circular.

Instrumentos para ejecución e impulso de los compromisos ambientales

Los compromisos como empresa en materia ambiental son impulsados a través de:

- a. Una estructura organizativa y de responsabilidades claramente definidas en el ámbito del medioambiente y la sostenibilidad en general.
- b. Esta Política y otras políticas específicas relacionadas con aspectos concretos de relevancia, como son las políticas nacionales de diversidad biológica y el cambio climático.
- c. La consideración de la variable ambiental en temas de seguridad ocupacional.
- d. Un sistema de gestión ambiental global, que permite reducir los riesgos ambientales, mejorar la gestión de los recursos y optimizar las inversiones y los costos.
- e. La elaboración periódica de planes estratégicos concretos, que determinan las prioridades estratégicas y los asuntos clave en materia ambiental.

- f. El establecimiento de objetivos concretos y verificables de carácter ambiental.
- g. La formación y la información a personal directivo y empleados.
- h. Informar a toda la cadena de producción los principios relacionados al cuidado del medioambiente y así agregar valor.

Principios básicos de actuación de la empresa en materia ambiental

Para lograr poner en práctica esta serie de responsabilidades, la empresa se regirá por los siguientes principios básicos de acción:

- a. Respetar la normativa medioambiental vigente en los países donde opera y, en la medida de lo posible, anticiparse a la aplicación de la nueva normativa, cuando sea más exigente, y cumplir con las responsabilidades voluntariamente obtenidas y con la normativa internacional de carácter ambiental.
- b. Integrar plenamente la dimensión ambiental y el respeto al entorno natural en la estrategia de la empresa.
- c. Asegurar permanentemente la compatibilidad de la protección del medioambiente, la satisfacción de las necesidades sociales en materia energética y la creación de valor sostenible a través de la innovación y la ecoeficiencia, contribuyendo a un modelo energético tanto responsable como sostenible.
- d. Consumir responsablemente, haciendo un uso sostenible de los recursos y aumentando la circularidad de las actividades de la empresa.
- e. Establecer sistemas de gestión adecuados, basados en la filosofía de la mejora continua, que contribuyan a reducir los riesgos ambientales y que incluyan:
 - 1. Un esfuerzo continuo de identificación, evaluación y reducción de los efectos ambientales negativos de las actividades, instalaciones, productos y servicios de la empresa.
 - 2. Información y formación a los empleados sobre los efectos derivados del desarrollo de procesos y productos de la empresa para minimizar los efectos negativos de sus actividades sobre su salud y sobre el medioambiente.
 - 3. El desarrollo de planes y programas que establezcan objetivos y metas, asimismo la

actualización de planes de emergencia que permitan reducir riesgos, minimizar los efectos medioambientales negativos y controlar con frecuencia los progresos y la eficacia de las medidas aplicadas.

4. Desarrollo de auditorías internas y externas.

- f. Respetar la naturaleza, la diversidad biológica y el patrimonio histórico en los entornos naturales en los que se ubican las instalaciones de la empresa.
- g. Fomentar la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos que contribuyan a hacer frente al cambio climático y a otros retos ambientales con un enfoque preventivo y que faciliten un manejo más eficaz de los recursos naturales.
- h. Informar de manera transparente sobre los resultados y las actuaciones ambientales, manteniendo los canales adecuados para favorecer la comunicación con los grupos de interés y reconociendo tanto los logros como los aspectos de mejora.
- i. Compartir con sus clientes el conocimiento adquirido para mejorar su comportamiento ambiental en relación con la energía.

* * *

E. Actividades no planificadas

Producto de la Pandemia, el MARN en conjunto con la Cámara de la Industria, desarrolló un programa para la atención del usuario. El cual consistió en la realización del Ecowebinar “Plan de acción del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) para atención al usuario en tiempos de COVID-19”, el cual complementa toda la información recopilada. Además, se participó en el Ecowebinar “Desechos sólidos: planes para el manejo de desechos sólidos y químicos peligrosos”.

3.3.6. EVALUACIÓN

Actualmente la empresa puede optar por el incentivo del sello de desempeño ambiental otorgado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) a través del Centro

Guatemalteco de Producción más Limpia (CGP+L). Este tiene como objetivo reducir costos operativos y ambientales para mejorar la productividad de las empresas, también se realizó una política ambiental empresarial que tiene como propósito establecer la postura de liderazgo que la empresa ha asumido respecto a la lucha contra el cambio climático y preservación de la biodiversidad. En esta política la institución se compromete a promover la innovación en este campo y la ecoeficiencia (reducción del impacto ambiental por unidad de producción) instrumentos que junto con el marco legal ambiental dejan establecidas las pautas legales ambientales que como empresa deben cumplir, haciendo más fáciles sus actividades sin incurrir en faltas.

3.4. Servicio # 3. Consultoría ambiental para recicladora de envases de plástico en el oriente del país.

3.4.3. OBJETIVOS

1. Identificar, evaluar y describir los impactos ambientales.
2. Establecer medidas de mitigación para los impactos ambientales identificados.

3.4.4. METODOLOGÍA

A. Primera visita de campo

Como punto de partida para la consultoría ambiental, era indispensable la recopilación de información de fuentes primarias, es decir, fue necesario realizar una visita de campo inicial, en dicha visita se tuvo un acercamiento al proyecto, se conocieron las instalaciones a grandes rasgos por motivos de permisos.

Entre la información que se recopiló en esa ocasión se encuentra: el área del proyecto incluyendo la ubicación exacta, coordenadas, tamaño del polígono, áreas de influencia, actividades cercanas al proyecto, materias primas e insumos, servicios requeridos, mano de obra empleada.

B. Inicio fase de gabinete

Con la información recopilada en la primera visita de campo se procedió a iniciar con la actualización del PGA, se empezó a realizar el documento, mientras este se trabajaba se solicitó información acerca de datos específicos como lo son la cantidad , unidad y forma de almacenamiento de la materia prima e insumos, los turnos con los que cuenta, la dato exacto de hombres y mujeres por turno, la cantidad de equipo y maquinaria, el tipo de desechos sólidos que producen, tanto comunes como peligrosos.

C. Segunda visita de campo

Para validar la información solicitada en la fase de gabinete, se acordó realizar una segunda visita, con el fin de recolectar los datos faltantes y corroborar la información antes brindada. Entre la información que se obtuvo están: los procesos que se llevan dentro del proyecto, de forma detallada, el manejo de aguas residuales de tipo común y especial, el manejo que se le da a las aguas pluviales, el manejo de emisiones gaseosas y la identificación de impactos ambientales para su posterior caracterización y valorización.

D. Finalización del documento

Obtenida toda la información necesaria se terminó el documento incluyendo la evaluación y síntesis de los impactos actuales que el proyecto genera, con una serie de medidas de mitigación contando con planes de manejo específicos, los cuales fueron validados por las autoridades del proyecto en cuestión.

3.4.5. RESULTADOS

Para la identificación y valoración de impactos ambientales se realizó un análisis de la información proporcionada por la organización, así como visitas de campo para familiarizarse con el entorno y constatar el estado de gestión de las actividades que pueden generar impactos ambientales significativos.

En esta ocasión se utilizó la Matriz de Leopold la cual es una herramienta cualitativa que ha sido utilizada ampliamente en estudios de evaluación de impacto ambiental en la región centroamericana.

A continuación, se presentan los criterios a considerar, seguido de la matriz y síntesis de los impactos más relevantes.

A. Identificación de impactos ambientales a través de la matriz de Leopold

Cuadro 28. Criterios

Magnitud	Descripción
4	El impacto ocurre en cantidades masivas, o en concentraciones o calidades tales que pueden tener un efecto dramático sobre la salud de las personas o ecosistemas.
3	El impacto ocurre en cantidad, calidad, concentración o forma tal que es molesto para personas o ecosistemas adyacentes al proyecto.
2	El impacto ambiental ocurre en cantidad, calidad, concentración o forma tal que puede tener ser perceptibles sobre la comodidad de colaboradores o el aspecto de áreas dentro del proyecto.
1	El impacto ambiental ocurre en cantidades o formas mínimas o imperceptibles
0	El aspecto ambiental no ocurre en la actividad calificada.

Importancia	Descripción
4	El aspecto está relacionado con riesgos o beneficios para el patrimonio natural, cultural o económico de la región, o con efectos a la salud humana.
3	El aspecto está relacionado con temas sujetos a regulación, límites específicos o de sensibilidad especial para grupos de interés. Aunque no hay efectos sobre la salud, podría causar molestias.

2	El aspecto está relacionado con temas no regulados, pero considerados de interés ambiental o social general.
1	El aspecto ambiental está relacionado con temas comunes en la zona de influencia, o que no tienen un interés ambiental o social.

Cuadro 29. Matriz de Leopold.

[illegible]



Fuente: elaboración propia, 2020.

3.4.6. EVALUACIÓN

Se identificaron cinco aspectos ambientales que se deben considerar prioritarios para el proyecto. El aspecto que genera un mayor impacto es el relacionado con la salud y seguridad de las personas (calificado con una puntuación negativa en la Matriz de Evaluación de -24), posteriormente la descarga de aguas residuales de tipo especial (calificado con una puntuación negativa en la Matriz de Evaluación de -24), luego la generación de gases de combustión (calificado con una puntuación negativa en la Matriz de Evaluación de -18), y por último la generación de residuos especiales y peligrosos junto con la probabilidad de derrames (ambos calificados con -12 puntos en la matriz de evaluación ambiental).

De acuerdo con los impactos encontrados se realizó una serie de actividades para mitigarlos, entre las medidas de mitigación más relevantes se encuentran las siguientes: mantener el uso el equipo de protección adecuado de acuerdo con los riesgos específicos de cada área de trabajo, documentar el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de tratamiento de aguas residuales, entre otros.

3.5. BIBLIOGRAFÍA

1. Centro Europeo de Empresas e Innovación, España (CEEI). 2018. *La transición de una economía lineal a una economía circular*. Valencia, España: CEEI. <https://ceeialcoi.emprenemjunts.es/?op=8&n=17139#:~:text=del%20capital%20natural,La%20transici%C3%B3n%20de%20una%20econom%C3%ADa%20lineal%20a%20una%20econom%C3%ADa%20circular,a%20la%20vez%20que%20se>
2. Congreso de la República de Guatemala, Guatemala. (1997). *Decreto Legislativo 109-97: Ley de comercialización de hidrocarburos*. Diario de Centro América, Guatemala, noviembre 26, 2735-2739. https://www.congreso.gob.gt/assets/uploads/info_legislativo/decretos/1997/gtdcx109-97.pdf.
3. De Wit, M., Hoogzaad, J., Ramkumar, S., & Friedl H. (2018). *An analysis of the circular state of the global economy*. Amsterdam: Circle Economy.
4. Ellen MacArthur Foundation, USA. (2015). *Hacia una economía circular: Motivos económicos para una transición acelerada*. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive_summary_SP.pdf
5. Instituto Nacional de Estadística, Guatemala (INE). (2018). *XII censo de población y VII de habitación*. Guatemala.
6. International Resource Panel, USA (IRP). (2016). Global material flows and resource productivity assessment report. USA: Millennium Alliance for Humanity and the Biosphere (MAHB). [https:// mahb.stanford.edu/library-item/globalmaterial-flows-resource-productivity/](https://mahb.stanford.edu/library-item/globalmaterial-flows-resource-productivity/)
7. Kenniskaarten, La Haya. (s.f.). *What is the definition of a circular economy?*. <https://kenniskaarten.hetgroenebrein.nl/en/knowledge-mapcircular-economy/definition-circulareconomy/>
8. Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., & Balsley, J. R. (1971). *A procedure for*

- evaluating environmental impact*. Washington, USA: Geological Survey.
9. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Guatemala (MARN). (2006). *Decreto Gubernativo 236-2006: Reglamento de la descarga y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Guatemala.
 10. Ministerio de Energía y Minas, Guatemala (MEM). (1999). *Acuerdo Gubernativo 522-99: Reglamento de la ley de comercialización de hidrocarburos*. Guatemala.
 11. Ministerio de Gobernación, Guatemala (MINGOB). (2015). *Ubicación de comisarías de la PNC*. Guatemala. <http://www.mingob.gob.gt/>
 12. Moreno González, A. Y. (2018). *Economía circular: crecimiento inteligente, sostenible e integrador*. (Tesis Ing. Com., Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Departamento de Pregrado, Programa de Ingeniería Comercial: Bogotá, Colombia). <https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/954/1/Econom%C3%ADa%20Circular%20-%20Crecimiento%20Inteligente%2C%20Sostenible%20e%20Integrador.pdf>
 13. Rutqvist, J., & Lacy, P. (2015). *Waste to wealth – The circular economy advantage*. New York, USA: MacMillan.
 14. Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia, Guatemala (SEGEPLAN). (2010). *Plan de desarrollo Barberena, Santa Rosa*. Guatemala.
 15. Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia, Guatemala (SEGEPLAN). (2010). *Plan de desarrollo Pueblo Nuevo Viña, Santa Rosa*. Guatemala.
 16. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, Costa Rica (IUCN). (2003). *Manual técnico de EIA: Lineamientos generales para Centroamérica*. San José, Costa Rica. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2003-014.pdf>
 17. West, J. (2014). *Global material flow database*. World Bank Open Data. <http://data.worldbank.org/>
 18. Wijkman, A., & Skånberg, K. (2016). *The circular economy and benefits for society – jobs and climate clear winners in an economy based on renewable energy and resource efficiency*. Suiza, Club of Rome. <https://clubofrome.org/wp-content/uploads/2020/03/The-Circular-Economy-and-Benefits-for-Society.pdf>

19. World Business Council For Sustainable Development, USA (wcdsd). (2017). *Circular economy and environmental priorities for business: Eight materials include steel, aluminium, plastic, cement, glass, wood, primary crops, and bovine cattle.*
20. Netherlands: Ecofys. <https://www.wbcd.org/contentwbc/download/3410/44624>





**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA – FAUSAC –
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
Y AMBIENTALES – IIA –**



REF. Sem. 8/2021

EL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO:

“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN MEDIANTE UN MODELO A ESCALA COMO PARTE DE UN PROCESO FÍSICO-QUÍMICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL MUNICIPIO DE MIXCO, GUATEMALA, C.A.”

DESARROLLADO POR LA ESTUDIANTE:

VERA MARÍA FIÓN RUIZ

CARNE:

201408240

HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES: Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona

Ing. Agr. Kelder Ortiz

Ing. Agr. Miguel Ángel Morales

Los Asesores y la Dirección del Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales de la Facultad de Agronomía, hace constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y el Reglamento de este Instituto. En tal sentido pase a la Dirección del Área Integrada para lo procedente.

**Ing. Agr. Kelder Ortiz
ASESOR ESPECIFICO**

**Ing. Agr. Miguel Ángel Morales
DOCENTE - ASESOREPS**

**Ing. Agr. Carlos Fernando López Búcaro
DIRECTOR DEL IIA**

**WNR/nm
c.c. Archivo**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
COORDINACIÓN AREA INTEGRADA –EPS–**



Ref. SAIEPSA.33.2021

Guatemala, 16 de abril de 2021

TRABAJO DE GRADUACIÓN: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN A TRAVÉS DE UN MODELO A ESCALA COMO PARTE DE UN PROCESO FÍSICO-QUÍMICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN LA EMPRESA GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO S.A. EN EL MUNICIPIO DE MIXCO, GUATEMALA, C.A.

ESTUDIANTE: VERA MARÍA FIÓN RUÍZ

No. CARNÉ 201408240

Dentro del Trabajo de Graduación se presenta el Capítulo II que se refiere a la Investigación Titulada:

“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN MEDIANTE UN MODELO A ESCALA COMO PARTE DE UN PROCESO FÍSICO-QUÍMICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL MUNICIPIO DE MIXCO, GUATEMALA, C.A.”

LA CUAL HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES:

Dr. Marvin R. Salguero Barahona
Ing. Agr. Kelder Ortiz
Ing. Agr. Miguel Morales Cayax

Los Asesores de Investigación, Docente Asesor de EPSA y la Coordinación del Área Integrada, hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y Reglamento de la Facultad de Agronomía. En tal sentido, pase a Decanatura.

“Id y Enseñad a Todos”

Vo. Bo. Ing. Agr. M.A. Pedro Peláez Reyes
Coordinador Area Integrada – EPS



cc.archivo
PPR/azud



No. 28.2021

Trabajo de Graduación: "EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN A TRAVÉS DE UN MODELO A ESCALA COMO PARTE DE UN PROCESO FÍSICO-QUÍMICO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN LA EMPRESA GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO S.A. EN EL MUNICIPIO DE MIXCO, GUATEMALA, C.A."

Estudiante: Vera María Fión Ruíz

Carné: 201408240

IMPRÍMASE

Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
DECANO

