

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE



Pasantía de práctica profesional titulada:

**ESTUDIO DEL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES Y VERTIDOS EN EMPRESA CADEJO BREWING
COMPANY S. A DE C. V. SAN SALVADOR. EL SALVADOR.**

POR

GABRIELA ALEJANDRA ALBERTO RODRIGUEZ.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE



Pasantía de práctica profesional titulada:

**ESTUDIO DEL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES Y VERTIDOS EN EMPRESA CADEJO BREWING
COMPANY S. A DE C. V. SAN SALVADOR. EL SALVADOR.**

POR

GABRIELA ALEJANDRA ALBERTO RODRIGUEZ.

REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERA AGROINDUSTRIAL

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO 2026

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

ING. AGR. MSc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

LIC. PEDRO ROSALIO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO

ING.AGR. MAECE. NELSON BERNABE GRANADOS ALVARADO

SECRETARIO

ING. AGR. MSc. EDGAR GEOVANY REYES MELARA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

LIC. DANIEL DE JESUS PALACIOS HERNANDEZ.

ASESOR INTERNO

ING. AGR. MSc. JOSE MAURICIO TEJADA ASCENCIO

ASESOR EXTERNO

ING. IND. BERNARDO ANTONIO SEQUEIRA DELGADO

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACION DEL DEPARTAMENTO

ING. AGR. JUAN GERARDO MARROQUIN REINA

i. RESUMEN

La pasantía de prácticas profesionales se llevó a cabo en Cadejo Brewing Company, una cervecería artesanal ubicada en colonia San Benito, El Salvador, con una elevación de msnm de 650 a 700. Latitud: 13.6963° Longitud: 89.1956° y en Plan de La Laguna. Calle Circunvalación, San Salvador con una elevación de 670 msnm, con coordenadas de 13.670° de latitud al norte y 89.2497° de longitud al oeste. Durante el período comprendido entre Julio 2025 y diciembre 2025. El objetivo principal fue realizar un estudio técnico orientado al manejo de aguas residuales generadas en los procesos de producción cervecera, con el fin de proponer estrategias sostenibles que optimicen el uso del recurso hídrico y reduzcan el impacto ambiental.

El procedimiento metodológico incluyó un enfoque cuantitativo y cualitativo, mediante el muestreo de aguas residuales en distintas etapas del proceso productivo y el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (pH, DBO, DQO, SST, coliformes, entre otros), comparando los resultados con lo establecido en la normativa nacional (RTS 13.02.01:14).

Entre las principales actividades realizadas destacan: la caracterización de efluentes en ambas plantas, la identificación de puntos críticos de generación de residuos líquidos, la revisión de normativas ambientales y la evaluación de tecnologías de tratamiento, como filtración avanzada, aireación y sistemas biológicos de bajo costo.

Los resultados obtenidos evidencian que las aguas residuales presentan altos niveles de materia orgánica y nutrientes, lo que representa un riesgo potencial para los ecosistemas locales si no se tratan adecuadamente. Con base al estudio realizado se propuso la incorporación de sistemas de pretratamiento físico, ultrafiltración, que garanticen un efluente de calidad, apto para reúso o descarga conforme a la legislación vigente.

Palabras clave: Residuales, vertidos, DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), SST (sólidos suspendidos totales)

ii. Agradecimientos:

Agradezco a Dios por darme la fortaleza, la salud y perseverancia necesarias para culminar esta etapa tan importante en mi vida.

A mi familia, por su apoyo incondicional en todas las pruebas que la vida me ha presentado.

Expreso también mi sincero agradecimiento a mi tutor Ing. Agr. MSc. José Mauricio Tejada Ascencio. Por su orientación y valiosas aportaciones, que fueron fundamentales para el desarrollo de este estudio.

A mis docentes de la carrera, quienes compartieron sus conocimientos y experiencias, los cuales contribuyeron de manera significativa a mi formación profesional.

Finalmente extendiendo un agradecimiento a la empresa Cadejo Brewing Company S.A de C.V. por abrirme las puertas para la realización de este estudio.

iii. Dedicatoria

A mis padres, Ing. Agr. MSc. Rolando Alberto y Lic. Cecilia Rodríguez de Alberto, quienes me brindaron las bases y valores que me han permitido llegar hasta aquí.

A mi hermana, Andrea Alberto Rodríguez, por su respaldo y apoyo, quien me acompañó en todo momento.

A mi abuelo Juan Francisco Alberto Alvarenga, por continuar siendo ejemplo de vida y empeño.

Con todo mi corazón agradezco a mis hijos, Rolando Alfonso y Juan Pablo, fuentes de mi inspiración y motivo principal de mi esfuerzo y perseverancia para seguir adelante y alcanzar esta meta.

A la memoria de mis abuelos María Magdalena Piche de Rodríguez, María Carmen Pérez de Alberto y José Gilberto Rodríguez Duran. quienes, aunque ya no estén físicamente conmigo, continúan siendo luz en cada paso. Pues sembraron las bases necesarias para alcanzar este logro.

INDICE

i. RESUMEN	iv
ii. Agradecimientos:	v
iii. Dedicatoria.....	vi
INDICE.....	vii
Índice de Figuras	viii
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS.....	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
3. INFORMACION DE UNIDAD PRODUCTIVA.....	4
3.1 Datos Generales	4
3.2 Antecedentes.....	4
4 Análisis de la problemática	7
4.1 Identificación de la Problemática	7
4.2 Análisis de la problemática	8
4.3 Limitaciones en el sistema de tratamiento.	9
5. MARCO TEORICO	9
5.1 Aguas residuales: Concepto y clasificación.....	9
5.2 Características de las aguas residuales industriales.....	10
5.3 Análisis de la problemática	11
5.4 Parámetros de calidad del agua residual.....	13
5.5 Impactos ambientales asociados a la descarga de aguas residuales.....	14
5.6 Tratamiento de aguas residuales	15
5.7 Eficacia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.	17
6. METODOLOGIA.....	18
6.1 Enfoque de la investigación	18
6.2 Tipo y nivel de investigación	18
6.3 Area de Estudio.....	19
6.4 Población y muestra	19
6.5 Descripción de la pasantía.....	20

6.6 Diagnóstico de procedimiento	21
7. RESULTADOS Y DISCUSION.....	21
7.1 Resultados del diagnóstico del proceso productivo	21
7.2 Resultados de los análisis fisicoquímicos del proceso	22
7.3 Tratamiento de Aguas Residuales.	26
7.4 Análisis comparativo con el Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS).....	27
7.5 Análisis matemático y estadístico de los resultados.....	28
7.6 Diagnóstico ambiental del proceso productivo	28
8. CONCLUSIONES	33
9. RECOMENDACIONES.....	33
9.1 Relación monitoreo y control.....	33
9.2 Gestión del recurso hídrico	33
9.3 Actividad Emergente	34
10. BIBLIOGRAFIA.....	36
11. ANEXOS.....	38
A-1 Planta de tratamiento de aguas residuales	38
Figura A-1 Planta de tratamiento de aguas residuales.	38
11.2 PROGRAMA DE SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL. CADEJO BREWING SA DE CV.	38

Índice de cuadro

Cuadro 1 Estimación de caudal de aguas residuales en Cadejo Brewin Company.	24
Cuadro 2 Parámetros fisicoquímicos promedio en aguas residuales de Cadejo Brewing.	25
Cuadro 3 Comparación de parámetros analizados con Normativa Salvadoreña.	29
Cuadro 4 Comparación de Sistema de Tratamiento de aguas residuales cerveceras.....	30
Cuadro 5 Estimación de carga contaminante diaria de Cadejo Brewing.....	31

Índice de Figuras

Figura 1 Referencia visual de agua residual de entrada con presencia de carga orgánica.....	19
Figura 2 Ubicación SBC	20
Figura 3 Ubicación Cadejo Brewing Company.....	20
Figura 4 Parametros indicadores de Huella Hídrica Azul. Cadejo Brewing. Balance Hídrico mensual	23
Figura 5 Entrada - Salida DQO y DBO	23

Figura 6 Comparación de Parámetros Fisicoquímicos	24
Figura 7 Agua residual de entrada con turbidez y presencia de solidos suspendidos.....	26
Figura 8 Balance Hidrico	¡Error! Marcador no definido.
Figura 9 Entrada DQO y DBO	¡Error! Marcador no definido.
Figura 10 Comparación DBO, DQO y SST.....	¡Error! Marcador no definido.

1. INTRODUCCION

La industria de la cerveza artesanal en El Salvador se ha consolidado en la última década como un sector emergente dentro de la economía nacional, con un aporte significativo a la diversificación productiva y a la generación de nuevas oportunidades de emprendimiento. Este rubro, aunque aún representa un mercado pequeño en comparación con la cerveza industrial, desempeña un rol importante en la dinamización de la actividad agroindustrial y gastronómica del país, impulsando encadenamientos productivos y fomentando el turismo cultural y gastronómico (ASCA, 2022).

El crecimiento de la demanda por cervezas artesanales ha estimulado la creación de micro, pequeñas y medianas empresas que, a través de la innovación y la diferenciación en sus productos, logran satisfacer las necesidades de un consumidor cada vez más exigente. Estas iniciativas contribuyen a la economía mediante la generación de empleos directos e indirectos, al tiempo que fortalecen la identidad cultural con propuestas de valor ligadas a sabores, ingredientes y estilos propios de la región (García & López, 2021).

La importancia de este sector radica en que, más allá de su aporte económico, requiere la implementación de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) en todas las etapas de producción, desde la selección de materias primas hasta el envasado y distribución. Dichas prácticas son esenciales para garantizar la inocuidad del producto, evitar contaminaciones y prolongar la vida de anaquel, contribuyendo de esta manera a la satisfacción y seguridad del consumidor (FAO, 2011; Torres de Ortiz, 2018). Asimismo, resulta indispensable la estandarización de procesos y el control de parámetros críticos de calidad, lo que permite cumplir con la normativa nacional e internacional en materia de alimentos y bebidas (Rivas Hinestroza, 2023).

La cerveza artesanal, enmarcada dentro de una tendencia global hacia el consumo responsable y la valoración de productos locales, constituye un motor de innovación en el país. En este sentido, su desarrollo no solo impulsa la economía y la generación de empleo, sino que también promueve la sostenibilidad, la cultura cervecera y el fortalecimiento del sector agroindustrial salvadoreño.

Un aspecto clave en la producción cervecera artesanal es el manejo de aguas residuales y vertidos, dado que el proceso genera efluentes con alta carga orgánica, sólidos suspendidos y compuestos que pueden impactar negativamente en el medio ambiente si no se gestionan de forma adecuada. La implementación de sistemas de tratamiento y buenas prácticas ambientales permite reducir la contaminación, optimizar el uso de los recursos hídricos y promover un modelo de producción sostenible (Jiménez et al., 2020). Estos lineamientos son cada vez más relevantes en la industria alimentaria moderna, que busca no solo la calidad del producto final, sino también minimizar su huella ambiental.

En este sentido, la presente pasantía se orientó a beneficiar directamente a Cadejo Brewing Company S.A. de C.V., empresa pionera en el mercado cervecero artesanal de El Salvador. El estudio proporcionó conocimientos técnicos al personal en relación con la inocuidad de los productos, el cumplimiento de estándares de calidad y la correcta gestión de aguas residuales, garantizando así procesos más eficientes, sostenibles y competitivos. Todo ello permitió ofrecer cervezas inocuas que satisfagan al consumidor, fortalezcan la imagen de la empresa y contribuyan a prolongar la vida de anaquel de los productos en el mercado.

2. OBJETIVOS

Objetivo General

Proponer estrategias de tratamiento y reutilización que permitan reducir su impacto ambiental y optimizar el uso del recurso hídrico de manera sostenible.

Objetivos Específicos

Evaluar los procesos de aguas residuales de Cadejo Brewing Company mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Comparar los resultados obtenidos con la normativa del RTS (reglamento técnico salvadoreño) en su decreto #39.

Plantear opciones de mejora en el tratamiento de aguas residuales mediante el monitoreo de tecnologías aplicables a la industria cervecera, con la intención de implementar soluciones sostenibles para Cadejo Brewing Company.

3. INFORMACION DE UNIDAD PRODUCTIVA

3.1 Datos Generales

Nombre completo de la organización: Cadejo Brewing Company S.A de C.V

Personería jurídica de la empresa: Fundada en 2011 en El Salvador, siendo abierta al público en 2013.

Dirección postal y dirección electrónica de la organización:

3.1.1 Planta San Benito (Zona Rosa): Calle La Reforma #222, Colonia San Benito, San Salvador, El Salvador.

Código Postal (San Salvador): 1101.

3.1.2 Planta Santa Elena: Bulevar Luis Poma, calle circunvalación, Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, El Salvador.

Código Postal Antiguo Cuscatlán: 1502.

3.2 Antecedentes

Cadejo Brewing Company S.A. de C.V. es reconocida como la primera cervecería artesanal establecida en El Salvador, siendo pionera en el desarrollo de este sector dentro del país. Su origen se remonta a un proyecto iniciado en 2011, que en febrero de 2013 se transformó en un emprendimiento formal. Con el objetivo de ofrecer cervezas artesanales de alta calidad en el mercado salvadoreño (delrisco.com.pe, 2023; El Diario de Hoy, 2018).

La empresa se caracteriza por la innovación en su portafolio de productos, con una línea base que incluye estilos propios como Negra, Roja, W.A.P.A., Mera Belga, Hija de Pooh y La Suegra, además de cervezas de temporada diseñadas para diversificar la oferta al consumidor (El Diario de Hoy, 2018). Su producción anual se estima en más de 500,000 litros, elaborados en su planta ubicada en San Salvador, con un modelo de negocio que combina la producción de cerveza y la operación de restaurantes propios (El Diario de Hoy, 2018; Diario El Salvador, 2021).

La compañía ha implementado una estrategia de expansión tanto a nivel nacional como internacional. En el ámbito local, ha abierto sucursales en puntos estratégicos como la Zona Rosa, Soyapango, Santa Elena y el Aeropuerto Internacional de El Salvador, integrando su

marca a circuitos de alto consumo y turismo (El Economista, 2019; Diario El Salvador, 2021). A nivel externo, Cadejo ha iniciado exportaciones hacia países de Centroamérica y Estados Unidos, consolidándose como un referente salvadoreño en el mercado de cervezas artesanales (El Diario de Hoy, 2018).

En cuanto a diversificación, en 2021 Cadejo incursionó en el segmento de bebidas alternativas con el lanzamiento de “Agua Dura”, una línea de Hard Seltzers de bajo contenido calórico y sin azúcar, ampliando así su alcance hacia nuevos perfiles de consumidores (En News SV, 2021). Asimismo, ha desarrollado proyectos gastronómicos complementarios, como el restaurante “Tapas y Destapas”, para fortalecer la experiencia de consumo ligada a la marca (Diario El Salvador, 2021).

Gracias a su visión empresarial y su capacidad de innovación, Cadejo Brewing Company no solo ha dinamizado el mercado cervecero en El Salvador, sino que también ha contribuido a la creación de una cultura cervecera nacional, posicionándose como líder y motor de referencia en el sector artesanal.

3.3 Recursos

3.3.1 Naturales. Fuente de agua proveniente de red pública de agua (ANDA) además de otras fuentes de abastecimiento de servidores privados considerados como el principal recurso para realizar el proceso de producción en Cadejo Brewing Company S.A. de C.V. siendo una cervecería artesanal ubicada en el corazón de la Zona Rosa, una zona exclusiva y moderna de San Salvador, reconocida por su ambiente cosmopolita, restaurantes de alta calidad y vida nocturna activa.

El establecimiento principal se encuentra en Calle La Reforma #222. Este brewpub combina áreas de producción, servicios al cliente y espacios de recreación y experiencia cervecera. (Wanderlog, s.f)

Área de producción: Incluye los tanques de fermentación, área de preparación de mosto, malteado y embotellado, asegurando el cumplimiento de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y la inocuidad de los productos.

Área de almacenamiento y bodega: Espacios destinados al resguardo de materias primas, insumos y producto terminado, con control de temperatura y condiciones ambientales óptimas para mantener la calidad de la cerveza.

Área de degustación y restaurante-bar: Un espacio abierto al público donde se sirven las diferentes variedades de cerveza artesanal, promoviendo la cultura cervecera y brindando experiencias gastronómicas complementarias.

Área de tours y educación: Cadejo ofrece recorridos guiados para visitantes, mostrando el proceso completo de elaboración de la cerveza y fomentando la educación sobre la producción artesanal y la sostenibilidad.

Área de recreación: La cervecería cuenta con terraza al aire libre y espacios para eventos especiales, donde se pueden organizar lanzamientos de productos, actividades culturales y noches temáticas, fortaleciendo la relación con los clientes y la comunidad.

Este diseño integral permite que Cadejo Brewing Company combine la producción eficiente y segura de cerveza artesanal con la generación de experiencias culturales y educativas, consolidando su posición como líder en el sector cervecero artesanal de El Salvador.

3.3.2 Instalaciones y equipos. Cadejo Brewing Company S.A de C.V cuenta con dos plantas de producción, equipo de transporte para la distribución de producto finalizado, cuenta con nueve restaurantes dentro de El Salvador y uno en Guatemala.

3.3.3 Recursos Humanos. Actualmente posee un aproximado de 250 empleados distribuidos en todas las sucursales y plantas de producción.

3.4 Actividades Actuales

3.4.1 Producción principal y otras. La producción principal de Cadejo Brewing Company S.A de C.V se centra en la elaboración de cervezas artesanales, abarcando una amplia variedad de estilos que reflejan tanto la tradición cervecera internacional como la innovación local.

3.4.2 Situación Técnica. La operación de Cadejo se sustenta en un equipo de profesionales altamente capacitados, que garantizan la calidad, seguridad e innovación. Ingenieros de procesos y alimentos. Maestro cervecero.

3.4.3 Área Administrativa. Equipo profesional en el área de administración y contaduría pública, las cuales llevan registro y monitoreo contable, estados de cuenta, auditoría interna y externa.

Área de comercialización. La empresa genera productos para la venta: Cervezas como producto principal, alimentos, productos alusivos a la marca.

4 Análisis de la problemática

En este contexto, surge la necesidad de analizar la calidad de las aguas residuales generadas en la unidad productiva objeto de estudio, así como de evaluar su huella hídrica, con el fin de identificar el grado de cumplimiento normativo y proponer acciones que contribuyan a una gestión ambiental más eficiente y sostenible.

4.1 Identificación de la Problemática

La industria cervecera demanda un uso intensivo del recurso hídrico y un control riguroso de los procesos productivos, debido a los impactos técnicos y ambientales asociados a la generación de efluentes y al consumo de agua por unidad de producto elaborado. En este contexto, la empresa CADEJO desarrolla sus operaciones productivas cumpliendo con los requerimientos básicos de producción; sin embargo, se identifican debilidades relacionadas con el control operativo, y la gestión del recurso hídrico, evidenciadas en usos no optimizado del agua y en la ausencia de indicadores técnicos que permitan evaluar su eficiencia por unidad de producto. Asimismo, se observan oportunidades de mejora en la aplicación integral de los lineamientos establecidos por el Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS 13.05.01:24) para industrias de bebidas alcohólicas, particularmente en lo referente al control de parámetros de calidad del efluente y su disposición final.

Durante el diagnóstico del proceso productivo se evidenció la ausencia de procedimientos estandarizados completamente documentados, lo cual limita la trazabilidad de las operaciones y dificulta el control sistemático de los parámetros críticos del proceso. Esta situación genera variabilidad en los resultados productivos y limita la comparación objetiva de los datos reales del proceso con los valores de referencia exigidos por la normativa vigente. Adicionalmente,

los datos recopilados muestran un desconocimiento del consumo de agua en las distintas etapas del proceso productivo, sin la implementación de indicadores formales que permitan evaluar la huella hídrica asociada. Esta condición representa un impacto ambiental significativo y un riesgo potencial de incumplimiento del RTS, particularmente en lo relacionado con la gestión del recurso hídrico y el control de descargas. La problemática identificada se ve reforzada por la falta de análisis técnicos y estadísticos que permitan contrastar los resultados obtenidos en planta con los límites y parámetros establecidos por la normativa nacional, lo cual restringe la toma de decisiones basada en evidencia y limita la mejora continua del sistema productivo.

- Puede ocasionar un riesgo en el impacto ambiental.
- RTS incumplimiento, posible falta al reglamento o incumpliendo del reglamento

4.2 Análisis de la problemática

El análisis de la problemática se centra en la evaluación técnica y ambiental del proceso productivo de CADEJO, considerando los resultados obtenidos durante el diagnóstico y su relación con los requerimientos establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño. La falta de estandarización de procedimientos operativos genera inconsistencias en el control de variables críticas, tales como el consumo de agua, la generación de efluentes y la eficiencia global del proceso. Desde el punto de vista técnico, la ausencia de registros sistemáticos y de indicadores de desempeño dificulta la identificación de desviaciones en el proceso, lo cual puede afectar la calidad del producto final y la eficiencia operativa.

Esta situación limita la capacidad de la empresa para evaluar su desempeño frente a los criterios técnicos establecidos por el RTS. En el ámbito ambiental, la falta de información clara y organizada sobre las cantidades de agua utilizadas en el proceso productivo, así también la inexistencia de una medición formal de huella hídrica, dificultan identificar posibles excesos en el consumo y determinar con precisión el impacto ambiental generado.

Según lo establecido en el RTS 13.05.01:24 y en los lineamientos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), las industrias deben controlar y monitorear la calidad

de sus aguas residuales antes de su descarga, cumpliendo con los límites permisibles establecidos para proteger los cuerpos receptores

En este sentido, el análisis de la problemática evidencia la necesidad de fortalecer el sistema de control del proceso mediante la incorporación de herramientas técnicas, estadísticas y ambientales que permitan evaluar de manera integral el desempeño del sistema productivo.

4.3 Limitaciones en el sistema de tratamiento.

Rejillas: permiten únicamente la retención de sólidos grandes como bagazo, lúpulo y residuos sólidos gruesos, sin efecto en contaminantes disueltos.

Carbón activado: ayuda a reducir olores y coloración del efluente, pero su capacidad de adsorción es limitada y no garantiza la reducción de parámetros críticos como la DBO, DQO o la eliminación de nutrientes y microorganismos (Beer-Brewing, 2022).

Esto significa que la materia orgánica soluble, los sólidos suspendidos finos, nitrógeno y fósforo presentes en los efluentes no reciben tratamiento adecuado (Oliver & Gómez, 2018).

5. MARCO TEORICO

La industria cervecera genera aguas residuales con una alta carga de materia orgánica, sólidos en suspensión, levaduras, nutrientes y trazas de metales, lo que la convierte en un sector de importancia dentro de la gestión ambiental (Simate et al., 2011). Estas aguas requieren tratamiento previo a su vertido en los sistemas de alcantarillado o cuerpos receptores, debido a que sus características suelen sobrepasar los límites permisibles establecidos por normativas locales e internacionales (Mujumdar, 2019).

5.1 Aguas residuales: Concepto y clasificación.

Desde el punto de vista de su origen, las aguas residuales pueden clasificarse en domésticas, industriales y pluviales. Las aguas residuales domésticas provienen principalmente del uso cotidiano en viviendas, comercios e instituciones, mientras que las aguas residuales industriales son generadas como resultado de procesos productivos y suelen presentar una composición más compleja y concentrada, dependiendo del tipo de industria (Spellman, 2017).

Por su parte, las aguas pluviales corresponden a escorrentías generadas por precipitaciones, las cuales pueden arrastrar contaminantes presentes en superficies urbanas e industriales.

Otra clasificación relevante se basa en el tipo de contaminantes presentes. En este sentido, las aguas residuales pueden contener sólidos suspendidos y disueltos, materia orgánica biodegradable, nutrientes como nitrógeno y fósforo, grasas y aceites, así como microorganismos patógenos (Tchobanoglous et al., 2014). La presencia de estos contaminantes determina la necesidad de aplicar distintos tipos de tratamiento, desde procesos físicos y químicos hasta tratamientos biológicos.

En el ámbito ambiental, la descarga de aguas residuales sin tratamiento o con tratamiento deficiente puede provocar la disminución del oxígeno disuelto en los cuerpos de agua, la eutrofización, la degradación de hábitats acuáticos y la proliferación de enfermedades (FAO, 2011). Por ello, la gestión adecuada de las aguas residuales es un componente esencial de las estrategias de sostenibilidad y protección ambiental, especialmente en sectores productivos con alto consumo de agua.

5.2 Características de las aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales se caracterizan por presentar una composición variable y, en muchos casos, una carga contaminante significativamente mayor que las aguas residuales domésticas. Esta variabilidad depende del tipo de industria, de las materias primas utilizadas, de los procesos productivos y de las prácticas de limpieza y sanitización empleadas (Metcalf & Eddy, 2014).

Entre las principales características físicas de las aguas residuales industriales se encuentran el color, el olor, la temperatura y la presencia de sólidos suspendidos. La temperatura suele ser más elevada que la del agua residual doméstica, lo cual puede afectar negativamente los ecosistemas acuáticos y la eficiencia de los procesos biológicos de tratamiento (Spellman, 2017). Asimismo, los sólidos suspendidos pueden generar sedimentación en los cuerpos receptores y contribuir a la turbidez del agua.

Desde el punto de vista químico, estas aguas suelen presentar altas concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), indicadores que reflejan la cantidad de materia orgánica presente y su potencial impacto ambiental. También

pueden contener grasas, aceites, detergentes, sales y, en algunos casos, sustancias tóxicas o inhibidoras de los procesos biológicos (Tchobanoglous et al., 2014).

En cuanto a las características biológicas, las aguas residuales industriales pueden albergar microorganismos provenientes de las materias primas o del ambiente de procesamiento. En industrias agroalimentarias, como la cervecera, la carga microbiológica suele estar asociada a residuos orgánicos fácilmente biodegradables, lo que favorece el tratamiento biológico, pero también incrementa el riesgo de contaminación si no se manejan adecuadamente los efluentes (Fillaudeau et al., 2006).

Debido a estas características, el tratamiento de las aguas residuales industriales requiere un análisis previo de su composición para seleccionar las tecnologías más adecuadas, garantizando el cumplimiento de la normativa ambiental vigente y minimizando los impactos negativos sobre el entorno.

5.3 Análisis de la problemática

5.3.1 Aguas residuales en la industria cervecera. La industria cervecera se caracteriza por un elevado consumo de agua a lo largo de sus diferentes etapas productivas, incluyendo la maceración, cocción, fermentación, enfriamiento, así como las operaciones de limpieza y sanitización de equipos e instalaciones. Como resultado de estas actividades, se generan volúmenes significativos de aguas residuales con características específicas que requieren un manejo y tratamiento adecuados (Fillaudeau et al., 2006).

Las aguas residuales provenientes del proceso cervecero contienen principalmente materia orgánica biodegradable derivada de residuos de malta, levadura, azúcares fermentables y subproductos del proceso de elaboración. Estas sustancias contribuyen a valores elevados de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), lo que representa un riesgo ambiental significativo si los efluentes son descargados sin tratamiento previo en cuerpos de agua receptores (Metcalf & Eddy, 2014).

Además de la carga orgánica, las aguas residuales cerveceras pueden presentar variaciones importantes de pH, especialmente durante las etapas de limpieza y desinfección, donde se utilizan agentes alcalinos y ácidos. Estas fluctuaciones pueden afectar tanto a los ecosistemas

acuáticos como a la eficiencia de los sistemas de tratamiento biológico, si no se realiza una adecuada neutralización del efluente (Spellman, 2017).

En las cervecerías artesanales, estas problemáticas suelen intensificarse debido a la limitada implementación de sistemas automatizados de control y a la menor capacidad de inversión en infraestructura ambiental. En muchos casos, las prácticas de manejo del agua se basan en criterios empíricos, lo que incrementa el consumo hídrico y la generación de efluentes con alta carga contaminante (Brewers Association, 2019).

No obstante, la industria cervecera también presenta oportunidades significativas para la mejora ambiental mediante la optimización del uso del agua y la implementación de tecnologías de tratamiento adecuadas. Estrategias como la reutilización del agua de procesos, la segregación de corrientes de alta carga orgánica y la adopción de sistemas de tratamiento biológico han demostrado ser efectivas para reducir la huella hídrica y el impacto ambiental asociado a la producción cervecera (Fillaudeau et al., 2006).

Desde una perspectiva de sostenibilidad, el análisis de las aguas residuales en la industria cervecera constituye un elemento fundamental para la identificación de oportunidades de mejora, el cumplimiento de la normativa ambiental y la adopción de prácticas productivas más responsables con el medio ambiente.

La gestión inadecuada de las aguas residuales representa uno de los principales desafíos ambientales asociados a las actividades agroindustriales, debido a la elevada carga orgánica y a la presencia de contaminantes que pueden afectar los cuerpos receptores si no son tratados adecuadamente (Metcalf & Eddy, 2014). En el sector cervecero, el uso intensivo de agua durante los procesos de producción, limpieza y sanitización genera volúmenes significativos de efluentes con altas concentraciones de materia orgánica biodegradable (Fillaudeau et al., 2006).

En el contexto de la producción cervecera artesanal, estas problemáticas se ven acentuadas por la limitada disponibilidad de infraestructura y recursos técnicos destinados al tratamiento de aguas residuales, lo cual incrementa el riesgo de incumplimiento de la normativa ambiental vigente. La ausencia de sistemas eficientes de tratamiento puede derivar en impactos

negativos sobre el medio ambiente, particularmente en la calidad del agua superficial y subterránea (Spellman, 2017).

Adicionalmente, la falta de una gestión integral del recurso hídrico dificulta la identificación de oportunidades de mejora en el uso eficiente del agua, lo que se traduce en un aumento de la huella hídrica asociada al proceso productivo. La huella hídrica, como indicador ambiental, permite cuantificar el consumo de agua y la carga contaminante generada, constituyéndose en una herramienta clave para la toma de decisiones orientadas a la sostenibilidad (Hoekstra et al., 2011).

En El Salvador, el Reglamento Técnico Salvadoreño establece los límites máximos permisibles para la descarga de aguas residuales, con el objetivo de proteger los cuerpos receptores y garantizar el uso sostenible del recurso hídrico (MARN, 2019). No obstante, el cumplimiento de esta normativa representa un reto para las pequeñas y medianas unidades productivas, lo que evidencia la necesidad de evaluar la calidad de los efluentes generados y proponer medidas de mejora.

5.4 Parámetros de calidad del agua residual

La evaluación de la calidad de las aguas residuales se realiza mediante la medición de parámetros físicos, químicos y biológicos que permiten determinar el grado de contaminación del efluente y su posible impacto ambiental. Estos parámetros constituyen la base para el diseño de sistemas de tratamiento y para la verificación del cumplimiento de la normativa ambiental vigente (Metcalf & Eddy, 2014).

Entre los principales parámetros físicos se encuentran la temperatura, el color, el olor y los sólidos suspendidos totales (SST). La temperatura influye directamente en la solubilidad del oxígeno y en la actividad microbiológica, mientras que los sólidos suspendidos pueden provocar sedimentación y turbidez en los cuerpos receptores, afectando la penetración de la luz y la vida acuática (Spellman, 2017).

Desde el punto de vista químico, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y la demanda química de oxígeno (DQO) son indicadores fundamentales para evaluar la carga orgánica presente en las aguas residuales. La DBO₅ mide la cantidad de oxígeno requerida por los

microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable, mientras que la DQO cuantifica la materia orgánica total, incluyendo la fracción no biodegradable (Tchobanoglous et al., 2014). Valores elevados de estos parámetros evidencian un alto potencial contaminante del efluente.

Otros parámetros químicos relevantes incluyen el pH, los aceites y grasas, los nutrientes como nitrógeno y fósforo, y la conductividad eléctrica. El pH es un factor crítico, ya que valores extremos pueden afectar los procesos biológicos de tratamiento y generar impactos negativos en los ecosistemas acuáticos. Por su parte, el exceso de nutrientes puede provocar fenómenos de eutrofización en los cuerpos de agua receptores (FAO, 2011).

En cuanto a los parámetros biológicos, se evalúa principalmente la presencia de microorganismos indicadores de contaminación, como los coliformes fecales, los cuales permiten estimar el riesgo sanitario asociado a la descarga de aguas residuales. En industrias agroalimentarias, el control de estos parámetros es esencial para prevenir la contaminación ambiental y proteger la salud pública (Metcalf & Eddy, 2014).

La selección y el control de estos parámetros están directamente relacionados con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental. En El Salvador, el Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS 2019) establece los valores de referencia para la descarga de aguas residuales en cuerpos receptores, constituyéndose en una herramienta fundamental para la evaluación del desempeño ambiental de las unidades productivas.

5.5 Impactos ambientales asociados a la descarga de aguas residuales

La descarga de aguas residuales sin un tratamiento adecuado constituye una de las principales fuentes de contaminación de los recursos hídricos, generando impactos negativos significativos sobre los ecosistemas acuáticos y la salud humana. Estos impactos varían en magnitud y alcance dependiendo de la carga contaminante del efluente, del volumen descargado y de la capacidad de asimilación del cuerpo receptor (FAO, 2011).

Uno de los efectos más relevantes es la disminución del oxígeno disuelto en el agua, causada por la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales. Este fenómeno puede conducir a condiciones de hipoxia o anoxia, afectando gravemente la fauna acuática y

provocando la mortalidad de peces y otros organismos sensibles (Tchobanoglous et al., 2014). En casos extremos, la pérdida de oxígeno compromete el equilibrio ecológico de los cuerpos de agua.

Otro impacto ambiental significativo es la eutrofización, proceso asociado al exceso de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, provenientes de las aguas residuales. La eutrofización favorece el crecimiento descontrolado de algas y plantas acuáticas, lo que reduce la transparencia del agua, altera las cadenas tróficas y genera condiciones adversas para la vida acuática (Spellman, 2017).

Las aguas residuales también pueden transportar sustancias tóxicas, grasas, aceites y compuestos químicos que se acumulan en los sedimentos y en los organismos vivos, generando efectos crónicos en los ecosistemas. Esta acumulación puede provocar procesos de bioacumulación y biomagnificación, afectando no solo a la fauna acuática, sino también a las poblaciones humanas que dependen de estos recursos para su subsistencia (Metcalf & Eddy, 2014).

Desde el punto de vista sanitario, la presencia de microorganismos patógenos en las aguas residuales representa un riesgo para la salud pública, especialmente cuando los cuerpos de agua contaminados son utilizados para actividades recreativas, riego agrícola o abastecimiento de agua potable. La proliferación de enfermedades de origen hídrico está estrechamente relacionada con la gestión inadecuada de los efluentes (FAO, 2011).

En este contexto, la implementación de sistemas eficaces de tratamiento de aguas residuales se convierte en una medida esencial para la mitigación de impactos ambientales y la protección de los recursos hídricos. Asimismo, el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, como el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 2019, es fundamental para garantizar una gestión responsable y sostenible del agua en las actividades productivas.

5.6 Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales comprende un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos destinados a reducir la carga contaminante presente en los efluentes, con el

objetivo de minimizar su impacto ambiental y cumplir con los límites establecidos por la normativa vigente antes de su descarga en cuerpos receptores (Metcalf & Eddy, 2014).

El tratamiento preliminar constituye la primera etapa del proceso y tiene como finalidad la remoción de sólidos gruesos, arenas y materiales flotantes que pueden dañar o interferir con el funcionamiento de las unidades posteriores. Entre las operaciones más comunes se encuentran las rejillas, desarenadores y trampas de grasas, las cuales permiten proteger los equipos y mejorar la eficiencia del tratamiento posterior (Spellman, 2017).

Según el Centro de Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA, 2018), los sistemas de tratamiento aplicados en industrias agroalimentarias deben seleccionarse considerando la composición del efluente, las variaciones de caudal, la carga contaminante y los requisitos regulatorios, con el fin de garantizar una adecuada eficiencia en la remoción de contaminantes y minimizar los impactos ambientales (CENTA, 2018).

Posteriormente, el tratamiento primario se enfoca en la eliminación de sólidos sedimentables y parte de la materia orgánica mediante procesos físicos como la sedimentación. En esta etapa se logra una reducción parcial de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y de los sólidos suspendidos totales, contribuyendo a disminuir la carga que ingresa a las etapas de tratamiento más avanzadas (Tchobanoglous et al., 2014).

El tratamiento secundario tiene como objetivo principal la degradación de la materia orgánica biodegradable mediante procesos biológicos. Entre los sistemas más utilizados se encuentran los lodos activados, los filtros percoladores y los reactores anaerobios, los cuales emplean microorganismos para transformar los contaminantes orgánicos en compuestos más estables y menos perjudiciales para el ambiente (Metcalf & Eddy, 2014). En industrias agroalimentarias, estos sistemas resultan especialmente eficientes debido a la alta biodegradabilidad de los efluentes generados.

En algunos casos, se requiere la implementación de un tratamiento terciario o avanzado, orientado a la remoción de nutrientes, patógenos o contaminantes específicos que no son eliminados en las etapas anteriores. Estos procesos incluyen la filtración, la desinfección y tecnologías más especializadas, como la adsorción o la oxidación avanzada, dependiendo de las características del efluente y de los requisitos normativos (Spellman, 2017)

5.7 Eficacia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

La eficacia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales se evalúa a partir de su capacidad para reducir la carga contaminante presente en los efluentes, garantizando el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental. Esta evaluación se basa principalmente en la medición y comparación de parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), la demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos suspendidos totales, el pH y la presencia de contaminantes específicos (Metcalf & Eddy, 2014). Un sistema de tratamiento se considera eficiente cuando logra una remoción significativa de materia orgánica y sólidos, manteniendo una operación estable y consistente en el tiempo. En tratamientos biológicos, la eficiencia está directamente relacionada con factores como la carga orgánica aplicada, el tiempo de retención hidráulica, la temperatura y el adecuado control de las condiciones operativas (Tchobanoglous et al., 2014).

De acuerdo con el Centro de Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA, 2018), la evaluación de la eficacia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en la industria agroalimentaria debe contemplar no solo la reducción de los parámetros contaminantes, sino también la estabilidad operativa del sistema, la continuidad del proceso y la capacidad de adaptación frente a variaciones en el caudal y la carga orgánica del efluente. Una gestión adecuada de estos aspectos permite mantener niveles de eficiencia sostenidos y reducir el riesgo de incumplimiento de la normativa ambiental vigente.

En el caso de las industrias agroalimentarias, incluyendo la cervecera, los sistemas biológicos suelen presentar altos niveles de eficiencia debido a la naturaleza biodegradable de los efluentes. Sin embargo, una operación inadecuada o la falta de mantenimiento puede reducir significativamente su desempeño, provocando incumplimientos normativos y afectaciones ambientales (Spellman, 2017).

La evaluación periódica de la eficacia del tratamiento permite identificar desviaciones operativas y oportunidades de mejora. Herramientas como el monitoreo continuo de parámetros clave y la comparación de resultados con valores de referencia establecidos en reglamentos técnicos, como el RTS 2019, resultan esenciales para asegurar una gestión ambiental efectiva y prevenir impactos negativos sobre los cuerpos receptores.

Asimismo, la eficiencia del tratamiento no solo debe medirse en términos de cumplimiento normativo, sino también considerando aspectos económicos y de sostenibilidad. La optimización de los sistemas de tratamiento contribuye a la reducción de costos operativos, al uso eficiente del agua y a la disminución de la huella ambiental de las actividades productivas (FAO, 2011).

Asegurar que los sistemas de tratamiento mantengan su eficacia en diferentes condiciones operativas.

6. METODOLOGIA

La metodología describe el conjunto de procedimientos y técnicas aplicadas para el desarrollo de la investigación, permitiendo asegurar la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos. En este capítulo se detallan el enfoque, tipo de estudio, área de análisis, técnicas de recolección de datos y el procedimiento seguido durante el desarrollo del trabajo.

6.1 Enfoque de la investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo–cuantitativo, ya que combinó el análisis de información técnica y normativa con la evaluación de parámetros medibles relacionados con el tratamiento de aguas residuales. El enfoque cualitativo permitió interpretar el funcionamiento de los sistemas y su impacto ambiental, mientras que el enfoque cuantitativo facilitó el análisis de datos relacionados con la eficiencia del tratamiento y el cumplimiento de la normativa ambiental. (Hernández-Sampieri, Fernández-Collado & Baptista, 2018).

6.2 Tipo y nivel de investigación

El estudio corresponde a una investigación descriptiva y analítica, debido a que se caracterizaron los procesos de tratamiento de aguas residuales y se analizaron sus efectos ambientales. Asimismo, se clasifica como investigación aplicada, ya que los resultados obtenidos están orientados a la mejora de la gestión ambiental y al cumplimiento de la normativa vigente en el contexto estudiado. La investigación descriptiva y analítica la caracterización de los procesos estudiados y el análisis de sus efectos, mientras que la

investigación aplicada orienta los resultados hacia la solución de problemas concretos (Hernández-Sampieri et al., 2018)



Figura 1 Referencia visual de agua residual de entrada con presencia de carga orgánica.

6.3 Area de Estudio.

El área de estudio comprende las instalaciones donde se generan y tratan las aguas residuales objeto de análisis, considerando los procesos productivos asociados y los puntos de generación de efluentes. Se tomó en cuenta el entorno ambiental inmediato, así como las condiciones operativas del sistema de tratamiento, con el fin de evaluar su desempeño y su impacto sobre el medio ambiente.

6.4 Población y muestra

La población estuvo constituida por los procesos y corrientes de aguas residuales generadas durante las actividades productivas del área de estudio. La muestra fue de tipo no probabilística, seleccionada de manera intencional, considerando los puntos críticos de generación de efluentes y los parámetros más representativos para la evaluación del sistema de tratamiento.

6.6 Diagnóstico de procedimiento

6.6.1 Diagnóstico de Funcionamiento del Sistema de Manejo de Aguas Residuales y Vertidos en Cadejo Brewing Company. Se diseñó un plan de muestreo mensual de las aguas residuales generadas, registrando parámetros de entrada como caudal, temperatura, pH, DQO, DBO, turbidez. Las muestras fueron tomadas siguiendo los lineamientos de Metcalf & Eddy (2014) para asegurar representatividad y reproducibilidad.

Lo que requiere una evaluación detallada de su manejo para cumplir con la normativa ambiental vigente en El Salvador según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. (MARN, 2015) (ANDA, 2022).

6.6.2 Métodos de análisis in situ. El caudal fue determinado mediante aforo volumétrico, utilizando un recipiente de volumen conocido (beaker) y cronometraje manual, con el fin de estimar el volumen descargado por unidad de tiempo.

La temperatura y el pH fueron medidos directamente en el punto de muestreo mediante el uso de termómetro y potenciómetro digitales previamente calibrado, garantizando mayor precisión en los datos obtenidos.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) a cinco días fue determinada mediante método de incubación a 20°C, conforme al método 5210 B descrito en *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) fue determinada mediante el método de refluo cerrado colorimétrico, de acuerdo con el método 5220 D, establecido en *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017)

7. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1 Resultados del diagnóstico del proceso productivo

El diagnóstico del proceso productivo de la empresa CADEJO se realizó con el objetivo de evaluar las condiciones operativas actuales y su relación con los requisitos establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS). La evaluación permitió identificar el grado de estandarización de los procedimientos, así como las principales fortalezas y debilidades técnicas y ambientales del sistema productivo.

Los resultados evidencian que el proceso productivo mantiene una secuencia operativa adecuada para la elaboración de cerveza; sin embargo, se identificaron limitaciones en la documentación formal de los procedimientos, lo cual dificulta la trazabilidad y el control sistemático de las operaciones. Esta situación genera variabilidad en la ejecución de ciertas actividades, particularmente en aquellas relacionadas con la limpieza de equipos y el uso del recurso hídrico.

Desde el punto de vista normativo, el diagnóstico muestra un cumplimiento parcial con los lineamientos del RTS, especialmente en lo referente al control del proceso y a la gestión ambiental, lo cual representa un área crítica para la mejora continua.

7.2 Resultados de los análisis fisicoquímicos del proceso

7.2.1 La medición directa de los caudales generados en el proceso se encuentra a cargo de los técnicos de la empresa, debido a razones de seguridad ocupacional y por políticas internas de confidencialidad. Por tal motivo, la información utilizada en el presente estudio fue proporcionada por el responsable del área de Calidad.

Con base a los datos suministrados, Cadejo Brewing reporta un consumo aproximado de 2660 litros de agua al mes. Se estima que el 70% del agua utilizada en el proceso productivo se convierte en aguas residuales.

En el cuadro 1, correspondiente se presenta el detalle del consumo expresado en litros por mes y su equivalente en metros cúbicos por día.

Debido al desconocimiento de los parámetros fisicoquímicos de salida del tratamiento se hace difícil la eficacia de los procesos.



Figura 4 Parámetros indicadores de Huella Hídrica Azul. Cadejo Brewing. Balance Hídrico mensual Elaborado con base en los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio elaborado según los datos obtenidos de caudal de entrada en Cadejo Brewing.

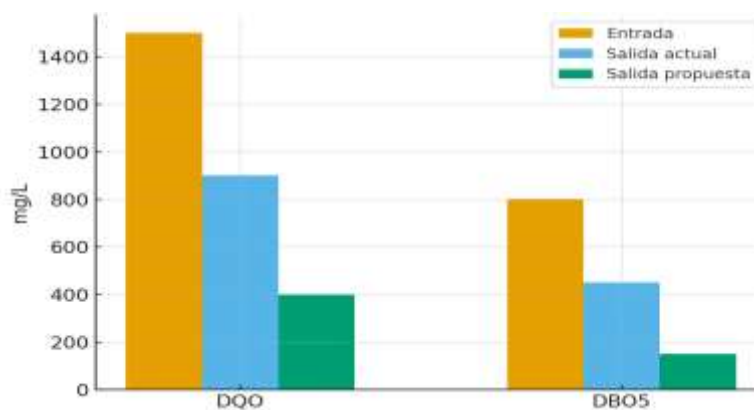


Figura 5 Entrada - Salida DQO y DBO

Elaborado con base en los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio elaborado según los datos obtenidos de caudal de entrada en Cadejo Brewing.

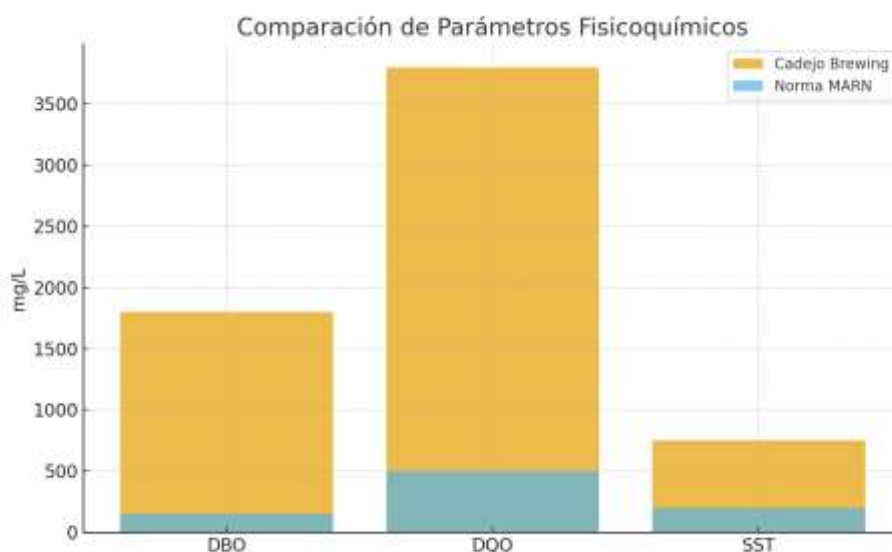


Figura 6 Comparación de Parámetros Físicoquímicos

Fuente: Figura A4. Comparación de parámetros físicoquímicos (DBO, DQO, SST) de las aguas residuales en Cadejo Brewing vs. límites normativos MARN (2015).

Cuadro 1 Estimación de caudal de aguas residuales en Cadejo Brewin Company.

Concepto	Estimación
Agua utilizada (L/mes)	2660
Aguas residuales generadas (L/mes)	1862
Aguas residuales generadas (m ³ /mes)	1.86
Aguas residuales generadas (m ³ /día) *	0.062

Elaborado con base en los datos proporcionados al encargado de calidad en empresa Cadejo Brewing.

*Datos del cuadro basado en 30 días/mes

Los análisis físicoquímicos realizados permitieron obtener información relevante sobre la calidad del agua utilizada en el proceso productivo y de los efluentes generados. Los parámetros evaluados incluyen aquellos establecidos por el Reglamento Técnico Salvadoreño como criterios de control para la descarga de aguas residuales.

7.2.1 Caracterización de parámetros fisicoquímicos. Los valores estimados provienen de literatura especializada en cervecías artesanales. (Fillaudeau et al., 2006; Prieto-García et al., 2017).

Al contrastarse con los límites establecidos, se observan los siguientes resultados. (MARN, 2015)

Cuadro 2 Parámetros fisicoquímicos promedio en aguas residuales de Cadejo Brewing.

Parámetro	Valor estimado	Norma MARN	Cumplimiento
pH	6.2	6.0-9.0	Si
Temperatura (°C)	32	35	si
DBO (mg/L)	1800	150	No
DQO (mg/L)	3200	500	No
SST (mg/L)	950	200	No

Elaborado con base a los resultados obtenidos en análisis fisicoquímicos de caudal de entrada. Los resultados obtenidos muestran valores que, en su mayoría, se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por el RTS. No obstante, se identificaron variaciones en algunos parámetros, atribuibles a la falta de uniformidad en los procedimientos operativos y a la ausencia de controles sistemáticos durante determinadas etapas del proceso.

Estos resultados constituyen la base para el análisis comparativo y la evaluación del cumplimiento normativo del sistema productivo de CADEJO BREWING.

En relación con los resultados obtenidos, los parámetros de pH y temperatura se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa vigente. El pH presentó valor de 6.2 manteniéndose dentro del rango aceptable, mientras que la temperatura registrada fue de 32 °C, sin representar riesgo térmico para el cuerpo receptor.

No obstante, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) presentó un valor de 1800 mg/L, superando los valores establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño para descargas de agua residuales industriales. De igual forma, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) registró

un valor de 3200 mg/L, y los Sólidos Suspendedos Totales (SST) alcanzaron 950 mg/L, evidenciando una carga orgánica considerable en el efluente generado por el proceso productivo.



Figura 7 Agua residual de entrada con turbidez y presencia de sólidos suspendidos.

El tratamiento primario podría incorporar procesos físicos orientados en la remoción de Sólidos Suspendedos Totales (SST) mediante sedimentación o filtración. Posteriormente, el tratamiento secundario, de tipo biológico, estaría enfocado en la reducción de la DBO_5 , considerando que este parámetro es representativo de la carga orgánica biodegradable presente en el efluente.

Finalmente, como parte del control complementario, el parámetro DQO y sólidos totales pueden utilizarse como indicadores en procesos de tratamiento químico, permitiendo evaluar la eficiencia global del sistema implementado.

En conjunto, el análisis evidencia que, aunque algunos parámetros se encuentran dentro de los límites permitidos, la carga orgánica elevada requiere un tratamiento integral previo a su disposición final, en cumplimiento con la normativa ambiental aplicada.

7.3 Tratamiento de Aguas Residuales.

El sistema de aguas residuales implementado en Cadejo Brewing está diseñado para el manejo y depuración de efluentes líquidos generados en procesos industriales, con el fin de cumplir con los límites establecidos por las normativas ambientales (MARN, 2024); (ANDA, 2020). Este

sistema aprovecha la disposición subterránea para minimizar impactos ambientales, proteger entorno y optimizar el proceso de tratamiento.

7.3.1 Captación y pretratamiento. El efluente ingresa, atraviesa una reja de desbaste que detiene sólidos gruesos, impidiendo que estos materiales afecten procesos posteriores. Seguido a esto una trampa de grasas flotantes, protegiendo el sistema de obstrucciones. (MARN, 2019)

7.3.2 Sedimentación Primaria. Los sólidos suspendidos más pesados se depositan en el fondo, formando posibles lodos primarios. Esto permite la disminución significativa de carga de sólidos antes del tratamiento biológico. (MARN, 2019)

7.3.3 Tratamiento Biológico. Con el sistema subterráneo se incluye un reactor biológico, el cual realiza la degradación de materia orgánica disuelta. Siendo este proceso el que reduce DQO y la DBO, y así permitir que el agua cumpla los límites de descarga establecidos. (ANDA, 2020)

7.3.4 Clarificación y decantación secundaria. El agua tratada se dirige al clarificador, donde los lodos generados se sedimentan. Estos pueden ser recirculados al reactor para mantener la biomasa activa. (MARN, 2019)

7.4 Análisis comparativo con el Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS)

El análisis comparativo se realizó mediante la confrontación directa de los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos con los valores máximos permisibles establecidos por el Reglamento Técnico Salvadoreño. Esta comparación permitió determinar el grado de cumplimiento normativo del proceso productivo evaluado.

Los resultados indican que, si bien la mayoría de los parámetros cumplen con los límites establecidos, existen desviaciones puntuales que requieren atención técnica para evitar incumplimientos futuros. Estas desviaciones no representan un incumplimiento crítico inmediato; sin embargo, evidencian la necesidad de fortalecer los controles operativos y la gestión ambiental del proceso.

La comparación con el RTS permite identificar de manera objetiva las brechas existentes entre las condiciones reales de operación y los requisitos normativos, sirviendo como base para la formulación de recomendaciones técnicas y ambientales.

7.5 Análisis matemático y estadístico de los resultados

El análisis matemático y estadístico de los resultados se realizó utilizando herramientas básicas como el cálculo de promedios, rangos y porcentajes de cumplimiento. Estos cálculos permitieron evaluar la variabilidad de los parámetros analizados y su comportamiento en relación con los límites establecidos por el RTS.

Los resultados estadísticos evidencian que la variabilidad observada en algunos parámetros se encuentra asociada a la falta de estandarización de los procedimientos y a la ausencia de registros continuos. No obstante, los valores promedio se mantienen dentro de los rangos aceptables, lo cual indica un desempeño general adecuado del proceso productivo.

Este análisis refuerza la importancia de implementar controles estadísticos básicos que permitan mejorar la consistencia del proceso y fortalecer el cumplimiento normativo.

7.6 Diagnóstico ambiental del proceso productivo

El diagnóstico ambiental del proceso productivo se centró en la evaluación del uso del recurso hídrico y la generación de aguas residuales. Los resultados muestran que el proceso productivo presenta un consumo significativo de agua, especialmente durante las etapas de limpieza y sanitización de equipos.

La ausencia de indicadores ambientales formales limita la capacidad de la empresa para evaluar de manera precisa su desempeño ambiental y para identificar oportunidades de mejora en el uso eficiente del recurso hídrico. Asimismo, la variabilidad en la calidad de los efluentes representa un riesgo potencial para el cumplimiento sostenido de la normativa ambiental vigente.

Este diagnóstico pone de manifiesto la necesidad de integrar la gestión ambiental como un componente fundamental del sistema productivo.

Cuadro 3 Comparación de parámetros analizados con Normativa Salvadoreña.

Parámetro	Unidad	Valor obtenido en Cadejo Brewing	Límite legal El Salvador	Impacto
DBO	mg/L	1800	50	Reducción de oxígeno disuelto. Afectación de fauna acuática.
DQO	mg/L	3200	150	Contaminación cuerpos de agua. Acumulación materia orgánica.
SST (solidos totales suspendidos)	mg/L	950	50	Turbidez. Sedimentación. Obstrucción cuerpos de agua.
pH	---	6.2	6-9	Alteración de los ecosistemas acuáticos.

Fuente: Jiménez, M., Torres, P. & Aguilar, R. (2020)
(MARN, 2015)

Cuadro 4 Comparación de Sistema de Tratamiento de aguas residuales cerveceras

Sistema de tratamiento	Descripción	Eficiencia esperada	Ventajas	Limitaciones
Rejillas	Retención de solidos gruesos	Baja	Evita obstrucciones	No reduce DBO, DQO ni nutrientes
Carbón activado	Adsorción de compuestos orgánicos y colorantes	Baja a media	Mejora olor y color	No elimina patógenos ni carga orgánica significativa
UV/Cloración (hipoclorito de sodio)	Desinfección de microorganismos	Alta (patógenos)	Eliminación microbiológica	No reduce DBO ni DQO, requiere control de dosis
Lodos activados	Biodegradación de materia orgánica por microorganismos	DBO ~85-95% DQO ~70-85%	Alta eficiencia de remoción de contaminantes	Requiere espacio y operación controlada
Filtro percolador	Capa de material poroso con colonias bacterianas	DBO ~65-80% DQO 50-75%	Simple de operar	Requiere mantenimiento periódico y control de caudal

Fuente: Jaiyeola, A. T., & Bwapwa, J. k (2016)

Carga contaminante estimada. El cálculo de la carga contaminante diaria se realizó considerando el caudal de 0.062 m³/día y las concentraciones promedio.

Cuadro 5 Estimación de carga contaminante diaria de Cadejo Brewing.

Parámetro	Concentración (mg/L)	Caudal (m ³ /día)	Carga diaria (kg/día)
DBO	1800	0.062	0.11
DQO	3800	0.062	0.24
SST	750	0.062	0.05

7.6.2 Diagnóstico de funcionamiento. El volumen de agua utilizado y descargado es bajo en comparación con cervecerías industriales, pero las concentraciones de contaminantes son elevadas. Los parámetros de DBO, DQO, sólidos suspendidos, superan los límites de la normativa salvadoreña.

El sistema actual solo dispone de rejillas y trampas de grasa (carbón activado), lo que resulta insuficiente para reducir la carga contaminante.

Existe riesgo de incumplimiento legal y de impactos ambientales en la red de alcantarillado y cuerpos receptores.

7.6.3 Métodos de análisis. Caudal: medido con registradores de flujo y aforos manuales.

Temperatura y pH: medidos con termómetro digital y potenciómetro calibrado.

Sólidos suspendidos totales y turbidez: evaluados mediante gravimetría y turbidímetro, respectivamente.

DQO: Métodos químicos estándar. (APHA, 2017).

7.6.4 Proceso de tratamiento y recuperación de aluminio. El tratamiento de agua residuales incluye:

Coagulación – floculación con PAC para remover sólidos suspendidos.

Sedimentación para generar lodos con contenido de aluminio.

(Anexo 1)

Espesamiento y secado de lodos para reducir humedad y volumen (Babel & Takizawa, 2011).

Extracción química del aluminio mediante ajuste de pH ácido, permitiendo solubilizar el metal para su recuperación y posible reutilización interna o en otros procesos industriales (Parsons & Daniels, 1999).

Disposición final segura de lodos cuando la recuperación no era viable económicamente, cumpliendo con el Reglamento Técnico de Locos en El Salvador (MARN, 2015).

Estos procedimientos cumplen con las normas de ANDA (2018) y las recomendaciones internacionales de plantas industriales de tratamiento de aguas residuales (Vigneswaran & Visvanathan, 2017).

8.CONCLUSIONES

Tras la evaluación integral de la calidad de las aguas residuales generadas por Cadejo Brewing Company, se concluye que:

Constituye un parámetro fundamental para el dimensionamiento y evaluación preliminar del sistema de tratamiento.

La ausencia de registros de caudal de salida monitoreo completo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos limita la evaluación integral del desempeño y eficiencia real del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Con base al diagnostico realizado, se identifico la necesidad de fortalecer el control operativo mediante la implementación de mediciones continuas que permitan comparar resultados con la normativa ambiental vigente (RTS Decreto n°39.)

El estudio permitio establecer una base técnica inicial para futuras evaluaciones mas completas, orientadas a garantizar el cumplimiento ambiental y la gestión sostenible del recurso hídrico en la industria cervecera artesanal.

9. RECOMENDACIONES.

9.1 Relación monitoreo y control

Instalar un sistema de medición de caudal de salida para determinar la eficiencia hidráulica de tratamiento.

Realiza análisis periódicos de parámetros claves como DQO, DBO, SST tanto de entrada como en la salida del sistema (PTAR planta de tratamiento de aguas residuales)

9.2 Gestión del recurso hídrico

Elaborar un balance hídrico interno que relacione consumo de aguas, generación de efluentes y posibles puntos de reutilización.

Implementar un programa de uso eficiente del agua en los procesos productivos para reducir la carga hidráulica que ingresa al sistema de tratamiento.

Desarrollar plan de mejora continua, orientado al cumplimiento de la normativa ambiental actual en El Salvador.

9.3 Actividad Emergente

9.3.1. Huella Hídrica del proceso productivo. La huella hídrica se incorporó como un indicador ambiental clave dentro del análisis de resultados y discusión, debido a su relevancia para evaluar el impacto del proceso productivo sobre el recurso hídrico. La estimación de la huella hídrica se realizó considerando el volumen total de agua utilizada en el proceso productivo en relación con la cantidad de producto elaborado.

Los resultados indican que la huella hídrica del proceso se encuentra dentro de rangos aceptables para la industria cervecera; sin embargo, el análisis evidencia oportunidades de mejora mediante la optimización de los procedimientos de limpieza y la implementación de prácticas de reutilización de agua.

La inclusión de la huella hídrica fortalece el enfoque ambiental del estudio y permite una evaluación más integral del desempeño del proceso en relación con los criterios del RTS.

La discusión de los resultados permite integrar los hallazgos técnicos, ambientales y normativos obtenidos durante la investigación. Los resultados evidencian que la empresa CADEJO presenta un nivel de cumplimiento general con los requisitos establecidos por el Reglamento Técnico Salvadoreño; no obstante, se identifican áreas de mejora relacionadas con la estandarización de procedimientos, el control del consumo de agua y la gestión de efluentes.

La comparación de los resultados obtenidos con los criterios del RTS y con la literatura técnica demuestra que la implementación de controles operativos más rigurosos y de indicadores ambientales permitiría mejorar el desempeño del proceso y reducir los riesgos de incumplimiento normativo.

En este sentido, los resultados del presente estudio constituyen una base técnica sólida para la formulación de conclusiones y recomendaciones orientadas a la mejora continua del sistema productivo y al fortalecimiento de la gestión ambiental de la empresa.

Con el fin de sintetizar los principales aspectos relacionados con el manejo de aguas residuales del proceso productivo evaluado, a continuación, se presenta una tabla resumen que integra las prácticas actuales, los criterios establecidos por el Reglamento Técnico Salvadoreño y las oportunidades de mejora identificadas a partir del análisis de resultados.

10. BIBLIOGRAFIA

- Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. (2020). Norma para regular la calidad de aguas residuales de tipo especial. Gobierno de El Salvador. Recuperado de <https://www.anda.gob.sv/servicios/planes-leyes-y-normativas>
- Brewers Association. (2019). Sustainability benchmarking and best practices for craft brewers. Disponible en <https://www.brewersassociation.org/best-practices/sustainability/>
- Fillaudeau, L., Blanpain-Avet, P., & Daufin, G. (2006). Water, wastewater and waste management in brewing industries. *Journal of Cleaner Production*, 14(5), 463–471. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.01.002>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2011). Guide to good hygiene practices for beverage industries. FAO. Recuperado de <https://www.fao.org/3/i0483e/i0483e.pdf>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista, P. (2018). Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Jaiyeola, A. T., & Bwapwa, J. K. (2016). Treatment technology for brewery wastewater in a water-scarce country: A review. *South African Journal of Science*, 112(5/6), Article #20150069. Recuperado de <https://doi.org/10.17159/sajs.2016/20150069>
- JUNTA DE ANDALUCIA CENTA. (s. f.). Gestión y tratamiento de aguas residuales en la industria agroalimentaria. Centro Experimental de Nuevas Tecnologías del Agua, España CENTA. Disponible en <https://www.juntadeandalucia.es>
- Metcalf & Eddy. (2014). Wastewater engineering: Treatment and resource recovery (5th ed.). McGraw-Hill Education. Disponible en <https://www.mheducation.com>

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019). Decreto N°. 29. Reglamento Especial de Aguas Residuales y Manejo de Lodos Residuales. Gobierno de El Salvador. Recuperado de <https://blockchain.ambiente.gob.sv/documentos/decreto-no-29-reglamento-especial-de-aguas-residuales-y-manejo-de-lodos-residuales>

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2024). Acuerdo No. 185. Reglamento Técnico Salvadoreño: Aguas residuales. Parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y manejo de lodos residuales. Gobierno de El Salvador. Recuperado de <https://vares.ambiente.gob.sv/download/acuerdo-no-185-reglamento-tecnico-salvadoreno-aguas-residuales-parametros-de-calidad-de-aguas-residuales-para-descarga-y-manejo-de-lodos-residuales>

OpenAI (2026) Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (Imagen generada IA). ChatGPT. Recuperado de <https://chatgpt.com/c/69a5fa14-66fc-8331-875a-894433ab024e>

Spellman, F. R. (2017). Handbook of water and wastewater treatment plant operations (3rd ed.). CRC Press. Recuperado de <https://www.routledge.com>

Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., & Burton, F. (2014). Wastewater engineering: Treatment and resource recovery. McGraw-Hill Education.

11. ANEXOS

A-1 Planta de tratamiento de aguas residuales

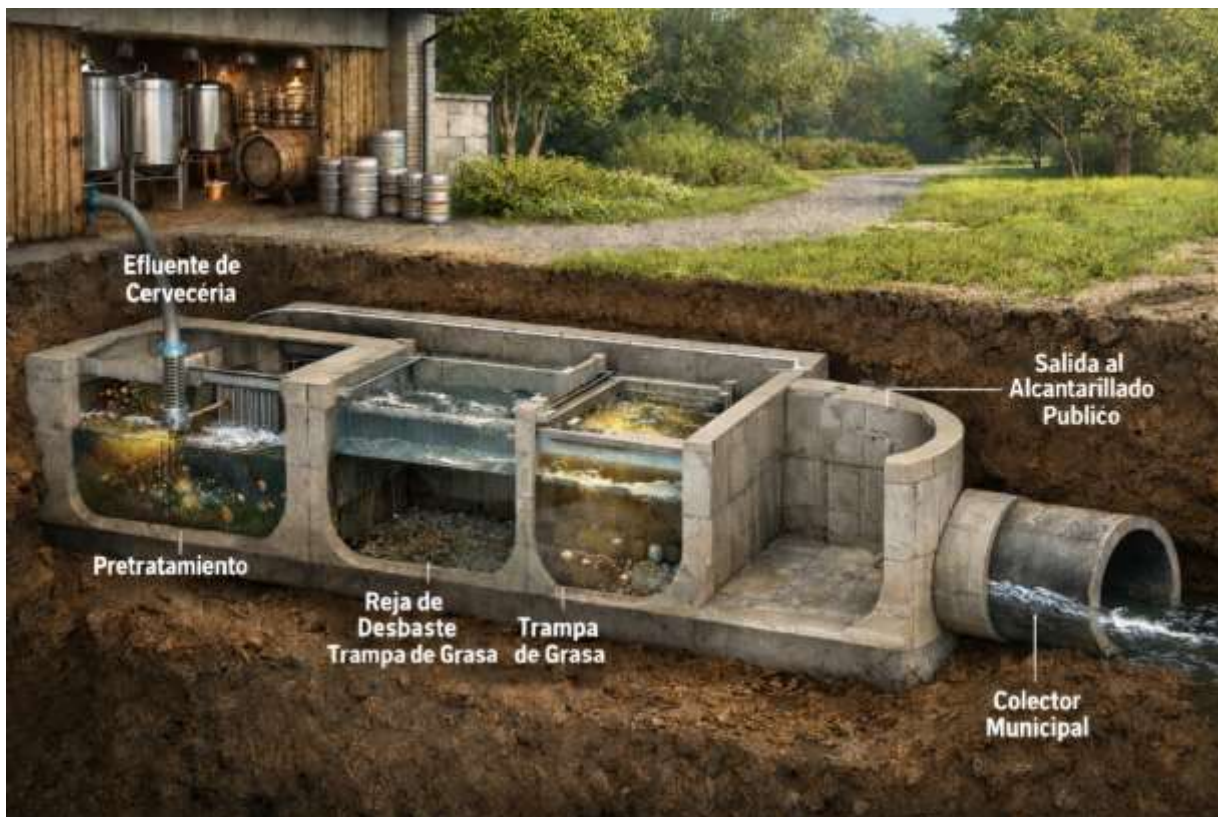


Figura A-1 Planta de tratamiento de aguas residuales.

Fuente Elaboracion propia mediante inteligencia artificial (Chat GPT, 2026)

11.2 PROGRAMA DE SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL. CADEJO BREWING SA DE CV.

Anexo 1 Programa de Salud y Seguridad Ocupacional

INTRODUCCIÓN:

El programa de salud y seguridad ocupacional en la Empresa Cadejo Brewing S. A de C.V. Está enfocado a la prevención de accidentes de trabajo y resguardar la salud de los colaboradores, señalando las acciones que les ponen en riesgo.

La finalidad de contribuir en la generación de un ambiente libre de riesgos y el fomento de una cultura de seguridad se ha dado por escrito en este plan en el cual se enfatiza la importancia que los usuarios lean completamente este plan para evitar emergencias por mal uso, descuido

o negligencia. También cuenta con instrucciones que detallan la manera de cómo proceder ante los posibles riesgos y que se puedan solventar de la mejor manera según su tipo, y evitar en la medida de lo posible, daños colaterales en los usuarios, personas en los alrededores y en las instalaciones.

Por tanto, su contenido describe su objetivo general y marco de referencias, además de la política bajo la cual se rige, a partir de la cual se van a ejecutar las acciones y los procedimientos a realizar para cumplir con el objetivo propuesto.

Además, se establece la participación de todos los trabajadores y las autoridades para el desarrollo de este plan manteniendo el principio de mejora continua en el sistema de gestión de la emergencia.

MISIÓN:

Crear opciones de cervezas de la mejor calidad en los más de 90 estilos reconocidos a nivel mundial, 100% naturales y sin adjuntos. Promover la verdadera cultura cervecera en nuestros restaurantes, en nuestra fábrica y en nuestra comunidad. Innovar en todo lo que hacemos.

VISIÓN:

Ser los líderes del movimiento de cerveza artesanal en la región centroamericana.

Fomentar un ámbito laboral de cooperación, pasión y excelencia. Impactar de forma positiva nuestras comunidades no solo con nuestra actitud y servicio sino también por medio de eventos proyectos, apoyo a productores locales y conciencia social.

MARCO LEGAL:

De acuerdo con el convenio 155 de la Organización Internacional del Trabajo, sobre Salud y Seguridad de los trabajadores y Medio Ambiente de Trabajo, ratificado por El Salvador mediante Decreto Legislativo No. 348, del 19 de julio de 2000, todo Estado debe adoptar por vía legislativa o reglamentaria y en consulta con las organizaciones de empleadores y trabajadores las medidas para aplicar y dar efecto a la política nacional existente en esa materia.

El programa de Prevención de Riesgos Ocupacionales de la Empresa CADEJO BREWINGS S. A de C. V en cumplimiento con la Ley General de Prevención de Riesgos en Lugares de Trabajo contempla los elementos básicos para el cumplimiento de los aspectos relacionados con la seguridad, salubridad, higiene, prevención de enfermedades y diferentes tipos de riesgos.

La elaboración de este Programa es conforme a los Art. 8 y Decreto 86 de la Ley y reglamento respectivamente, correspondiendo al empleador y al Comité de Seguridad y Salud Ocupacional, abreviado como CSSO, su redacción con el fin de incluir en las actividades y procedimientos destinados para la preservación de la salud, seguridad, vida e integridad física de los trabajadores de la Facultad de Ciencias Agronómicas en sus diferentes puestos de trabajo.

CADEJO BREWING S.A de C.V

El Art. 8 de la Ley de general de prevención de riesgos en los lugares de trabajo se declara lo siguiente:

Art. 8.- Será responsabilidad del empleador formular y ejecutar el Programa de Gestión de Prevención de Riesgos Ocupacionales de su empresa, de acuerdo con su actividad y asignar los recursos necesarios para su ejecución. El empleador deberá garantizar la participación efectiva de trabajadores en la elaboración, puesta en práctica y evaluación del referido programa.

Dicho programa contará con los siguientes elementos básicos:

Mecanismos de evaluación periódica del Programa de Gestión de Prevención de Riesgos Ocupacionales.

Identificación, evaluación, control y seguimiento permanente de los riesgos ocupacionales, determinando los puestos de trabajo que representan riesgos para la salud de los trabajadores, actuando en su eliminación y adaptación de las condiciones de trabajo, debiendo hacer especial énfasis en la protección de la salud reproductiva, principalmente durante el embarazo, el postparto y la lactancia.

Registro actualizado de accidentes, enfermedades profesionales y sucesos peligrosos, a fin de investigar si éstos están vinculados con el desempeño del trabajo y tomar las correspondientes medidas preventivas.

Diseño e implementación de su propio plan de emergencia y evacuación.

Entrenamiento de manera teórica y práctica, en forma inductora y permanente a los trabajadores sobre sus competencias, técnicas y riesgos específicos de su puesto de trabajo, así como sobre los riesgos ocupacionales generales de la empresa, que le puedan afectar.

Establecimiento del programa de exámenes médicos y atención de primeros auxilios en el lugar de trabajo.

Establecimiento de programas complementarios sobre consumo de alcohol y drogas, prevención de infecciones de transmisión sexual, VIH/SIDA, salud mental y salud reproductiva.

Planificación de las actividades y reuniones del Comité de Seguridad y Salud Ocupacional. En dicha planificación deberá tomarse en cuenta las condiciones, roles tradicionales de hombres y mujeres y responsabilidades familiares con el objetivo de CADEJO BREWING S.A de C. V.

Garantizar la participación equitativa de trabajadores en dichos comités, debiendo adoptar las medidas apropiadas para el logro de este fin.

Formulación de un programa de difusión y promoción de las actividades preventivas en los lugares de trabajo. Los instructivos o señales de prevención que se adopten en la empresa se colocarán en lugares visibles para los trabajadores, y deberán ser comprensibles.

Formulación de programas preventivos, y de sensibilización sobre violencia hacia las mujeres, acoso sexual y demás riesgos psicosociales.

Dicho programa debe ser actualizado cada año y tenerse a disposición del Ministerio de Trabajo y Previsión Social.

El Decreto 86 del reglamento establece los lineamientos que desarrollan lo preceptuado por la Ley General de Prevención de Riesgos en los Lugares de Trabajo, en lo referente a la gestión

de este tema, la cual abarca la conformación y funcionamiento de estructuras de gestión, incluyendo los respectivos Comité de Seguridad y Salud Ocupacional y delegados de prevención; la formulación e implementación del Programa de Gestión de Prevención de Riesgos Ocupacionales y los registros documentales y notificaciones relativos a tales riesgos, conforme lo establece el Título II de la referida Ley.

De conformidad con la Ley, el presente Reglamento persigue en las áreas que regula, que los trabajadores tengan igualdad de derechos, a efecto que gocen de un ambiente de trabajo seguro y saludable, tomando en cuenta sus necesidades en lo que concierne a las estructuras de gestión que se desarrollan.