



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**EVALUACIÓN A LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE
UNA EMPRESA AVÍCOLA UBICADA EN VILLA NUEVA, GUATEMALA**

Brian Fernando López Gómez

Asesorado por el Ing. Ernesto Daniel Alvarado Jiménez

Guatemala, octubre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN A LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE
UNA EMPRESA AVÍCOLA UBICADA EN VILLA NUEVA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

BRIAN FERNANDO LÓPEZ GÓMEZ

ASESORADO POR EL ING. ERNESTO DANIEL ALVARADO JIMÉNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECANICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Ing. Edwin Josué Ixtapa Reyes
EXAMINADORA	Inga. Rocio Carolina Medina Galindo
EXAMINADORA	Inga. Ericka Nathalie López Torres
SECRETARIOA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN A LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE UNA EMPRESA AVÍCOLA UBICADA EN VILLA NUEVA, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial con fecha 20 de agosto de 2018.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized cursive letters and a large loop on the right side.

Brian Fernando López Gómez

Guatemala, 07 de Abril de 2022

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas,
Director de escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Estimado Ing. Urquizú:

Saludos cordiales. Por medio de la presente HAGO CONSTAR que he revisado y dado mi aprobación al informe final de trabajo de graduación titulado **“EVALUACIÓN A LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE UNA EMPRESA AVÍCOLA UBICADA EN VILLA NUEVA, GUATEMALA”**, del estudiante de Ingeniería Mecánica Industrial Brian Fernando López Gómez quien se identifica con el carné número 2010-21055.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente;

Ernesto Daniel Alvarado Jiménez
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No. 7995

Ing. Ernesto Daniel Alvarado Jiménez
Colegiado No: 7995
Asesor



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.REV.EMI.050.022

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **EVALUACIÓN A LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE UNA EMPRESA AVÍCOLA UBICADA EN VILLA NUEVA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Brian Fernando López Gómez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Roberto Fabio Diaz
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Roberto Fabio Diaz Solares
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO No. 11279

Guatemala, agosto de 2022.

/mgp



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

LNG.DIRECTOR.191.EMI.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN A LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE UNA EMPRESA AVÍCOLA UBICADA EN VILLA NUEVA, GUATEMALA**, presentado por: **Brian Fernando López Gómez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Firmada digitalmente por Cesar Ernesto Urquizu Rodas
Motivo: Ingeniero Industrial
Ubicación: Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería
Mecánica Industrial, USAC
Colegiado 4,272
Periodo: septiembre a noviembre año 2022

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, septiembre de 2022.

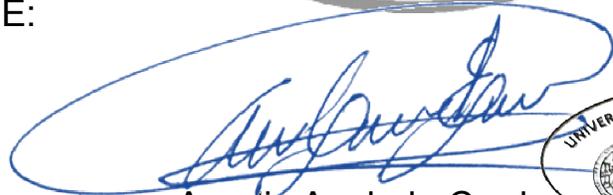


Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.657.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN A LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE UNA EMPRESA AVÍCOLA UBICADA EN VILLA NUEVA, GUATEMALA**, presentado por: **Brian Fernando López Gómez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, octubre de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por darme las fuerzas, guiarme en todo momento y haberme permitido llegar a cumplir mi sueño.

Mi familia

Por su amor y apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

- Mi madre** Juana Victoria Gómez, por sus sacrificios, consejos y cariño. Por enseñarme y corregirme. Por ser un ejemplo a imitar.
- Mis hermanos** Carlos y Cristopher López, por brindarme su ayuda y comprensión incondicionalmente.
- Mi prometida** Karen Zuleyli Sarceño, por ser mi mejor amiga, cómplice, por confiar en mí, apoyarme y amarme en todo momento.
- Facultad de Ingeniería** Por haberme dado la oportunidad de tener una educación de excelencia.
- A mis amigos** Ludwin Gonzalez, Thelmy Cruz, Héctor Velasquez, Wagner Aquino, Brallan Colop, por el apoyo mutuo en nuestra formación profesional, por su amistad y estar siempre conmigo en buenos y malos momentos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Agua residual	2
1.1.1. Características del agua residual de un rastro.....	2
1.1.2. Físicas	3
1.1.3. Químicas.....	5
1.1.4. Características biológicas	9
1.1.4.1. Microbiológicas	10
1.1.4.2. Coliformes fecales	11
1.2. Lodos	11
1.2.1. Cantidad y características	12
1.2.2. Tratamiento, transporte y vertido	12
1.3. Tratamiento de agua residual	16
1.3.1. Funcionamiento	16
1.3.2. Organización.....	22
1.4. Monitoreo para controlar la calidad del proceso	22
1.4.1. Consideraciones básicas.....	22
1.4.2. Puntos de muestreo.....	23
1.4.3. Precauciones durante el muestreo	23

1.4.4.	Toma de muestras	23
1.5.	Mantenimiento industrial.....	24
1.5.1.	Características	24
1.5.2.	Tipos de mantenimiento	24
1.5.2.1.	Mantenimiento preventivo	25
1.5.2.2.	Mantenimiento correctivo	25
1.5.2.3.	Mantenimiento predictivo.....	26
1.5.3.	Medidores industriales	26
1.5.3.1.	Tipos de medidores industriales.....	26
1.5.3.2.	Calibraciones.....	27
2.	DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y LEGAL.....	29
2.1.	Legislación nacional	29
2.2.	Legislación internacional	30
2.3.	Estudio técnico	31
2.4.	Caracterización de afluente-efluente	32
2.4.1.	Parámetros de medición.....	34
2.4.2.	Modelo de reducción progresiva de cargas de DBO	40
2.4.3.	Modelo de parámetro de calidad asociado de DBO	41
2.5.	Caracterización de lodos	42
2.5.1.	Tecnología y sistema de tratamiento de lodos	42
2.5.2.	Disposición final	43
2.5.2.1.	Cumplimiento con parámetros de disposición final	43
2.5.2.2.	Comercialización y transporte final de lodos.....	43

	2.5.2.3.	Contratación de servicios de extracción, manejo y disposición final de lodos	44
2.6.		Seguimiento y evaluación	44
	2.6.1.	Frecuencia de muestreos	44
	2.6.2.	Medición de caudal.....	45
	2.6.3.	Dispositivos para toma de muestras.....	45
	2.6.4.	Métodos de análisis y muestreo	45
2.7.		Prohibiciones	46
3.		EVALUACIÓN A LA PLANTA DE TRATAMIENTO	47
3.1.		Agua residual avícola.....	47
	3.1.1.	Comportamiento	47
		3.1.1.1. Físico-químico.....	48
		3.1.1.2. Biológico	48
	3.1.2.	Impacto en el tratamiento	49
3.2.		Funcionamiento del tratamiento residual	50
	3.2.1.	Sistema de recolección de agua residual	50
	3.2.2.	Sistema de captación de sólidos	51
	3.2.3.	Balsa de homogenización.....	51
	3.2.4.	Floculador.....	51
	3.2.5.	Balsa de aireación y captación de lodos.....	52
	3.2.6.	Pileta de descarga final	53
	3.2.7.	Sistema de secado de lodos.....	54
3.3.		Actividades de operación.....	55
3.4.		Monitoreo y control del proceso.....	56
3.5.		Mantenimiento de equipos.....	57
	3.5.1.	Equipo mecánico	58
	3.5.2.	Equipo de bombeo.....	59

3.5.3.	Equipo de medición	59
3.5.4.	Electroválvulas	60
4.	ASEGURAMIENTO DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL	61
4.1.	Funcionamiento de equipos.....	61
4.1.1.	Corrección al proceso	61
4.2.	Monitoreo y control de parámetros	62
4.2.1.	Recolección de muestras	65
4.2.1.1.	Técnicas de recolección	65
4.3.	Análisis de muestras	66
4.4.	Actividades de operación.....	67
4.4.1.	Manipulación de instrumentos.....	67
4.4.2.	Dosificación de químicos.....	68
4.4.3.	Limpieza industrial.....	69
4.5.	Mantenimiento a equipos	69
4.5.1.	Mantenimiento preventivo	70
4.5.2.	Mantenimiento correctivo	70
4.5.3.	Plan estratégico de mantenimiento	71
4.5.4.	Repuestos	71
4.6.	Plan operativo de seguridad industrial.....	73
4.6.1.	Capacitación.....	73
4.6.2.	Inspecciones de seguridad.....	74
4.6.3.	Plan para afrontar emergencias	76
4.6.4.	Equipo de protección personal	77
4.6.5.	Reglas de organización y normatividad.....	79
4.7.	Costos de implementación	79
4.7.1.	Análisis de costos de instalación.....	79
4.7.2.	Análisis de costos de operación	80
4.7.3.	Indicadores de costos de la propuesta	82

	4.7.3.1.	Valor presente neto	82
	4.7.3.2.	Tasa interna de retorno	83
	4.7.3.3.	Beneficio costo	83
5.		SEGUIMIENTO	85
5.1.		Auditorías de parámetros según AG 236-2006.....	85
	5.1.1.	Auditorías internas.....	85
	5.1.2.	Auditorías externas.....	87
5.2.		Programa de operación y control	87
5.3.		Auditorías de mantenimiento	88
	5.3.1.	Mantenimiento preventivo.....	88
	5.3.2.	Disponibilidad de repuestos críticos	89
5.4.		Reducción de consumo de agua en los procesos productivos	90
5.5.		Usos alternativos del agua residual tratada	91
5.6.		Tratamiento de aguas negras	92
		CONCLUSIONES	95
		RECOMENDACIONES.....	99
		BIBLIOGRAFÍA.....	101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Cronograma de control.....	88
----	----------------------------	----

TABLAS

I.	Generación de contaminación en industria avícola.....	3
II.	Principales sustancias orgánicas en rastros avícolas	6
III.	Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales al alcantarillado público.....	34
IV.	Análisis de parámetros.....	39
V.	Parámetro de calidad asociado de demanda bioquímica de oxígeno ..	41
VI.	Mantenimiento al equipo mecánico.....	58
VII.	Mantenimiento al equipo de bombeo	59
VIII.	Frecuencia de calibración de equipo de medición	60
IX.	Formato diario de monitoreo y control de parámetros No.1	63
X.	Formato diario de monitoreo y control de parámetros No.2	64
XI.	Listado de repuestos de la PTAR.....	72
XII.	Formato de inspecciones de seguridad.....	75
XIII.	Equipo de protección personal para personal de la PTAR.....	77
XIV.	Costos de instalación	80
XV.	Costos de operación	81
XVI.	Flujos netos de 5 años para la planta de tratamiento de aguas	82
XVII.	Cálculo de la TIR	83
XVIII.	Suma de beneficios y costos.....	84

XIX.	Formato de auditoría interna.....	86
XX.	Formato para auditoría de mantenimiento preventivo.....	89
XXI.	Repuestos críticos	90
XXII.	Parámetros y límites máximos permisibles para reúso de agua residual	92

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
°C	Grados Celsius
g	Gramo
mL	Mililitro
OD	Oxígeno disuelto
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
SD	Sólidos disueltos
ST	Sólidos totales
T	Temperatura
V	Volumen

GLOSARIO

Afluente	El agua captada por un ente generador para su tratamiento.
Agentes tensoactivos	Sustancias que presentan actividad en las superficies, reduciendo la superficie del líquido en el que están disueltas como por ejemplo los jabones, detergentes sintéticos y detergentes naturales.
Aguas residuales	Se les llama aguas servidas, fecales o cloacales o aguas negras, define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales, es decir las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.
Aireación	Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, entre otros), o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).
Alcalinidad	Representa el contenido de carbonatos, hidróxidos y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos en el agua.

Bacterias	Grupo de organismos microscópicos unicelulares, con cromosoma único, división binaria y que intervienen en los procesos de estabilización de la materia orgánica.
Bacterias aérobicas	Bacterias que requieren oxígeno libre para su desarrollo.
Bacterias anaeróbicas	Bacterias que se desarrollan en ausencia de oxígeno libre y que toman oxígeno, de las sustancias complejas que descomponen.
Caracterización	La determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas y los lodos.
Coagulante	Electrolito simple, usualmente sal inorgánica, que se usa para desestabilizar las partículas coloidales favoreciendo su aglomeración.
Coliformes fecales	El parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas provenientes del tracto digestivo.
Demanda bioquímica de oxígeno	Es la medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius.

Demanda química de oxígeno	Es la medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.
Efluente	Las aguas descargadas por un ente generador a un cuerpo receptor.
Evisceración	Es la extracción de las vísceras del ave por medio de un corte abdominal.
Floculación	Proceso químico mediante el que se aglutinan los coágulos de sustancias coloidales presentes en el agua.
Muestra	La parte representativa, a analizar, de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos.
Parámetro	Variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos, asignándole un valor numérico.
pH	Es el parámetro que indica la concentración de iones de hidrogeno. Determina la presencia de acidez o alcalinidad en el agua.
Reciclaje	Es un proceso fisicoquímico o mecánico que consiste en someter a una materia o un producto ya utilizado a

un ciclo de tratamiento total o parcial para obtener una materia prima o un nuevo producto.

Reúso

El aprovechamiento de un efluente, tratado o no.

Sitios Ramsar

Son humedales de importancia Internacional establecidos mediante un tratado intergubernamental establecido en 1971 por la UNESCO, actualmente Guatemala cuenta con siete sitios Ramsar, uno de ellos es el Parque Nacional Laguna del Tigre en Peten.

RESUMEN

La evaluación a la planta de tratamiento de aguas residuales se realizó con base en las actividades productivas de la empresa. Para esto se presentan inicialmente los conceptos generales para la comprensión sobre las plantas de tratamiento para luego realizar el diagnóstico técnico y legal que comprende tanto a la legislación nacional como internacional.

Dentro de este diagnóstico se pretende evaluar la caracterización del afluente-efluente del agua residual dentro de la empresa, y de la caracterización de lodos. Posteriormente, se evalúa la planta de tratamiento desde el punto de vista técnico de la ingeniería, para determinar si el funcionamiento actual es el correcto.

De esta evaluación se determina que es necesario implementar mejoras para el aseguramiento del tratamiento del agua residual por medio del monitoreo y control de los parámetros, recolección y análisis de muestras, mantenimiento a los equipos y un plan operativo de seguridad industrial para resguardar la salud de los colaboradores de la empresa.

Por último, se plantea el seguimiento a las mejoras propuestas y al cumplimiento de la legislación nacional, creando auditorías internas y externas para evaluar el Acuerdo Gubernativo 236-2006, además de proponer auditorías sobre el mantenimiento preventivo y la propuesta de reúso del agua residual tratada.

OBJETIVOS

General

Evaluar el sistema de tratamiento de agua residual de una planta avícola en base al acuerdo gubernativo 236-2006.

Específicos

1. Realizar un diagnóstico de los parámetros a controlar y el apego de estos a los modelos de reducción con base en la legislación nacional.
2. Establecer el tratamiento, comercialización, transporte y disposición final de los lodos residuales.
3. Verificar los dispositivos, frecuencias, y métodos con que se evalúa el cumplimiento de los parámetros.
4. Determinar el comportamiento de las características del agua avícola y su impacto en el tratamiento.
5. Comprobar el proceso de funcionamiento, control y mantenimiento a la planta de tratamiento de agua residual.
6. Asegurar el proceso con mejoras físicas, técnicas y operativas al tratamiento de aguas residuales y lodos.

7. Definir un seguimiento basado en programas de control, planes de reducción de consumo y usos alternativos del agua.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la empresa avícola se dedica al procesamiento de aves para el consumo humano con una variedad amplia de presentaciones de producto fresco, congelado, y sus líneas de productos cocinados en diferentes especialidades.

La empresa abastece gran parte del mercado nacional teniendo presencia en tiendas de barrio, mercados, supermercados, y una amplia gama de restaurantes. Para competir en el mercado e incursionar en el extranjero se debe cumplir con normas de inocuidad, participar en el ámbito social, empresarial y de conservación del planeta.

Bajo el plan estratégico de contar con una producción más limpia la empresa avícola invirtió en la compra de una nueva planta de tratamiento de agua residual que ha operado durante 8 años, en los que se han presentado deficiencias en funcionamiento como operación. Para determinar estas fallas se propone una evaluación del proceso y determinar así las mejoras necesarias para asegurar su funcionamiento con base en los parámetros determinados por el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

La evaluación busca determinar las características físico-químicas y biológicas del agua residual, la cantidad del caudal que se trata, la eficacia del tratamiento en cada uno de los procesos, la forma en que se obtienen y registran las lecturas de parámetros, los controles que se llevan a cabo para asegurar la calidad del agua tratada.

Derivado de la investigación se busca proponer un mejoramiento al proceso tanto en operación como funcionamiento para el tratamiento del agua residual en los parámetros de ley de forma segura por medio de un plan operativo de seguridad industrial y brindando el correcto mantenimiento a los equipos de la planta de tratamiento para asegurar sus prestaciones a lo largo del año evitando con eso paros no programados por mantenimientos correctivos.

1. MARCO TEÓRICO

El agua es indispensable para el desarrollo humano, por lo cual a lo largo de la historia se han aplicado distintas herramientas para explotar sus fuentes de almacenamiento.

El uso del agua se ha incrementado a lo largo del tiempo, siendo un pilar para el auge de grandes civilizaciones que desarrollaron sistemas para su obtención. Luego de darle uso al agua se ha descargado a los ríos y lagos, la contaminación presente y constante trajo consigo ríos y lagos con altas cargas orgánicas e inorgánicas, y ha reducido la biodiversidad que depende de ellos. Como, por ejemplo:

- El río Salween en Asia, nace en el Tíbet y recorre Yunnan, China y Birmania presenta desechos industriales como plomo, cobre, azufre, desechos textiles, entre otros.
- El río Volga cruza 11 provincias y 4 repúblicas de la federación rusa, presenta altos niveles de contaminación debido a que en él se descargan aguas residuales industriales.
- El lago de Amatitlán recibe los desechos generados en los municipios de Guatemala, Mixco, Villa Nueva, Villa Canales y San Miguel Petapa por medio del río Villa Lobos en sus 16 afluentes. Se calcula que el lago se convertirá en pantano en menos de 20 años.

Para reducir esta contaminación se ha legislado alrededor del mundo para controlar los desechos que se emiten a los ríos y lagos, desarrollando sistemas de tratamiento de agua residual. El presente capítulo desarrolla la base para el funcionamiento, control y mantenimiento del tratamiento de agua residual en una industria avícola ubicada en Villa Nueva y cuyos desechos de no ser tratados pueden llegar al río Villa Lobos y ser transportados al lago de Amatitlán. La industria avícola se caracteriza por utilizar grandes cantidades de agua para obtener el producto final.

1.1. Agua residual

El agua al ser utilizada por el hombre para actividades domésticas y productivas adquiere residuos sólidos y variaciones caloríficas que afectan de forma negativa su calidad, esta se denomina como agua residual, presenta cambios en sus características que se deben controlar previo a ser liberadas a los cuerpos receptores de agua para mantener un equilibrio en la naturaleza.

1.1.1. Características del agua residual de un rastro

Las aguas residuales de rastros avícolas se componen de contaminantes orgánicos e inorgánicos.

La presencia de contaminantes orgánicos es debido a las sustancias que se desprenden en el sacrificio y evisceración de las aves, son biodegradables, al estancarse generan gases malolientes, contienen numerosos microorganismos patógenos causantes de enfermedades que habitan en el aparato intestinal humano, contienen nutrientes que estimulan el crecimiento de plantas acuáticas.

Los contaminantes inorgánicos dañan la calidad física y química del agua, son sustancias como materiales inertes en suspensión y dilución.

Según el tipo de contaminante presente en el agua, así será el sistema de tratamiento que tendrá que utilizarse para disminuir el impacto de ambos tipos de contaminantes.

Tabla I. **Generación de contaminación en industria avícola**

Orgánicos	Inorgánicos
<ul style="list-style-type: none">• Matanza, desangrado, escaldado y desplume.• Eviscerado.• Limpieza de mollejas, patas y cabezas.	<ul style="list-style-type: none">• Limpieza de pisos.• Limpieza de maquinaria.• Desinfección de ingresos.

Fuente: elaboración propia.

1.1.2. Físicas

El agua cuenta con parámetros físicos que son parte importante de la caracterización, estos se manejan para determinar la alteración que ha tenido. Bajo el criterio de calidad aplicable a un determinado tipo de agua, y basados en la observación científica se determinó que los siguientes parámetros brindan información importante de las aguas residuales:

- Sólidos

Formados por los sólidos totales que es la materia que se obtiene luego de someter el agua al proceso de evaporación a una temperatura entre 103 °C y 105 °C, y los sólidos sedimentables que son aquellos que se sedimentan en el

fondo de un recipiente en un lapso de 60 minutos, su unidad de medida es mililitros por litro y se consideran sedimentables pues tienen mayor densidad que el agua.

- Olor

Normalmente, el olor se debe a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica, en consecuencia, el agua de uso reciente presenta un olor desagradable pero tolerable comparado con el agua residual séptica. El olor de las aguas residuales industriales depende del proceso productivo, se caracteriza por cuatro factores independientes: la intensidad, el carácter, la sensación de desagrado y el nivel de detección.

- Color

El color de las aguas residuales es un indicio básico de la cantidad de sólidos presentes. Históricamente para describir un agua residual se verificaba su condición, composición y concentración, todo esto para determinar la edad del agua residual que puede ser determinada mediante su color y olor, mientras más oscuras esté, más tiempo han permanecido contaminadas. Se desea que el agua residual sea tratada en corto tiempo.

- Temperatura

La temperatura del agua es un parámetro relevante debido a su influencia en la vida acuática pues, cambios bruscos genera un aumento de la mortalidad de las especies. También aumenta la velocidad de las reacciones químicas de las sustancias que en ella están disueltas.

- Densidad

Se define la densidad del agua residual como su masa por unidad de volumen, expresada en kg/m³. Esta característica es importante en el agua residual pues de ella depende la potencial formación de densidad en fangos de sedimentación.

- Turbidez

Se define como la propiedad de transmisión de la luz de un agua, la medición se realiza mediante la comparación entre la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones. La materia coloidal dispersa absorbe su luz impidiendo la transmisión.

1.1.3. Químicas

Las características químicas con las que cuenta el agua residual son:

- Materia orgánica

Estos componentes son sólidos, provienen del reino animal y vegetal, normalmente se conforman por combinaciones de carbono, hidrogeno y oxígeno en su mayoría, con la presencia en determinados casos de nitrógeno. También pueden presentar otros elementos como azufre, fósforo o hierro.

Tabla II. **Principales sustancias orgánicas en rastros avícolas**

Proteínas	Principales componentes del organismo animal, presente en los alimentos de origen vegetal y animal en estado crudo.
Hidratos de carbono	Se distribuyen ampliamente en la naturaleza, estos se incluyen en las azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera. Estos contienen carbono, oxígeno e hidrógeno.
Grasas, grasas animales y aceites	Estas son el tercer elemento relevante en los alimentos. El término grasa engloba las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes presentes en las aguas residuales.

Fuente: elaboración propia.

- Agentes tensoactivos

Estos están formados por moléculas de gran tamaño, ligeramente solubles en agua, son los responsables de la aparición de espuma en las plantas de tratamiento de agua residual y en los cuerpos receptores.

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La DBO a 5 días (DBO5), determina la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos en sus procesos metabólicos al oxidar o consumir materia susceptible que se encuentra presente en la muestra líquida, disuelta o en suspensión, del agua residual.

- Demanda química de oxígeno (DQO)

Este parámetro se calcula mediante un agente químico fuertemente oxidante en un medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de

la materia orgánica que puede oxidarse. El valor de DQO representa una oxidación más completa a diferencia del valor de DBO que solamente ve la oxidación por vía biológica.

- Nitrógeno total y orgánico

Los elementos del nitrógeno son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas. Las fuentes se encuentran ampliamente en la naturaleza, se generan en la degradación natural de la materia orgánica, fertilizantes, químicos para limpieza y tratamiento de aguas potables.

La presencia en cantidades no apropiadas, es decir, que exceden la cantidad normal del medio ambiente provoca:

- El crecimiento desmedido de vegetación acuática
- Retención de sedimentos en la superficie
- Reducción del volumen de agua
- Falta de luz solar en el cuerpo de agua
- Se Agotan rápidamente los nutrientes de las especies nativas
- Se reduce la oxigenación del agua provocando el envejecimiento acelerado del cuerpo acuático.

Por lo que es importante controlar este parámetro, reduciendo las emisiones hacia los cuerpos receptores.

- Metales pesados

En las aguas residuales podemos encontrar presencia de metales, de los que se destacan el níquel (Ni), el plomo (Pb), el manganeso (Mn), el cromo (Cr),

el Zinc (Zn), el cadmio (Cd), el hierro (Fe), el cobre (Cu) y el mercurio (Hg). “Aunque los metales son imprescindibles para el desarrollo de la vida biológica, la presencia excesiva limita el uso del agua y por eso se debe medir y controlar estos parámetros.”¹

Las altas cargas de metales en el agua residual que generan las actividades industriales y mineras no controladas contaminan el ambiente, y a los seres vivos que dependen de los cuerpos de agua en los que son depositados. La peligrosidad de los metales pesados es considerable, al no ser químicamente ni biológicamente degradables, una vez emitidos pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años.

La concentración de un metal pesado en un ser vivo provoca síntomas de intoxicación o envenenamiento, como, por ejemplo:

- El plomo es una sustancia tóxica que se acumula en el organismo humano afectando especialmente a niños de corta edad, se distribuye por el cuerpo alcanzando el cerebro, el hígado, los riñones y huesos.
- La exposición o ingestión de mercurio provoca trastornos neurológicos y del comportamiento, con síntomas como temblores, insomnio, pérdida de memoria, disfunciones cognitivas y motoras.
- La ingestión de agua con niveles altos de cadmio que es un subproducto de la minería provoca irritación grave del estómago, lo

¹ Madrid Blogs. *Los metales pesados en las aguas residuales*. <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/02/02/83698>. Consulta: 14 de junio de 2018.

que produce vómitos y diarrea, daña los riñones y en una ingesta baja pero prolongada provoca fragilidad en los huesos.

- Gases

Los gases que se presentan en aguas residuales brutas son el oxígeno (O₂), el nitrógeno (N₂), el dióxido de carbono (CO₂), el sulfuro de hidrógeno (H₂S), el metano (CH₄) y el amoníaco (NH₃). Los primeros tres son gases con presencia común en la atmósfera y se encuentran en cualquier tipo de agua. Los últimos tres son gases que se presentan como parte del proceso de descomposición de materia orgánica. En el proceso de desinfección y control de olores se utiliza el cloro (Cl₂) y el ozono (O₃).

- Potencial de hidrógeno (pH)

El pH se define como la medida de la concentración de iones de hidrógeno (H⁺), o en su efecto de los iones hidroxilo (OH⁻), en el agua.

Cuando la solución es dominada por los iones de hidrógeno el valor del potencial de hidrógeno varía desde una solución neutra con pH 7 hasta una solución completamente ácida con pH 0. Por otra parte, cuando los iones hidroxilo son los que abundan, el valor del pH varía desde una solución neutra con pH 7 hasta una solución completamente alcalina o básica con pH 14.²

1.1.4. Características biológicas

Las aguas residuales son ambientes propicios para la generación y conservación de un gran número de organismos vivos que mantienen la actividad biológica, produciendo fermentación, descomposición y degradación de la materia orgánica e inorgánica.

² Concepto.de. *Concepto de PH*. <https://concepto.de/ph/>. Consulta: 14 de junio de 2018.

1.1.4.1. Microbiológicas

Los parámetros microbiológicos estudian los microorganismos, seres vivos diminutos, también conocidos como microbios. Son visibles a través del microscopio, en el agua residual se analizan los siguientes:

- Bacterias

Las bacterias se pueden definir como eubacterias procariotas unicelulares.

En función de su forma se pueden clasificar en cuatro grupos: esferoidales, bastón, bastón curvado y filamentosas. Se multiplican por división celular y su velocidad de reproducción puede ser frenada por varias causas como, por ejemplo: su naturaleza, temperatura, medio, disminución de alimentos y del oxígeno disuelto, pH, entre otros.³

- Hongos

Los hongos son protistas eucariotas aeróbicos, multicelulares, no fotosintéticos y quimioheterótrofos. Estos basan su alimentación en materia orgánica muerta, junto con las bacterias, los hongos son los principales responsables de la descomposición del carbono de la biosfera. “Los hongos presentan ventaja a las bacterias pues, pueden crecer y desarrollarse en zonas de baja humedad, y en medios ácidos.”⁴

³ CUBA, Francisco. *Tratamiento de aguas residuales*. <https://es.scribd.com/document/47025289/Mod17>. Consulta: 14 de junio de 2018.

⁴ MIRANDA, Giovanna. *Evaluación del tratamiento de aguas residuales para disminuir la contaminación de efluentes generados por la empresa de lácteos “MARLEN” ubicada en el cantón Tisaleo provincia de Tungurahua*. <https://1library.co/document/zggrdj7z-evaluacion-tratamiento-residuales-disminuir-contaminacion-efluentes-generados-tungurahua.html>. Consulta: 25 de junio de 2018.

- Virus

Son partículas parasíticas formadas por un cordón de material genético con una capa de recubrimiento proteínico.

No tiene capacidad para sintetizar compuestos nuevos. Debido a esto invaden las células del cuerpo vivo que los acoge y reconducen la actividad celular hacia la producción de nuevas partículas virales a costa de las células originales. Cuando muere la célula original, se liberan gran cantidad de virus que infectarán células próximas.⁵

1.1.4.2. Coliformes fecales

Uno de los mayores riesgos microbianos del agua es el que se relaciona con la presencia de excrementos animales y humanos.

El tracto intestinal contiene innumerable cantidad de organismos patógenos que generan enfermedades nocivas para el ser humano. Para identificar la presencia de organismos patógenos se evalúa la presencia de coliformes fecales.

1.2. Lodos

El tratamiento de agua residual ha solucionado en gran parte el problema de la contaminación industrial y doméstica, con el desarrollo de nuevas técnicas que buscan obtener un mayor nivel de calidad y máximos rendimientos en los efluentes que se vierten a los cuerpos receptores, reduciendo el impacto y reduciendo el riesgo para humanos y animales.

⁵ MIRANDA, Giovanna. *Evaluación del tratamiento de aguas residuales para disminuir la contaminación de efluentes generados por la empresa de lácteos "MARLEN" ubicada en el cantón Tisaleo provincia de Tungurahua*. <https://1library.co/document/zggrdj7z-evaluacion-tratamiento-residuales-disminuir-contaminacion-efluentes-generados-tungurahua.html>. Consulta: 25 de junio de 2018.

Sin embargo, se debe tomar en cuenta que estos procesos generan residuos sólidos llamados lodos residuales. Su gestión adecuada es indispensable para que los esfuerzos por tratar el agua no sean inútiles. La calidad física y química de los residuos obtenidos debe ser tomada en cuenta para gestionar una depuración adecuada.

1.2.1. Cantidad y características

Los lodos son compuestos que se retiraron del agua residual en los distintos procesos de descontaminación del agua residual. Estos resultan de la acumulación consecutiva de tres fenómenos asociados:

- Generación de microorganismos.
- Acumulación de materias minerales en suspensión.
- Acumulación de materias orgánicas no biodegradables en las condiciones de trabajo.

Los lodos se caracterizan por tener la capacidad de acumular humedad en su materia, para el retiro del agua es necesario la aplicación de una fuerza externa para ser eliminada.

1.2.2. Tratamiento, transporte y vertido

Los lodos residuales deben ser tratados de forma adecuada para no crear un impacto negativo en el ambiente donde se liberan, para esto existen distintos métodos. Debe transportarse en contenedores donde no se expongan al ambiente y su vertido debe ser de una manera adecuada.

- Tratamiento

El tratamiento posterior a la captación de lodos es de suma importancia, debe darse un manejo adecuado para evitar serios problemas para una planta que está proyectada y construida correctamente. Cuando el sistema de eliminación de sólidos no es el adecuado, estos tienden a concentrarse en las unidades de tratamiento y el rendimiento final de la eliminación comienza a bajar. Por lo tanto, un correcto sistema de eliminación de lodos aumenta el rendimiento total de la operación. Los métodos más comunes para tratar los lodos son:

- Digestión anaerobia y aerobia

Este es el método más utilizado, consiste en el transporte de los lodos del tratamiento primario, secundario y otros, hacia un digestor cerrado y estanco, donde se descomponen en un medio anaeróbico. La descomposición depende de varios factores como la siembra adecuada, el potencial de hidrogeno, composición de los sólidos, temperatura y grado de mezcla de los sólidos nuevos con el material ya digerido. El propósito de este proceso es generar un secado fácil y liberar parte de la materia orgánica como gas. Con este proceso se puede reducir la cantidad de los lodos a la mitad de lo que era inicialmente.

- Filtración por vacío

Este método es utilizado para reducir la cantidad de humedad, reduciendo el volumen de sólidos para su eliminación final. Este método es utilizado en plantas que generan gran cantidad de lodos. Consiste en una unidad por vacío clásica, un cilindro poroso, sobre una serie de celdas, gira sobre un eje con una velocidad aproximada de 0,4 metros por minuto, depositando en su parte inferior a lodos que se secan. Cuando se hace el vacío en el interior del cilindro se recoge

una capa de lodos al pasar la superficie del cilindro a través del depósito, incrementándose así el vacío. Cuando el cilindro cumple $\frac{3}{4}$ de vuelta, se produce una presión en las celdas adecuadas lo que ayuda a que unas espátulas desprendan la fina capa de lodos. La velocidad de filtración se maneja entre 9 y 49 kilogramos de lodo por hora.

- Elutriación

Proceso que consiste en el lavado de los lodos con agua y un coagulante, este proceso no mejora las características de deshidratación, pero reduce el consumo de químico coagulante. Por lo general, el secado de lodos con consistencia gelatinosa es difícil, en estos casos se recomienda este tratamiento previo a la filtración por vacío.

- Lechos de secado

Estos eliminan la humedad, disminuyendo su volumen y cambiando las características fisicoquímicas. Estos se realizan con dimensiones de 30 a 60 centímetros de arena gruesa, carbón preparado, arena lavada, y grava gruesa. Bajo estos componentes se encuentran los lechos, estos tienen una inclinación hasta finalizar en juntas abiertas con drenajes. El agua que se obtiene debe ser analizada y necesita ser tratada.

- Combustión húmeda

En este proceso la materia orgánica de los lodos se oxida aprovechando su poder calorífico, la oxidación en este estado es más efectiva que si se evapora primero el agua. Este proceso depende de la cantidad de aire que se introduce al reactor. El objetivo de este proceso es obtener el máximo de calorías de la

materia orgánica de un efluente por kilogramo de aire a presión introducido en el reactor que funciona a elevada temperatura. Los productos finales de este proceso son vapor, nitrógeno, CO₂ y ceniza.

- Transporte

Los lodos deben transportarse en cisternas o tanques sellados que no permitan la evacuación de residuos al ambiente. Dependiendo de los tipos y niveles de contaminación que presenten los lodos, se debe identificar el contenedor. Es necesario contar con un plan de mitigación en caso de derrames de grandes proporciones.

- Vertido

Dentro de los principales métodos para el vertido de lodos al ambiente se encuentra:

- Lagunas de lodos

Estos son depósitos naturales o artificiales de tierra, utilizados para tratar lodos. Estas se utilizan cuando la economía y situación en cuanto a tierra y dinero aconseja su utilización.

Se debe considerar la naturaleza y topografía de la zona de disposición, proximidad a zonas habitadas, condiciones meteorológicas (en especial si existen fuertes vientos), condiciones del suelo, composición química de los lodos (toxicidad y malos olores), proximidad de abastecimiento de aguas superficiales y subterráneas, privacidad del terreno, entre otros.

- Vertido en el mar

Este sistema es utilizado cuando no se cuenta con el suficiente espacio y el punto de tratamiento esta próximo al océano. Los lodos sin tratar, precipitados, digeridos o filtrados se bombean a un barco. Luego este se adentra en el mar y libera los lodos bajo la superficie del mar. Estos lodos no deben contener grasas y aceites, productos decolorantes, con olor, gran contenido de coliformes, materias toxicas ni ser propensos a crear depósitos o bancos.

- Relleno de terreno

Este proceso se realiza con lodos de manera metódica y planificada. Es el siguiente proceso para eliminar materia que ya se encuentra en estado sólidos. Las zonas para el vertido deben ser de fácil acceso, muy lejos de zonas de abastecimiento de agua potable y zonas de recreo, siempre considerando que el terreno no debe ser demasiado caro y que los residuos deben estar arriba del nivel del mar.

1.3. Tratamiento de agua residual

El tratamiento de agua residual es un proceso que debe seleccionarse tomando en cuenta el caudal de ingreso, los factores de carga del agua residual y el espacio disponible a ocupar. En base a estos parámetros se seleccionan los métodos para tratar las características físicas, químicas y biológicas.

1.3.1. Funcionamiento

Un sistema de tratamiento de agua residual funciona mediante las siguientes etapas:

- Pretratamiento

Busca preparar el agua residual según los requisitos del siguiente proceso, eliminando por medios mecánicos o físicos, sólidos de gran tamaño, aceites y grasas. El no realizar este proceso puede generar problemas más adelante, como obstrucción o daño a bombas y tuberías. Las operaciones por realizar dependen de la procedencia del agua, la calidad, el tipo de tratamiento posterior y la importancia de la instalación. Las operaciones que se realizan son:

- Desbaste

El objetivo de este método es impedir el paso de materiales que dañen u obstruyan el proceso de tratamiento residual, ayuda a separar y evacuar los materiales voluminosos. Este método consiste en hacer pasar el agua residual a través de rejillas con agujeros de diferentes dimensiones y clasificarse entre desbaste fino y grueso. En este método se puede aplicar una limpieza manual y automática a las rejillas para retirar los sólidos atrapados.

- Tamizado

Consiste en una filtración sobre soporte delgado, su fin es el mismo que el método de desbaste, es decir, la eliminación de materia que por su tamaño pueda interferir en los tratamientos posteriores. Los tamices suelen ir precedidos por un desbaste de paso de barrotes. Dentro de los tipos de tamices existen los de tipo rotativo, de autolimpieza estáticos o rotativos, y deslizantes de tipo vertical y continuo.

- Dilaceración

Su objetivo es triturar la materia sólida que arrastra el agua. Esta operación no mejora la calidad del agua residual ya que la materia triturada no es separada, sino que se reincorporan al circuito y pasan a los demás tratamientos, este paso no se suele utilizar, a no ser que no haya desbaste, con lo que si es necesario incluirlo en el diseño y funcionamiento de la planta.

- Desarenado

El objetivo de esta operación es eliminar todas aquellas partículas de granulometría superior a 200 micras, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión, y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguiente.

- Retiro de grasa y aceite

Este proceso se realiza para eliminar grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes más ligeros que el agua, que reducen la eficacia de los procesos posteriores. La eliminación es mediante insuflación de aire, para desemulsionar las grasas y mejorar la flotabilidad.

- Pre-aireación

Este proceso busca mejorar la tratabilidad del agua y se utiliza para el control de olores, mejorar la separación de las grasas, favorecer la floculación de sólidos, mantener el oxígeno en la decantación aun a bajos caudales, e incrementar la eliminación de demanda bioquímica de oxígeno. Los métodos

principales para para este tratamiento son los difusores porosos y no porosos, y la aireación mecánica por medio de turbinas y aireadores de superficie.

- Tratamiento fisicoquímico

En el agua residual existen diversas sustancias sólidas que constituye la parte más importante y aparente de la contaminación. El tamaño de las partículas contaminantes presentes en el agua es muy variado, existen solidos que se pueden retirar dejando en reposo el agua y otros llamados coloidales que se adhieren a las partículas de agua y son muy estables. Mediante este tratamiento puede llegar a eliminarse del 80 al 90 por ciento de la materia total suspendida, del 40 al 70 por ciento de la demanda bioquímica de oxígeno, y del 30 al 40 por ciento de la demanda química de oxígeno. Para romper la estabilidad de las partículas coloidales y poderlas separar, es necesario realizar los siguientes procesos:

- Coagulación

La coagulación consiste en desestabilizar los coloides neutralizando sus cargas, dando lugar a la formación de un floculo o precipitado. La desestabilización se consigue añadiéndole al agua un producto electrolítico llamado coagulante que puede ser sales de hierro y aluminio. En este proceso existen una neutralización de la carga del coloide y una inmersión en un precipitado o flóculo de barrido que es cuando se forma una materia de baja solubilidad que precipita. Para que el coagulante funcione adecuadamente debe tomarse en cuenta el pH del proceso, la agitación rápida de la mezcla, y la dosificación y tipo de coagulante.

- Floculación

La floculación es la unión entre los flóculos ya formados con el fin aumentar su volumen y peso de forma que pueden decantar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta manera, se genera un incremento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los flóculos.

Existen dos mecanismos por los que las partículas entran en contacto: Por el propio movimiento de las partículas y debido al movimiento del fluido que contiene a las partículas, que induce a un movimiento de éstas.

Un floculante actúa reuniendo las partículas individuales en aglomerados, aumentando la calidad del flóculo. Existen diversos factores que influyen en la floculación de los que se puede mencionar: la coagulación previa lo más perfecta posible, agitación lenta y homogénea, temperatura del agua y las características del agua. Los floculantes según su naturaleza pueden ser minerales y orgánicos.

- Flotación por aire disuelto (FAD)

Esta última etapa tiene como finalidad el separar los sólidos precipitados en los procesos anteriores. El proceso FAD consiste en la creación de microburbujas de aire en el seno del agua residual, las microburbujas se unen a las partículas a eliminar formando agregados capaces de flotar por tener una densidad inferior a la del agua. La creación de burbujas en el proceso FAD, se realiza a través de la presurización de un flujo de agua, disolución de aire en dicho flujo, sobresaturándolo, respecto a condiciones normales de presión y la

despresurización a presión atmosférica, con lo que el exceso disuelto por encima del de saturación se libera en forma de microburbujas.

- Procesos biológicos

Luego del tratamiento primario donde se eliminó sólidos en suspensión fácilmente sedimentables y algo de materia orgánica. La materia orgánica que queda disuelta y en suspensión, como el resto de las partículas sólidas que no se han eliminado en los tratamientos anteriores, son eliminadas mediante los denominados procesos biológicos de depuración aerobia, que constituyen los tratamientos secundarios.

Estos procesos son aquellos realizados por determinado grupo de microorganismos (principalmente bacterias y protozoos), que, en presencia de oxígeno, actúan sobre la materia orgánica e inorgánica disuelta, suspendida y coloidal existente en el agua residual, transformándola en gases y materia celular, que puede separarse fácilmente mediante sedimentación. La unión de materia orgánica, bacterias y sustancias minerales forma los flóculos y el conjunto de flóculos es lo que todos conocen como fango biológico.

Los objetivos que persigue este tipo de tratamiento son la transformación de la materia orgánica, la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables. En ocasiones también se persigue la eliminación de nitrógeno y de fósforo. Por último, se consigue la disminución de los microorganismos patógenos y fecales que habitan el agua residual.

Existen dos tipos de tratamientos biológicos aerobios: el proceso de cultivo en suspensión (fangos activados), y el proceso de cultivo fijo (lechos bacterianos).

1.3.2. Organización

La caracterización del agua residual, el tamaño de caudal, tipo de proceso en el que utilizó y área disponible para ubicar la planta de tratamiento definirán la organización del tratamiento de agua residual.

Por lo general para tratar grandes caudales se utilizan métodos eficaces de tratamiento primario y para tratar pequeños caudales se busca que el sistema se acople al tratamiento secundario o biológico.

1.4. Monitoreo para controlar la calidad del proceso

El monitoreo de las características del agua residual en cada etapa del proceso es vital, este se realiza mediante el análisis de muestras que puedan dar una noción de la eficacia de cada proceso en tiempo real para detectar posibles cambios por fallas en alguna operación para su corrección pertinente.

El seguimiento es un proceso de recolección de muestras de manera continua en un lapso de tiempo, análisis de las muestras con dispositivos de campo y registro de las lecturas.

1.4.1. Consideraciones básicas

Algo importante en el monitoreo es tener claro los puntos donde se realizarán muestreos y se tomarán lecturas, tener un plano donde se indique el punto de muestreo resulta muy relevante, el análisis que se debe realizar a la muestra, siendo una característica física, química o biológica.

Durante la recolección se pueden presentar los siguientes problemas:

- No respetar el punto determinado para el muestreo
- No emplear la técnica apropiada para extraer la muestra
- Utilizar un dispositivo no calibrado

1.4.2. Puntos de muestreo

Los puntos principales de muestreo son en el ingreso de agua residual que proviene de los procesos productivos y el agua de descarga al cuerpo receptor. Existen puntos intermedios que ayudan a verificar el funcionamiento de los equipos y son esenciales en el tratamiento residual.

1.4.3. Precauciones durante el muestreo

El muestreo debe realizarse de manera tal que al analizar el agua residual se obtenga información representativa sobre su composición. Debe evitarse todo tipo de contaminación secundaria de la muestra.

Si se debe llevar las muestras al laboratorio, lo correcto es refrigerar la muestra de inmediato y trasladarla lo más rápido posible. Esta refrigeración inmediata es particularmente importante para los análisis microbiológicos de las aguas residuales y para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno o la demanda química de oxígeno.

1.4.4. Toma de muestras

El monitoreo es necesario para definir las eficiencias de remoción y el funcionamiento de los equipos de tratamiento residual. Una interpretación adecuada se obtiene cuando se cuenta con varias lecturas.

La toma de muestras se debe realizar siguiendo un procedimiento adecuado. Según el tipo de muestreo se puede recolectar: Muestras simples, muestras compuestas. Al tomar una muestra se debe tener en cuenta el lugar donde se realizó, el tiempo adecuado para tomar la muestra, la frecuencia de repetición y la técnica para la recolección de muestras.

1.5. Mantenimiento industrial

Es la operación dirigida a evaluar el estado de instalaciones o equipos, y definir las acciones preventivas y correctivas necesarias para aumentar su vida útil. Al aplicar estas técnicas se aumenta la calidad y productividad, disminuyen los paros, y reducen considerablemente las horas extras por pago de jornadas extraordinarias de producción y mantenimiento.

1.5.1. Características

Un programa de mantenimiento constituye una sistematización de todas las actividades y estrategias destinadas a prevenir daños y mantener los procesos funcionales. El objetivo básico es garantizar la disponibilidad de equipos e instalaciones para atender el programa de producción. Para implementar un programa de mantenimiento se debe contar con el registro de los equipos, descripción de las actividades de mantenimiento y acoplar estas al plan estratégico de la organización.

1.5.2. Tipos de mantenimiento

El mantenimiento industrial se enfoca en tres tipos básicos de mantenimiento aplicados en diferentes circunstancias: mantenimiento preventivo,

correctivo y predictivo. Se busca incrementar los mantenimientos preventivos y predictivos para aumentar la productividad.

1.5.2.1. Mantenimiento preventivo

Este tipo de mantenimiento se basa en una rutina de inspecciones periódicas a los equipos e instalaciones, estas inspecciones se definen mediante las indicaciones del fabricante, las condiciones de trabajo, el uso de los equipos, el tipo de grasas y aceites utilizados, entre otros.

Un mantenimiento preventivo adecuado es vital para un funcionamiento adecuado de los equipos y brinda la información necesaria para realizar un mantenimiento correctivo programado antes del fallo de los equipos.

1.5.2.2. Mantenimiento correctivo

Se define al tipo de mantenimiento que se realiza cuando se presentan averías o fallas. De no atender estas averías los equipos o instalaciones detendrán la producción hasta que estas se corrijan.

El mantenimiento correctivo puede ser programado, que se realiza luego de detectar la falla, pero esta no detiene el proceso productivo, se debe contar con el personal, tiempo, herramientas, información y materiales para corregirla. También puede ser no programado que se realiza cuando la reparación debe ser inmediata.

1.5.2.3. Mantenimiento predictivo

Este tipo de mantenimiento es una técnica que busca predecir el estado de un equipo por medio de variables físicas o químicas. Las pruebas pueden ser mediciones de temperatura, vibración, espesor, densidad de grasas o aceites. Consiste en la aplicación de un estímulo externo que demuestre que las condiciones del equipo son críticas y debe aplicarse un mantenimiento correctivo programado.

1.5.3. Medidores industriales

Los procesos industriales exigen un control y seguimiento de magnitudes como la presión, temperatura, pH, conductividad, caudal, entre otros. Los medidores industriales son herramientas de la instrumentación industrial encargadas de transformar un fenómeno en algo medible para el control de procesos productivos.

Los medidores industriales forman parte de un sistema de control el cual se compone de una unidad de medida, una unidad de control, un elemento final de control y el propio proceso. Este conjunto de unidades forma un bucle o lazo de control que puede ser abierto o cerrado.

1.5.3.1. Tipos de medidores industriales

Los instrumentos de medición y control son relativamente complejos y su función puede comprenderse bien si están incluidos dentro de la clasificación adecuada. Los instrumentos se pueden clasificar por la relación del instrumento con su función y también con la variable que controla en el proceso.

Por la relación del instrumento con su función se clasifican como ciegos, indicadores, registradores, transmisores, transductores, convertidores, receptores, controladores y elementos finales de control.

De acuerdo con la función de la variable del proceso, los instrumentos se dividen en instrumentos de caudal, nivel, presión, temperatura, densidad y peso específico, humedad y punto de rocío, viscosidad, posición, velocidad, pH, conductividad, frecuencia, fuerza, turbidez, entre otros.

Para identificar los instrumentos de medición y control se emplean distintas normas que cada industria ha realizado según sus necesidades, las entidades que normalizan los instrumentos de control son la ISA (Instrument Society of America), y la DIN de origen alemana, quienes han establecido sistemas de designación (código y símbolos), de aplicación a distintas industrias.

1.5.3.2. Calibraciones

Los instrumentos industriales pueden medir, transmitir y controlar las variables que intervienen en un proceso. En la realización de estas funciones existe una relación entre la variable de entrada y la de salida del instrumento. En la práctica, los instrumentos de medición y control indican unos valores inexactos que se apartan, en mayor o menor grado, del valor real de la señal de entrada.

El valor verdadero no se puede establecer, sólo sus límites que entran dentro de la exactitud del instrumento. De este modo, un instrumento estará descalibrado si al compararlo, con otro instrumento patrón, la lectura se aparta del valor de la exactitud dado por el fabricante.

2. DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y LEGAL

Para operar la empresa avícola debe cumplir con lo normado en la legislación nacional respecto al tratamiento de aguas residuales. Es por ello que para este trabajo de graduación se revisó la documentación con que se cuenta para auditorias gubernamentales y se explica en este capítulo.

2.1. Legislación nacional

Debido al deterioro de los cuerpos de agua en el país por la sobre explotación de este recurso en el año 2006 se aprobó el acuerdo gubernativo 236-2006 en el cual se emite el Reglamento de las descargas y reúso de las aguas residuales y de la disposición de lodos.

El reglamento tiene como objeto establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse en la descarga y reúso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos. Lo anterior para mejorar las características del agua residual, logrando establecer un proceso continuo que permita:

- Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana.
- Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización.
- Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.
- Establecer los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico.

El reglamento es aplicado a:

- Los entes generadores de aguas residuales.
- Las personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público.
- Las personas que produzcan aguas residuales para reúso.
- Las personas que reúsen parcial o totalmente aguas residuales.
- Las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

Esta es la única regulación vigente sobre usos del agua en el país, es de gran importancia para la recuperación de cuerpos receptores. Existe carencia en cuanto a obtención y explotación de este recurso, cobrando relevancia en la actualidad.

2.2. Legislación internacional

El problema con los vertidos a los cuerpos de agua ha sido relevante al rededor del mundo y cada país ha implementado sus leyes y reglamentos para el control del agua residual y lodos.

A nivel internacional la ISO desarrollo la normativa 14046:2014 que incluye los principios, requisitos y directrices para la gestión de la huella hídrica, con lo cual además de controlar el vertido de agua residual se estudia el ciclo del agua mediante la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV). Esta normativa ha sido adoptada oficialmente en Europa.

Se aplica a productos, servicios, y organizaciones. Es una herramienta útil para la comprensión de los impactos ambientales relacionados con el agua para

propósitos internos. Va a permitir mejorar la gestión de los riesgos del agua frente a su escasez como recurso y mejorar la reputación social y ambiental de la empresa.

2.3. Estudio técnico

La empresa avícola cuenta con su estudio técnico realizado en enero del año 2020, se encuentra disponible para auditorias del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), cumpliendo con la vigencia solicitada. El estudio cuenta con la siguiente información:

- Nombre de la empresa avícola.
- Datos del gerente y subgerente de planta que son los mediadores con las autoridades ambientales.
- Descripción de las actividades realizadas por la empresa avícola en las cuales se indica la recepción de aves, beneficiado, procesamiento de pollo para el consumo humano en productos congelados y frescos, preparación y procesamiento de pollo en especialidades.
- La descarga de aguas residuales se realiza en horarios de 24 horas, coincidiendo con el desarrollo de sus operaciones.
- Una descripción del tratamiento residual indicando que es un proceso de filtración, homogenización, coagulación a base de cloruro férrico y floculación con un polímero natural, un sistema de retiro de solidos por medio de flotación por aire disuelto (FAD), y sistemas de cloración y nivelación de pH.

- Documentos de caracterización de aguas residuales de descarga y lodos.
- Se define la descarga al alcantarillado municipal de Villa Nueva, Guatemala.
- Las aguas residuales de tipo ordinario generadas, desfoga en una fosa séptica, de donde es extraído por una empresa que es responsable de su recolección, transporte y tratamiento.

En el estudio técnico de la empresa avícola se cuenta con planos de localización y ubicación con coordenadas geográficas de su ubicación y de los dispositivos de descarga para la toma de muestras tanto del afluente como del efluente.

2.4. Caracterización de afluente-efluente

La caracterización del agua avícola consiste en un monitoreo durante 24 horas, consiste en la toma de 24 muestras del agua para analizar los niveles de los parámetros establecidos por ley en un laboratorio certificado por el Ministerio de Economía.

- Afluente

Es el agua utilizada en el proceso avícola a su ingreso a la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR), se caracteriza cada año con fin de comprobar los niveles de contaminación, la empresa no está obligada a realizarlo pues no está sujeta a la Deducción Especial de Parámetros que menciona el reglamento nacional en su artículo No. 23.

El afluente avícola presenta altas cargas orgánicas, así como sólidos sedimentables, en suspensión, y niveles altos de coliformes fecales. Por otro lado, no se localiza presencia de metales. Los niveles de DBO y DQO no cumplen con parámetros de ley y debido a eso el agua debe ser tratada.

- Efluente

El efluente o agua de descarga luego de ser tratada en la PTAR, se caracteriza cada seis meses según lo establecido en ley. Se cuenta con registro de las caracterizaciones desde el 2008 dividido en 2 fases:

- En la primera se contaba con un sistema FAD con una eficiencia de reducción del 30 % (Medida como reducción es la demanda bioquímica de oxígeno), con lo que se logró cumplir con la etapa uno del reglamento hasta el primero de mayo de dos mil quince.
- En la segunda etapa y actual, se instaló un sistema FAD sofisticado, presenta una eficiencia del 75 % (Medida como reducción es la demanda bioquímica de oxígeno), con este sistema se logra cumplir con el reglamento de la etapa 2 a la 3 hasta el primero de mayo de dos mil veinticuatro.

La empresa ha cumplido en tiempo con las fechas especificadas en el reglamento, situación demostrada en las visitas realizadas por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

2.4.1. Parámetros de medición

En esta sección se realiza un análisis de los parámetros actuales del agua residual de la planta avícola, los procesos productivos que generan dichas variaciones, y su cumplimiento con los límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales al alcantarillado público que se muestran en la tabla III.

Tabla III. Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales al alcantarillado público

Parámetros	Dimensional es	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			2 de mayo de 2011	2 de mayo de 2015	2 de mayo de 2020	2 de mayo de 2024
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1 500	200	100	60	
Materia flotante	Ausencia/ presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3 500	1 500	700	400	200
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1 400	180	150	80	40
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	40	20	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9

Continuación de la tabla III.

Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 ⁸	< 1x10 ⁶	< 1x10 ⁵	<1x10 ⁴	< 1x10 ⁴
Arsénico	Miligramos por litro	1,00	0,50	0,10	0,10	0,10
Cadmio	Miligramos por litro	1,00	0,40	0,10	0,10	0,10
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1,00	0,50	0,10	0,10	0,10
Mercurio	Miligramos por litro	0,10	0,10	0,02	0,02	0,01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1 500	1 300	1 000	750	500
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	3 500	1 500	750	450	200

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Acuerdo Gubernativo 236-2006 Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.* Guatemala, 2006. p. 13.

- pH

El agua recolectada de la planta avícola mantiene pH neutro a su ingreso a la PTAR, al momento de tratar el agua residual para lograr la floculación con cloruro férrico se obtiene un pH cercano a 5, algo que debe ser corregido al

momento de la descarga al alcantarillado público, mediante la dosificación de soda caustica como alcalino, para mantener los parámetros superiores a 6 a 7 pH como se muestra en la tabla IV.

- Temperatura

La temperatura del agua descarga al alcantarillado público se mantiene entre los 25 °C a 30 °C, cumpliendo el reglamento en todas sus etapas. Las temperaturas que se manejan en el proceso avícola son variables, en el proceso inicial de matanza se manejan temperaturas cercanas a 52 °C, siendo la temperatura más alta del proceso avícola, luego en la evisceración se manejan temperaturas desde los 16 °C hasta los 0 °C en el tranque de enfriamiento previo a ser clasificado para producto fresco o congelado.

- Grasas y aceites

La generación de grasas y aceites al procesar aves constituye uno de los parámetros más críticos a controlar, estos afectan el intercambio de oxígeno entre los cuerpos de agua y la atmósfera, el agua avícola sin tratar puede tener concentraciones de hasta 500 ppm. Actualmente la PTAR presenta en el agua de descarga 0 ppm dada la eficiencia del proceso como se muestra en la tabla IV.

- Material flotante

El material flotante que llega a la PTAR es en gran parte plumas de aves, plásticos y etiquetas. Estos se recolectan en los filtros estáticos y dinámicos de la planta al inicio del tratamiento para evitar dañar las bombas en los siguientes procesos. Al final no se presenta ningún tipo de material flotante.

- Sólidos suspendidos totales

Este parámetro mide la concentración de los sólidos insolubles que están presentes en las descargas de aguas residuales. La caracterización de los mismos es fundamental para establecer el tipo de tratamiento que se requiere para la remoción de la carga contaminante presente. En el ETAR se consignó una concentración que oscila entre los 10 a 80 mg/litro como se muestra en la tabla IV.

- Sólidos sedimentables

Este parámetro no está regulado en el Reglamento. Sin embargo, se evalúa en los análisis semestrales. Su determinación es necesaria para garantizar que el sistema primario está funcionando adecuadamente. La remoción de sólidos que se presenta actualmente es alta dada la eficiencia del tanque de flotación que los elimina en su totalidad.

- Nitrógeno total

La concentración de nitrógeno dado el tratamiento que se da a las aguas residuales es muy baja, esto se logra con la correcta separación de los lodos por flotación y sedimentación. Previo al tratamiento actual los valores de nitrógeno oscilaban de 95 ppm a 233 ppm. Actualmente se mantiene de 8 ppm a 35 ppm en el efluente, si se realiza un control adecuado la eficiencia puede llegar a ser de 96 %.

- Fósforo total

Los resultados obtenidos para este parámetro cumplen con las etapas del Reglamento, este nutriente que en afluente se ha encontrado en concentraciones de 23 ppm a 30,3 ppm se reduce en gran medida al ser tratada, descargando al alcantarillado de 0,7 ppm a 4,1 ppm.

- Metales pesados y cianuro

La empresa ha incluido la evaluación de metales pesados y cianuro en la mayoría de sus caracterizaciones. Hasta la fecha, no se ha detectado la presencia de estas especies químicas en concentraciones superiores a los límites máximos permisibles establecidos en las etapas del reglamento que se muestran en la tabla IV. Por esta razón la empresa puede ser exenta de estos parámetros pues no utiliza ninguna sustancia que pueda contener metales pesados o cianuro como parte de su composición química.

- Color real

Los resultados obtenidos para este parámetro cumplen con todas las etapas del Reglamento que se muestran en la tabla IV; el agua que se descarga en el efluente es cristalina, por esta razón, este parámetro no se considera crítico.

- Coliformes fecales

Dado el proceso de matanza de aves los niveles de coliformes fecales son altos en el afluente que llega a la PTAR, estos residuos fecales son arrastrados durante la limpieza de jaulas, proceso de matanza y eviscerado de aves en gran medida.

Para reducir la cantidad de coliformes fecales se colocaron estaciones de desinfección en los siguientes lugares:

- Pileta de captación de agua en planta de beneficio
- Balsa de homogenización de la PTAR
- Pileta de descarga de la PTAR

Las estaciones consisten en recipientes de cloro que son dosificados mediante una o varias bombas, con esto se reduce la cantidad de coliformes fecales en el efluente.

El agua del rastro avícola sin tratar presenta concentraciones de $2,40 \times 10^5$ NMP /100 mL a $2,70 \times 10^7$ NMP /100 mL. Al ser tratada logra niveles de $1,1 \times 10^3$ NMP /100 mL a $7,0 \times 10^3$ NMP /100 mL, cumpliendo con el reglamento en todas sus etapas.

Tabla IV. Análisis de parámetros

Parámetro	Dimensionales de medición	Límite máximo al 2 de mayo de 2,020	Límite máximo al 2 de mayo de 2024	Parámetros actuales de la PTAR del Rastro Avícola	Análisis de parámetros
Temperatura	Grados Celsius	< 40	< 40	20 a 30	Se cumple con los máximos permisibles en todas las etapas.
Grasas y aceites	mg/L	60	0	0	Se cumple con los máximos permisibles en todas las etapas.
Material flotante	Ausencia/ Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Se cumple con los máximos permisibles en todas las etapas.
Sólidos suspendidos	mg/L	400	200	10 a 80	Se cumple con los máximos permisibles en todas las etapas.
Nitrógeno total	mg/L	80	40	8 a 35	Se cumple con los máximos permisibles en todas las etapas.
Fósforo total	mg/L	20	10	0,7 a 4,1	Se cumple con los máximos permisibles en todas las etapas.
Potencial de hidrógeno	pH	6 a 9	6 a 9	6 a 7	Se cumple con los máximos permisibles en todas las etapas.

Continuación de la tabla IV.

Coliformes fecales	Número más probable en 100 mL	<1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	1,1x10 ³ a 7,0x10 ³	Se cumple con los máximos permisibles en todas las etapas.
Arsénico	mg/L	0,10	0,10	0	Se cumple con los máximos permisibles en todas las etapas.
Cadmio	mg/L	0,10	0,10	0	Se cumple con los máximos permisibles en todas las etapas.
Cianuro total	mg/L	1	1	0	Se cumple con los máximos permisibles en todas las etapas.
Cobre	mg/L	3	3	0	Se cumple con los máximos permisibles en todas las etapas.
Cromo hexavalente	mg/L	0,10	0,10	0	Se cumple con los máximos permisibles en todas las etapas.
Mercurio	mg/L	0,02	0,01	0	Se cumple con los máximos permisibles en todas las etapas.
Níquel	mg/L	2	2	0	Se cumple con los máximos permisibles en todas las etapas.
Plomo	mg/L	0,40	0,40	0	Se cumple con los máximos permisibles en todas las etapas.
Zinc	mg/L	10	10	0	Se cumple con los máximos permisibles en todas las etapas.
Color	Unidad platino cobalto	750	500	0 a 200	Se cumple con los máximos permisibles en todas las etapas.

Fuente: elaboración propia.

2.4.2. Modelo de reducción progresiva de cargas de DBO

Aunque el volumen de la descarga es mayor a los 1 500 m³/día, la carga orgánica presente en el efluente de la empresa no excede el límite permisible de 3 000 kilogramos DB0⁵/día, que establece el Reglamento. Por esta razón, no aplica el modelo de reducción progresiva de DB0⁵. Para el caso del parámetro de calidad asociado (concentración de DB0⁵), tampoco aplica el modelo en cuestión pues la descarga se está realizando al alcantarillado público, en este caso se debe cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en el Artículo No.27 del Reglamento.

2.4.3. Modelo de parámetro de calidad asociado de DBO

Por la naturaleza orgánica de los contaminantes que están presentes en el afluente de aguas residuales, la demanda bioquímica de oxígeno se constituye en su principal indicador de contaminación. Este parámetro mide la cantidad de oxígeno necesario para degradar la materia orgánica biodegradable que está presente en el efluente. Valores altos evidencian que la degradación de los residuos orgánicos presentes requiere de niveles de oxígeno mayores a los que están disueltos normalmente en los cuerpos de agua.

Por esta razón, se produce el agotamiento del oxígeno, lo que ocasiona la emisión de malos olores, y la muerte de los organismos que lo requieren para su desarrollo. El afluente de la planta avícola es muy variable, pero se mantiene en niveles de 3 000 ppm a 1 500 ppm. La PTAR logra reducir en gran manera la emisión de DBO, logrando niveles en el efluente de 235 ppm a 356 ppm, con esto se cumple hasta la etapa 3 del Reglamento como se muestra en la tabla V.

Tabla V. **Parámetro de calidad asociado de demanda bioquímica de oxígeno**

Parámetro	Dimensional	Valor inicial	Fecha máxima de cumplimiento			
			2 de mayo de 2,011	2 de mayo de 2,015	2 de mayo de 2,020	2 de mayo de 2,024
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	3 500	1 500	750	450	200

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Acuerdo Gubernativo 236-2006 Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*

Guatemala, 2006. p. 16.

Para el caso del parámetro de calidad asociado (concentración de DB0⁵), el modelo en cuestión no aplica pues la descarga se realiza al alcantarillado público, por lo que debe cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo No.27 del Reglamento que se muestran en la tabla V.

2.5. Caracterización de lodos

La empresa avícola cumple con la normativa de caracterización de lodos generados por el tratamiento de agua residual de tipo especial realizando una evaluación cada seis meses. Estos lodos residuales presentan altas cargas orgánicas y de coliformes fecales, bajos o nulos niveles de arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo.

2.5.1. Tecnología y sistema de tratamiento de lodos

El tratamiento actual inicio su funcionamiento en el año 2018, mediante la reducción de humedad a los lodos por medio de un decantador centrífugo, este separa lo líquido de lo sólido, el equipo es un recipiente cilíndrico horizontal equipado con un transportador de tornillo. Los lodos son alimentados al centro del decantador y acelerados suavemente en su interior.

La fuerza centrífuga que resulta de la rotación causa sedimentación de los sólidos en la pared del equipo. El transportador de tornillo envía los sólidos hacia un extremo para su descarga, y los líquidos se dirigen hacia el otro extremo ya clarificados.

2.5.2. Disposición final

La disposición final de los lodos es algo fundamental en el tratamiento residual, se debe dar un destino adecuado para que estos no contaminen nuevamente fuentes de agua naturales, generando cargas de contaminación a ríos, lagos y aguas subterráneas. La empresa avícola entrega sus lodos residuales a un tercero con licencia ambiental de categoría "B1", él se encarga de la disposición final.

2.5.2.1. Cumplimiento con parámetros de disposición final

Los lodos residuales cumplen con los parámetros de disposición final respecto a las características fisicoquímicas no excediendo los límites permitidos.

Pueden ser aplicados al suelo bajo el parámetro de dos mil kilogramos por hectárea al año, actualmente son enviados hacia rellenos sanitarios. No es necesario su confinamiento, ni son del tipo bioinfeccioso.

2.5.2.2. Comercialización y transporte final de lodos

Los lodos avícolas al cumplir con los parámetros pueden ser comercializados libremente. Siempre deben mantenerse en recipientes de almacenamiento evitando el contacto directo con operarios y transportistas.

2.5.2.3. Contratación de servicios de extracción, manejo y disposición final de lodos

La empresa avícola al contratar los servicios de extracción y transporte de lodos residuales para su disposición final queda exenta de responsabilidad. Aun así, debe dar el seguimiento adecuado para que los desechos tengan una disposición adecuada.

2.6. Seguimiento y evaluación

El agua residual avícola debe tener un seguimiento y evaluación de sus parámetros de forma continua. Para esto existe un operario que monitorea las etapas del proceso diariamente, y un laboratorio certificado por la OGA del Ministerio de Economía muestrea el afluente.

2.6.1. Frecuencia de muestreos

Los muestreos diarios se realizan cada hora, tomando lecturas en el campo, se valida cada etapa del proceso:

- Agua de descarga
- Agua tratada en el tanque de FAD
- Agua en el Floclador

Semestralmente se realiza un análisis compuesto donde se toman 24 muestras simples cada hora del agua residual, este análisis comprende características físicas, químicas y biológicas del agua residual.

Los lodos residuales son caracterizados dos veces al año para verificar su contenido. Los resultados obtenidos se encuentran en el estudio técnico a disposición del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), este documento es resguardado por la Planta Avícola y no puede ser consultado en el MARN.

2.6.2. Medición de caudal

Para determinar las cargas es necesario contar con tamaño del caudal que se descarga al alcantarillado público, para esto la empresa ha instalado dos dispositivos. Uno es un tubo de PVC de 12 pulgadas necesario en las mediciones del equipo de muestreo compuesto y un vertedero de tipo trapezoidal para su medición de forma manual en el campo.

2.6.3. Dispositivos para toma de muestras

Para la toma de muestras, la planta de tratamiento cuenta con una plataforma cerca de la tubería de descarga para realizar una recolección de muestras simples o compuestas de forma segura y de dispositivos para la toma del caudal de forma simple y confiable.

2.6.4. Métodos de análisis y muestreo

Las muestras compuestas o puntuales de aguas residuales y muestra de lodos, se analizan en un laboratorio certificado por la Oficina Guatemalteca de Acreditación con validez a nivel internacional. Cumpliendo con los métodos de análisis y muestreo establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normas. Estos se encuentran firmados y sellados por un profesional colegiado activo especializado en la materia.

2.7. Prohibiciones

La empresa avícola cumple con las prohibiciones evitando las siguientes actividades:

- Disponer sus aguas residuales de tipo ordinario a flor de tierra, en canales abiertos o alcantarillados pluviales.
- Descargar directamente aguas residuales no tratadas al manto freático.
- La utilización de aguas ajenas con el propósito de diluir para alcanzar alguna meta del reglamento.
- Utilización de agua residual en zonas protegidas; en zonas núcleo de los sitios Ramsar; en áreas donde se ponga en riesgo la biodiversidad, la salud y seguridad humana; y uso con fines recreacionales.
- La disposición de forma final de lodos en alcantarillados o cuerpos de agua superficiales o subterráneos.
- Disponer de lodos como abono para cultivos comestibles que se pueden comer crudos o precocidos, hortalizas, y frutas, sin haberse efectuado una estabilización y desinfección adecuada. Estos lodos deben tener ausencia de metales pesados y no exceder las dos mil unidades formadoras de colonia por kilogramo de coliformes fecales.

3. EVALUACIÓN A LA PLANTA DE TRATAMIENTO

3.1. Agua residual avícola

El agua residual de la planta avícola contiene diferentes agentes contaminantes que pueden ser físicos, químicos y biológicos. La cantidad de contaminantes puede variar dependiendo de cómo se lleve a cabo cada etapa del proceso de sacrificio de las aves.

3.1.1. Comportamiento

El comportamiento del agua que llega a la PTAR va de la mano con el proceso productivo de la planta avícola, a continuación, se describe el comportamiento:

- Proceso de matanza: se realiza en dos turnos de trabajo.
 - De 8:00 a 16:00 horas
 - De 22:00 a 5:00 horas.

- Proceso de limpieza industrial: se realiza en dos turnos de trabajo.
 - De 16:00 a 22 horas.
 - De 5:00 a 8:00 horas

3.1.1.1. Físico-químico

El agua es de vital importancia en cada etapa de transformación de aves vivas hasta su presentación en producto fresco y congelado. La contaminación inicia en el área de Matanza donde se obtiene de las aves sangre, plumas y lodos; en el área de Evisceración se extraen las vísceras y menudos; y en las demás áreas se obtienen subproductos de las aves que se mezclan con el agua en procesos como el de clasificado, cocinado, horneado, empacado, entre otros.

Por todo esto, el agua de la planta avícola tiene un aspecto turbio con altas cargas orgánicas, presencia de grasas y aceites.

3.1.1.2. Biológico

El factor biológico es algo fundamental en el proceso de matanza, este se presenta al momento de limpiar las aves, pues en sus intestinos proliferan los virus y bacterias.

Los coliformes fecales son bacterias que se originan en los intestinos de animales de sangre caliente, en la empresa avícola se trata de controlar la carga de estas bacterias en dos etapas:

- Mediante el correcto ayuno de las aves a sacrificar, que debe ser de 8 a 12 horas, para lograr esto se realiza una correcta planeación del traslado de las granjas ubicadas en la Costa Sur, hacia el Rastro ubicado en Villa Nueva. Al cumplir con el ayuno se reduce la cantidad de heces en los intestinos de las aves.

- La correcta desinfección del agua utilizada en la planta avícola, esta es clorada antes de ser utilizada en las cisternas de alimentación y luego de ser utilizada en la pileta de captación de agua de matanza y evisceración. Al desinfectar el agua en la pileta de captación se reduce considerablemente la presencia de coliformes fecales que llegan a la PTAR.

3.1.2. Impacto en el tratamiento

Cada etapa del proceso avícola genera contaminación al agua utilizada, los niveles de contaminación determinan la cantidad de químicos que deben ser utilizados para tratar el agua. Es de vital importancia hacer uso adecuado del agua y reducir la cantidad de contaminación que se mezcla.

Las etapas en las que se debe reducir los niveles de contaminación y consumo de agua son los siguientes:

- Recepción de aves y enganchado: en el lavado de vehículos y pisos utilizando agua a alta presión, en el lavado de jaulas utilizando agua caliente para mejorar la eficacia del equipo.
- Sacrificio: se debe recolectar de la mejor manera la sangre y evitar a toda costa que esta mezcle con el agua residual.
- Secado de plumas y tripas: evitar que los subproductos lleguen a la pileta de recolección y validar que se desinfecte correctamente.

- Evisceración: el uso adecuado de agua en cada máquina es importante, se debe validar que las boquillas funcionen correctamente y que no se presenten fugas.
- Limpieza industrial: hacer uso adecuada del agua en la limpieza de las maquinarias y equipos de la planta avícola, utilizando agua a alta presión.

3.2. Funcionamiento del tratamiento residual

Posterior a las actividades de producción y limpieza donde se utiliza agua, esta es recolectada y transportada a la PTAR para brindar el tratamiento como parte del cumplimiento de las políticas de la empresa.

3.2.1. Sistema de recolección de agua residual

La empresa actualmente cuenta un sistema para la recolección del agua residual que se utiliza a lo largo del proceso productivo. Este sistema se divide en dos:

- Agua residual de la Planta Beneficio que llega a la pileta de recolección y luego es transportada a la Balsa de Homogenización.
- Agua residual de la Planta Especialidades que llega directamente a la Balsa de Homogenización.

Al realizar la evaluación al sistema de recolección se evidencia una estructura en buen estado que recorre todas las instalaciones productivas de la empresa para realizar la recolección adecuada, evitando mezclarse con aguas negras y pluviales.

3.2.2. Sistema de captación de sólidos

El agua residual atraviesa filtros estáticos que retienen plumas y vísceras de gran tamaño, hasta llegar a un pozo, esta agua se bombea hacia un filtro rotativo que retira partículas mayores a 1,00 mm de diámetro, y por último el agua filtrada se descarga por gravedad a la Balsa de Homogenización.

3.2.3. Balsa de homogenización

Este dispositivo es el responsable de lograr una mezcla homogénea de las aguas residuales para estandarizar el tratamiento. Esto se realiza por medio de un agitador de alta velocidad que evita la formación de capas de sedimentos, emisión de olores y formación de espuma.

La balsa de homogenización activa el tratamiento de agua residual por medio de un sensor de nivel que al llegar al nivel máximo inicia el tratamiento y al llegar al nivel mínimo detiene el proceso.

3.2.4. Floculador

El floculador es un dispositivo que separa del agua residual la materia emulsionada y coloidal, aglomerándola en flóculos grandes. El floculador consiste en un conjunto de tubos con distintos diámetros y codos a 180 grados que provocan turbidez, cuenta con tres puntos de inyección de reactivos y cinco válvulas de muestreo.

Los reactivos que se dosifican son los siguientes:

- Cloruro Férrico como coagulante

- Soda Caustica para nivelar el pH del caudal
- Polímero Natural para unir la materia y generar flóculos estables

En el tratamiento actual no se dosifica Soda Caustica debido a que al realizarlo no se forman los flóculos. En consecuencia, el agua que llega a la balsa de aireación mantiene un pH cercano a 5,50.

El floculador debe ser controlado mediante las siguientes actividades:

- Validar que los tanques de cloruro férrico y soda caustica se mantengan llenos, y que los mismos sean manipulados con todas las medidas de seguridad necesarias.
- Verificar que la preparación del floculante se realice de la manera correcta, respetando la dosis de polímero natural en polvo y los litros de agua al realizar la mezcla.
- Regular las dosificaciones de químicos suministradas al floculador, y dejarlas registradas.
- Tomar muestras de forma continua en el floculador para validar que los químicos están cumpliendo su objetivo, en caso de no ser satisfactorias se debe variar las dosificaciones.

3.2.5. Balsa de aireación y captación de lodos

Luego de la formación de los flóculos, el agua residual es depositada en una balsa de aireación, también llamada balsa de flotación por aire disuelto (FAD), esta consiste en un tanque de acero inoxidable al que se le inyectan

millones de microburbujas que se adhieren a los flóculos forzándolos a ascender a la superficie.

Esta acumulación de partículas se considera lodos residuales, y son extraídas mediante un sistema de paletas que descargan en un tanque previo a ser enviadas a la zona de secado. Al fondo de la balsa se encuentra un tornillo sin fin, que retira los lodos que sedimentaron. El agua libre de lodos se extrae de la balsa por medio un rebalse y es enviada hacia la pileta de descarga final.

La balsa de aireación debe ser controlada mediante las siguientes actividades:

- Verificar que la formación de microburbujas es la adecuada para garantizar que los lodos ascenderán a la superficie, esto se realiza analizando una muestra de agua residual del tanque de flotación por aire disuelto, en caso de que la muestra no sea satisfactoria se debe revisar el sistema de saturación de aire que funciona mediante aire comprimido a 6 bar.
- Controlar que la velocidad de las paletas es la adecuada para retirar los lodos residuales, en caso de ser muy lenta los lodos llegaran a la pileta de descarga, y al ser muy rápida los flóculos no se aglomeraran correctamente.

3.2.6. Pileta de descarga final

Este dispositivo consiste en varios tanques que el agua atraviesa por medio de rebalse, en este se termina de preparar el agua que va a ser descargada al alcantarillado municipal. Se realiza un proceso de desinfección y nivelación de pH.

La pileta de descarga final debe ser controlada mediante las siguientes actividades:

- Validar que los tanques de cloro y soda caustica se mantengan llenos, y que los mismos sean manipulados con todas las medidas de seguridad necesarias.
- Regular la cantidad de químicos suministrados por las bombas dosificadoras.
- Toma de lectura del caudal que se está descargando al alcantarillado municipal.
- Analizar muestras de agua en el punto de descarga o efluente, validando que se cumple con el nivel de pH, turbidez y ppm de Cloro.

Mediante el tratamiento descrito en este capítulo se logra cumplir con los parámetros estipulados en el acuerdo 236-2006 hasta el año 2024.

3.2.7. Sistema de secado de lodos

Los lodos captados en la balsa de aireación son depositados en una pileta de lodos húmedos, luego mediante una bomba de tornillo son transportados al decantador centrífugo a una altura de 4 metros, este dispositivo se encarga de retirar la humedad a los lodos.

Estos son depositados por gravedad en toneles a la espera del camión recolector para ser tratados por un tercero. El agua es enviada a la balsa de homogenización para iniciar nuevamente el proceso.

El sistema de secado de lodos debe ser controlado mediante las siguientes actividades:

- Verificar que la preparación y dosificación de floculante se realice de la manera correcta, respetando la dosis de polímero natural en polvo y los litros de agua al realizar la mezcla.
- Controlar los ciclos de operación del decantador centrífugo, dejando constancia de los parámetros de vibración y temperatura.
- Monitorear el llenado de los toneles de lodos secos, evitando derrames.

3.3. Actividades de operación

El Departamento de Mantenimiento Industrial es el encargado del funcionamiento y operación de la planta de tratamiento de agua residual. Cuenta con un operario y un supervisor por cada uno de los tres turnos de trabajo.

Verifican, controlan y mantienen la planta trabajando en óptimas condiciones para cumplir con las regulaciones legales de la descarga de agua residual las 24 horas del día. Las actividades se dividen de la siguiente manera:

- Nivelación de químicos (Cloruro Férrico, Soda Caustica, Hipoclorito de Sodio, Polímero Natural).
- Toma de muestras del agua residual (en el floculador, balsa de aireación, pileta de descarga final).

- Corrección de parámetros a equipos (Dosificación de químicos, velocidad de motores, presión neumática).
- Limpieza (de equipos e instalaciones de la PTAR).
- Mantenimiento en base al programa de mantenimiento preventivo y correctivo de las instalaciones.

3.4. Monitoreo y control del proceso

Monitorear consiste en validar que cada dispositivo cumple con su función de la mejor manera. Esta validación se realiza con las siguientes actividades:

- Revisión visual para determinar que los dispositivos están funcionando correctamente.
- Revisión al panel de control, en el que se valida que no existan alarmas activas en los dispositivos.
- Muestreo del proceso, se extrae y analiza muestras de agua residual, validando que cumple con lo requerido.

En base a lo monitoreado se toma la decisión de controlar el proceso, esto lo realiza el operario mediante las siguientes actividades:

- Modificar las dosificaciones de químicos (reducir o aumentar).
- Variar las velocidades de los dispositivos (ejemplo: aumentar la velocidad de las paletas en la balsa de aireación).

- Corregir las alarmas de los dispositivos (ejemplo: limpiar los sensores de nivel por presencia de suciedad).

3.5. Mantenimiento de equipos

Todos los equipos utilizados a lo largo del tratamiento de agua residual deben ser controlados y brindárseles el mantenimiento preventivo correcto para garantizar sus prestaciones y evitar con esto problemas a los sistemas de recolección que son de vital importancia para las actividades de la empresa.

Los mantenimientos a los equipos de la PTAR están programados en un ERP en el módulo de mantenimiento bajo el siguiente esquema de Órdenes de Mantenimiento:

- Se genera una orden por equipo.
- La orden tiene una frecuencia programada (diaria, semanal, mensual, entre otros).
- Se describe el tipo de actividad (mecánica, eléctrica, neumática, limpieza industrial).
- Se desglosan las tareas de cada actividad (ejemplos: medición de amperaje, lubricación de rodamientos, limpieza de filtro, entre otros).
- La orden debe ser realizada por un operario o mecánico capacitado, y revisada por un supervisor.

- Luego de realizada la actividad se debe cerrar en el sistema para generar la próxima orden de Mantenimiento según la frecuencia programada.

3.5.1. Equipo mecánico

Las actividades de mantenimiento que se brindan al equipo mecánico es realizado según la programación del departamento de Mantenimiento, este es el encargo de realizar las operaciones necesarias para asegurar la prestación de servicios del equipo mecánico que conforman la planta de tratamiento de agua residuales.

El equipo mecánico que conforma la planta de tratamiento de aguas residuales se presenta a continuación:

Tabla VI. **Mantenimiento al equipo mecánico**

Equipo	Actividades	Frecuencia
Filtro estático	Limpieza de filtros	Semanal
Filtro rotativo	Lubricación de rodamientos Limpieza de filtro	Semanal Diaria
Balsa de homogenización	Revisión de agitador de alta velocidad	Trimestral
Balsa de aireación	Lubricación de rodamientos Revisión General del equipo	Semanal Trimestral
Sistema de secado de lodos	Lubricación de rodamientos Revisión general del Decantador Centrifugo.	Semanal Trimestral

Fuente: elaboración propia.

3.5.2. Equipo de bombeo

Las bombas de la PTAR son utilizadas para el transporte de aguas residuales, lodos y la dosificación de químicos. Son dispositivos vitales para la operación del sistema, las actividades de mantenimiento se programan según el tiempo de uso, las condiciones de trabajo y las especificaciones del fabricante. En la siguiente tabla se muestra la frecuencia del mantenimiento para cada una de las bombas que se utilizan en la PTAR:

Tabla VII. **Mantenimiento al equipo de bombeo**

Equipo	Tipo de mantenimiento	Frecuencia
Bomba sumergible alimentadora de balsa de homogenización	Preventivo, eléctrico y mecánico.	Cada 3 meses
Bomba sumergible alimentadora de floculador.	Preventivo, eléctrico y mecánico.	Cada 3 meses
Bomba dosificadora de Cloruro Férrico.	Preventivo, eléctrico y mecánico.	Cada 6 meses
Bomba dosificadora de Soda Caustica.	Preventivo, eléctrico y mecánico.	Cada 6 meses
Bombas dosificadoras de Polímero.	Preventivo eléctrico y mecánico.	Cada 6 meses
Bombas dosificadoras de Hipoclorito de Sodio.	Preventivo, eléctrico y mecánico.	Cada 6 meses
Bomba de tornillo transportadora de lodos residuales	Preventivo, eléctrico y mecánico.	Cada 3 meses

Fuente: elaboración propia.

3.5.3. Equipo de medición

El equipo de medición debe ser calibrado constantemente para evitar errores en los datos. Esto tiene como objetivo el monitorear el correcto

funcionamiento de los equipos y que las lecturas que arrojan cumplan con las normas de calidad preestablecidas.

El no contar con este tipo de calibraciones se corre el riesgo de aceptar parámetros en el agua que no se están cumpliendo realmente, la frecuencia de calibración se presenta en la siguiente tabla:

Tabla VIII. **Frecuencia de calibración de equipo de medición**

Equipo	Frecuencia de calibración
Medidor de pH	Cada 12 meses
Medidor de turbidez	Cada 12 meses
Medidor de ppm de cloro	Cada 12 meses

Fuente: elaboración propia.

3.5.4. Electroválvulas

Las electroválvulas controlan el flujo de agua residual y químicos dosificados en el sistema, controlando el cierre y apertura en automático según la programación del sistema.

El mantenimiento a este tipo de válvulas consiste en la verificación de que el flujo de líquido se detenga completamente en la posición cerrada. En caso el flujo continúe es necesario el reemplazo de la válvula para asegurar el correcto funcionamiento en el proceso.

4. ASEGURAMIENTO DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

4.1. Funcionamiento de equipos

Para asegurar el tratamiento que brinda la planta se verificó el funcionamiento de los equipos involucrados en la recolección, tratamiento y descarga del agua. Encontrando las siguientes deficiencias o puntos de mejora:

- Balsa de homogenización: formación de lodos en el fondo de la pileta.
- Floculador: baja eficiencia en la coagulación del agua residual al dosificar Soda Caustica para neutralizar el pH.
- Balsa de aireación y captación de lodos: presencia de lodos en el agua de descarga por la acumulación de lodos en la superficie y área de Descarga.

4.1.1. Corrección al proceso

Para corregir las deficiencias en el funcionamiento de los equipos se realizaron las siguientes acciones:

- Balsa de homogenización: se instaló una bomba del antiguo sistema de tratamiento de agua residual para mejorar la mezcla de agua residual. Con esto se redujo la formación de lodos al fondo de la balsa.

- Floculador: dado que los flóculos se deforman al aplicar Soda caustica en esta etapa, se decidió eliminar su dosificación, manejando un pH cercano a 5 a la salida del floculador y en la balsa de homogenización.
- Balsa de homogenización: se determinó que la acumulación de lodos en la superficie es debido a que la capacidad de extracción de la bomba de tornillo es muy baja. Se decidió instalar una bomba de mayor capacidad existente en una de las bodegas de la compañía. Logrando eliminar este problema.
- Pileta de descarga final: se instaló un sistema de bombas para dosificar soda caustica para nivelar el pH y este sea mayor a 6, para cumplir con los parámetros. De igual forma se colocaron bombas dosificadoras de Hipoclorito de Sodio para reducir la cantidad de coliformes fecales.

Las correcciones que se mencionan fueron necesarias para que la PTAR cumpla con los parámetros del acuerdo gubernativo 236-2006 hasta el año 2024.

4.2. Monitoreo y control de parámetros

El monitoreo y control de parámetros que realizan los operarios es registrado para analizar el comportamiento de la PTAR, se definieron los siguientes formatos:

Tabla IX. **Formato diario de monitoreo y control de parámetros No.1**

Departamento de Mantenimiento
 Planta de Tratamiento de Agua Residual
 Monitoreo y Control de Parametros Diario
 Hoja de control No.1

Mes:	
Fecha:	
Semana:	

Hora	Operario	BOMBAS DE ALIMENTACION FLOCULADOR						FLOCULADOR			
		Cloruro Férrico (FeCl3)		Soda Caustica (NaOH)			Polímero	Parámetros de liquido			
		Nivel en Visor de Químico (0-600ml)	Dosificación en Perilla de Carrera (30-100)	Nivel en Visor de Químico (0-600ml)	Lectura Indicador digital (/min)	Dosificación en Perilla (30-100)	Dosificación de bomba (0-100)	pH	mV	°C Floculador	MΩ
5:00 a. m.											
6:00 a. m.											
7:00 a. m.											
8:00 a. m.											
9:00 a. m.											
10:00 a. m.											
11:00 a. m.											
12:00 p. m.											
1:00 p. m.											
2:00 p. m.											
3:00 p. m.											
4:00 p. m.											
5:00 p. m.											
6:00 p. m.											
7:00 p. m.											
8:00 p. m.											
9:00 p. m.											
10:00 p. m.											
11:00 p. m.											
12:00 a. m.											
1:00 a. m.											
2:00 a. m.											
3:00 a. m.											
4:00 a. m.											
Observaciones											

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Formato diario de monitoreo y control de parámetros No.2**

Departamento de Mantenimiento
 Planta de Tratamiento de Agua Residual
 Monitoreo y Control de Parametros Diario
 Hoja de control No.2

Mes:	
Fecha:	
Semana:	

Hora	Operario	TURBIDEZ			AGUA DE DESCARGA					AIRE FAD		Clorinadores (ml/min)				Soda Caustica (NaOH)	
		Entrada Floculador	Salida FAD	Eficiencia	Parámetros de liquido					Presión FAD	Presión del tanque	1	2	3	4	1	2
					pH	°C	TSS	CLORO (ppm)	Limite Superior								
5:00 a. m.																	
6:00 a. m.																	
7:00 a. m.																	
8:00 a. m.																	
9:00 a. m.																	
10:00 a. m.																	
11:00 a. m.																	
12:00 p. m.																	
1:00 p. m.																	
2:00 p. m.																	
3:00 p. m.																	
4:00 p. m.																	
5:00 p. m.																	
6:00 p. m.																	
7:00 p. m.																	
8:00 p. m.																	
9:00 p. m.																	
10:00 p. m.																	
11:00 p. m.																	
12:00 a. m.																	
1:00 a. m.																	
2:00 a. m.																	
3:00 a. m.																	
4:00 a. m.																	
Observaciones																	

Fuente: elaboración propia.

Por medio de esto se asegura el tratamiento de agua residual de forma diaria, bajo este monitoreo y control se mantienen los parámetros que se analizan de forma semestral por un laboratorio externo.

4.2.1. Recolección de muestras

Las muestras se recolectan a lo largo del proceso de tratamiento de agua residual de forma continua. Estas son tomadas con el fin de analizar el agua de ese punto en cuestión, validando las características físicas y químicas.

4.2.1.1. Técnicas de recolección

La técnica de recolección que utilizan los operarios es de muestreo simple en el campo, en distintas etapas del tratamiento. La muestra es representativa del proceso en el punto y momento analizado. Se deben realizar lo siguiente al tomar la muestra:

- Preparar un vaso de vidrio o plástico transparente de 1 litro, esterilizado con agua desmineralizada.
- Abrir la llave de paso en el punto de muestreo y dejar circular el agua un instante.
- Colocar el vaso para recolectar la muestra de agua residual y cerrar la llave inmediatamente.
- Llevar la muestra a la mesa de trabajo para analizar las características físicas y químicas.
- En caso la muestra no cumpla con lo requerido se debe corregir el tratamiento de agua residual y muestrear nuevamente.

4.3. Análisis de muestras

Una vez recolectada la muestra, el operario encargado mide y analiza los parámetros definidos en esa etapa. Estos se indican a continuación:

- En el ingreso al floculador se mide la turbidez, esta lectura es representativa de la carga de sólidos que se encuentran disueltos en el agua residual al ingreso del proceso. Es necesaria para determinar la dosificación adecuada de coagulante, a mayor turbidez mayor dosis de coagulante.
- En el floculador luego de aplicar Cloruro Férrico como coagulante, se debe extraer una muestra para analizar la formación de coágulos en el agua, en este análisis se visualiza la separación de los sólidos en coágulos pequeños y la clarificación del agua.
- En el floculador luego de aplicar Soda Caustica para nivelar el pH, se debe verificar que la formación de coágulos se mantiene sin ser afectada y que el pH sea mayor a 6.
- En el floculador luego de aplicar polímero natural, se valida que la materia coloidal dispersa ha formado flóculos grandes, y los mismos tienen a flotar hacia la superficie.
- En el tanque de flotación por aire disuelto, se muestrea para validar visualmente que la creación de microburbujas de aire en el agua residual es la adecuada, con lo cual se acelera el proceso para que los flóculos floten hacia la superficie.

- En la pileta de descarga, se toma una muestra para validar las ppm de cloro, el pH de descarga, la temperatura, la turbidez y se revisa visualmente si el agua es cristalina.
- Los lodos residuales también son analizados en la pileta de lodos húmedos, validando que no presenten color rojizo, esto indica que se está suministran Cloruro Férrico en exceso para clarificar el agua.

Para que estos parámetros sean confiables deben ser tomados por equipos correctamente calibrados. Estos resultados deben ser agregados al informe final de cada muestreo.

Es importante resaltar que la empresa no cuenta con un medidor de turbidez y pH, cuenta con ellos gracias a un préstamo de un proveedor de químicos. Es necesario que la empresa adquiera sus propios equipos y realizarle la calibración adecuada para asegurar la lectura de los parámetros.

4.4. Actividades de operación

Dentro de las actividades de la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales se deben considerar aspectos importantes como la manipulación de instrumentos, dosificación de químicos y la limpieza industrial, a continuación, se realiza el análisis para el aseguramiento de estas actividades.

4.4.1. Manipulación de instrumentos

Cada vez que se toma una muestra del agua residual se debe considerar la manipulación de los instrumentos de medición. Esto es debido a que cualquier

daño sobre estos puede ocasionar variaciones en la medida de los parámetros que genere desviaciones.

El operario encargado de tomar la muestra cuenta con un kit de equipos necesarios para la medición de parámetros, los equipos son sacados de sus respectivos estuches al momento de realizar la toma de muestra y medición.

4.4.2. Dosificación de químicos

Los químicos suministrados al proceso son los siguientes:

- Hipoclorito de Sodio (NaClO), como desinfectante para reducir la presencia de coliformes fecales.
- Cloruro Férrico (FeCl_3), como coagulante para separar los lodos disueltos en el agua residual.
- Soda Caustica (NaOH), sustancia alcalina encargada de nivelar el pH para neutralizar lo ácido del coagulante.
- Polímero Natural para unir la materia y formar flóculos estables.

La dosificación de todos estos químicos la determina el nivel de turbidez al inicio del proceso, y el comportamiento de las muestras recolectadas a lo largo del proceso, con lo cual se garantiza el tratamiento de agua residual.

4.4.3. Limpieza industrial

Como se mencionó anteriormente la limpieza industrial se realiza dos veces al día dentro de la planta avícola con grupos de trabajo especializado en el tema. Dicho personal también presta apoyo en la limpieza de la PTAR con un operario en cada turno de trabajo, realizando las siguientes actividades:

- Limpieza de pisos de la PTAR, evitando la acumulación de suciedad.
- Preparación de lodos residuales en toneles para su extracción y limpieza de derrames en el suelo.
- Limpieza de filtros estáticos y filtro rotativo.

Los días domingo se detiene el proceso de matanza de 12 pm a 10 pm para realizar trabajos de mantenimiento a la maquinaria del rastro avícola, momento que es aprovechado para que un grupo de limpieza industrial desinfecte y limpie a profundidad la maquinaria de la PTAR, eliminando la suciedad a piezas de difícil acceso como las paletas del tanque de aireación.

4.5. Mantenimiento a equipos

Los equipos deben recibir su respectivo mantenimiento para garantizar la prestación de sus servicios y que estos no perjudiquen las actividades de la planta de tratamiento.

4.5.1. Mantenimiento preventivo

La PTAR cuenta con un sistema robusto de mantenimiento preventivo, que se revisó y validó mediante las siguientes actividades:

- Información técnica de la maquinaria y equipos en el ERP, comprobando que los datos se encuentren completos y correctos.
- Revisión de las órdenes de trabajo, validando que las actividades y frecuencias programadas sean las adecuadas.

Luego de la revisión se determinó que el equipo bomba de tornillo para la extracción de lodos no había sido ingresado al plan de mantenimiento preventivo, el cual fue grabado en el ERP.

4.5.2. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se hace presente en el momento que alguno de los equipos o maquinaria presenta alguna falla y es necesario repararla a la brevedad posible, evitando con esto los paros al tratamiento de agua residual.

Para atender las fallas el supervisor genera una orden de mantenimiento correctivo en el ERP, para poder:

- Asignar un técnico según la especialidad (eléctrica o mecánica)
- Retirar insumos y repuesto de bodega

Al finalizar el mantenimiento el supervisor debe cerrar la orden dejando constancia del procedimiento de reparación, con esto se da trazabilidad a todas las reparaciones realizadas y se facilita la información a futuro.

4.5.3. Plan estratégico de mantenimiento

El plan estratégico del Departamento de Mantenimiento concuerda con el de la Empresa Avícola que busca ser líder en la comercialización de productos frescos y congelados en Centroamérica y El Caribe, siendo el responsable del mantenimiento de equipos e instalaciones para garantizar la continuidad de la producción avícola bajo los más altos estándares de calidad.

- **Misión**

Garantizar la continuidad de la producción avícola bajo los más altos estándares de calidad por medio de la correcta implementación de los planes de mantenimiento preventivo y responder de forma ágil a las necesidades derivadas de las fallas imprevistas en los equipos.

4.5.4. Repuestos

La planta de tratamiento es un sistema robusto y moderno con maquinaria y equipo de muy buena calidad. A continuación, se mencionan los repuestos indispensables para la operación:

Tabla XI. **Listado de repuestos de la PTAR**

Maquinaria	Repuestos
Balsa de homogenización	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba sumergible de alimentación. • Motor del agitador de alta velocidad. • Sensor de Nivel.
Balsa de aireación	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba de tornillo. • Cojinetes de paletas. • Cojinetes de tornillo sin fin. • Mangueras neumáticas. • Sensor de Nivel de lodos. • Electroválvulas.
Filtro rotativo	<ul style="list-style-type: none"> • Motor eléctrico. • Cojinetes.
Pileta de descarga final	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba dosificadora de Cloro. • Bomba dosificadora de Soda Caustica. • Mangueras.
Sistema de secado de lodos.	<ul style="list-style-type: none"> • Motor eléctrico. • Cojinetes. • Mangueras.
Panel eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • Paro de emergencia. • Pantalla.
Floculador	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba sumergible de alimentación. • Bomba dosificadora de Cloruro Férrico. • Bomba dosificadora de Soda Caustica. • Bomba dosificadora de Polímero. • Mangueras hidráulicas. • Electroválvulas.

Fuente: elaboración propia.

4.6. Plan operativo de seguridad industrial

Dentro de las actividades de operación y control de la PTAR de la empresa, es necesario implementar un plan de seguridad industrial para reducir el riesgo de accidentes laborales.

Los empleados deben estar capacitados, es por esto que se propone un plan operativo de seguridad industrial que apoye en la gestión de la planta y reduzca los riesgos laborales.

Un plan de seguridad industrial considera la capacitación de los empleados en temas relacionados a la minimización de riesgos laborales y de cómo estas acciones deben ser supervisadas para garantizar el cumplimiento del plan. Por otra parte, se presenta un plan para afrontar emergencias y el equipo de protección personal que debe portar cada uno de los colaboradores involucrado en las actividades de funcionamiento de la planta de tratamiento de agua residuales.

Se debe considerar principalmente el manejo de químicos peligrosos como la soda caustica y cloruro férrico, estos son almacenados en toneles, pero deben ser trasladados a un tanque de mayor capacidad mediante un proceso de bombeo manual, esta actividad es riesgosa.

4.6.1. Capacitación

Para realizar la propuesta de un plan de capacitación es necesario considerar los temas importantes y relacionados con la seguridad de los colaboradores del área de la planta de tratamiento de aguas residuales.

El listado de temas para impartir las capacitaciones a los empleados es el siguiente:

- Condiciones inseguras de trabajo
- Riesgos a la salud por la manipulación de aguas y lodos residuales
- Actos inseguros en el tratamiento de aguas residuales
- Uso adecuado del equipo de protección personal
- Atención a emergencias laborales en una Planta Avícola

4.6.2. Inspecciones de seguridad

Posterior a las capacitaciones que se brindan a los colaboradores en temas de seguridad ocupacional y reducción de riesgos. La implementación de las acciones preventivas de accidentes laborales debe ser verificada a lo largo del tiempo para garantizar la implementación del plan de seguridad industrial.

Las inspecciones de seguridad las llevará a cabo el Departamento de Seguridad Industrial de la planta y por medio del siguiente listado de verificación:

4.6.3. Plan para afrontar emergencias

Este plan contempla las acciones que deben tomarse ante situaciones de emergencia, se determinan los procedimientos de acción en caso se presente una situación de riesgo. Considera primeros auxilios, extinción de incendios, atención a fugas de amoniaco y ecuación de los colaboradores. Los objetivos del plan para afrontar emergencias son los siguientes:

- **Objetivos**
 - Salvar vidas.
 - Proteger el medio ambiente y propiedad.
 - Restablecer operaciones.
 - Establecer procedimientos para guiar a los trabajadores sobre las acciones a seguir bajo situaciones de emergencia.
 - Informar de manera eficiente y oportuna a organismos gubernamentales, medios de comunicación y público en general respecto a la evolución y atención que se tiene en la emergencia.

Posteriormente se deben evaluar las situaciones de riesgo que pueden hacerse presentes en una emergencia y proponer procedimientos para guiar a los colaboradores para hacer frente a estas situaciones.

Implementar el plan que considere los procedimientos para hacer frente a situaciones de emergencia representa un costo para la empresa, sin embargo, el beneficio de este se hace evidente en el momento en que la situación de emergencia se presenta y la rápida acción por parte de los trabajadores minimiza los efectos de esta, reanudando en un menor tiempo las actividades productivas.

4.6.4. Equipo de protección personal

Como medidas de prevención para los trabajadores de la PTAR de la empresa se tiene el uso de equipo de protección personal obligatorio, en la tabla siguiente se describe este equipo.

Tabla XIII. **Equipo de protección personal para personal de la PTAR**

<p>Casco: el uso del casco de seguridad es fundamental para evitar accidentes, su objetivo es proteger la cabeza de peligros y golpes de quien lo utiliza, y es dieléctrico. El operario de la PTAR tiene asignado el color azul y el operario de limpieza industrial el color gris.</p>	
<p>Guantes de seguridad: es obligatorio el uso de guantes resistentes a químicos para manipular sustancias dentro de la PTAR, pueden ser de PVC, neopreno o Nitrilo.</p>	
<p>Gafas protectoras: se utilizan para evitar la entrada de líquidos y sólidos al ojo del trabajador que puedan dañarlo.</p>	

Continuación de la tabla XIII.

<p>Botas impermeables con punta de acero: elemento indispensable para proteger las extremidades inferiores, de fácil desinfección fabricadas de caucho y PVC, resistente a químicos.</p>	
<p>Mascarilla de protección: de uso obligatorio al ingresar al área de Químicos, dado que existe en el ambiente partículas de soda caustica que al contacto con boca, nariz y ojos causa irritación y quemaduras según la cantidad.</p>	
<p>Gabacha de protección: artículo utilizado para la protección de derrames en el cuerpo, su uso es obligatorio al manipular químicos.</p>	
<p>Overol industrial: traje indispensable para proteger el cuerpo dentro de la PTAR, desinfectado diariamente en el área de Lavandería. En caso de mancharlo con soda caustica se debe lavar la piel con abundante agua potable y cambiar de traje inmediatamente.</p>	

Fuente: elaboración propia.

4.6.5. Reglas de organización y normatividad

Como parte del aseguramiento del plan de seguridad ocupacional resulta indispensable que la empresa genere reglas y normativas para el seguimiento del plan. Estas reglas y normativas deben considerar lo establecido en las inspecciones de seguridad además de escalar la responsabilidad no solo a los operadores de la planta sino a los encargados de cada departamento de la empresa.

La seguridad es una responsabilidad en conjunto y agregarla en el normativo de la empresa generará que los empleados cumplan con las acciones preventivas y el uso adecuado del equipo de protección personal.

Este plan debe ampliarse para incluir todas las áreas de la empresa y determinar la frecuencia de inspección, aparte de ser un requisito legal para el funcionamiento de la empresa como se dispone en el Acuerdo Gubernativo 229-2014.

4.7. Costos de implementación

Los costos de implementación consideran la instalación, operaciones, capacitaciones y adquisición de equipo de laboratorio faltante para la empresa.

4.7.1. Análisis de costos de instalación

Para cuantificar los costos de instalación se presentan las herramientas necesarias para mejorar la toma de muestras, estas actualmente son propiedad de la empresa proveedora de químicos, es necesario adquirirlas.

Tabla XIV. **Costos de instalación**

Descripción	Cantidad	Total
Medidor de turbidez	1	Q 10 752,00
Medidor de pH	1	Q 1 330,00
	Total	Q 12 082,00

Fuente: elaboración propia.

4.7.2. Análisis de costos de operación

Dentro de las operaciones, se debe considerar el costo del plan de mantenimiento y los diferentes mantenimientos descritos anteriormente. Esta información se resume en la siguiente tabla:

Tabla XV. Costos de operación

Repuestos			
Descripción	Cantidad de repuestos	Costo unitario	Costo total
Bomba sumergible de alimentación.	10	Q 32 450,00	Q 324 500,00
Motor del agitador de alta velocidad.	6	Q 1 330,00	Q 7 980,00
Sensor de Nivel	6	Q 50,00	Q 300,00
Bomba dosificadora de Cloruro Férrico.	5	Q 1 500,00	Q 7 500,00
Bomba dosificador de Soda Caustica.	5	Q 1 400,00	Q 7 000,00
Bomba dosificador de Polímero.	5	Q 1 500,00	Q 7 500,00
Mangueras hidráulicas.	10	Q 100,00	Q 1 000,00
Electroválvulas.	5	Q 95,00	Q 475,00
Bomba de tornillo.	2	Q 300,00	Q 600,00
Cojinetes de paletas.	8	Q 150,00	Q 1 200,00
Cojinetes de tornillo sin fin.	8	Q 140,00	Q 1 120,00
Mangueras neumáticas.	8	Q 75,00	Q 600,00
Sensor de Nivel de lodos.	5	Q 50,00	Q 250,00
Motor eléctrico.	3	Q 450,00	Q 1 350,00
Bomba dosificadora de Cloro.	3	Q 1 300,00	Q 3 900,00
Mangueras.	10	Q 80,00	Q 800,00
Cojinetes.	10	Q 125,00	Q 1 250,00
Pantalla.	3	Q 300,00	Q 900,00
Capacitación			
Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Condiciones inseguras	1	Q 500,00	Q 500,00
Riesgos a la salud por manipulación de aguas residuales	1	Q 500,00	Q 500,00
Actos inseguros en el tratamiento de aguas residuales	1	Q 500,00	Q 500,00
Uso adecuado de EPP	1	Q 500,00	Q 500,00
Atención de emergencia laborales en la planta avícola	1	Q 500,00	Q 500,00
Equipo de protección personal			
Casco	6	Q 70,00	Q 420,00
Guantes de seguridad	6	Q 50,00	Q 300,00
Gafas protectoras	6	Q 40,00	Q 240,00
Mascarilla de protección	6	Q 25,00	Q 150,00
Botas impermeables	6	Q 150,00	Q 900,00
Gabacha de protección	6	Q 30,00	Q 180,00
Overol industrial	6	Q 200,00	Q 1 200,00
Total			Q 374 115,00

Fuente: elaboración propia.

4.7.3. Indicadores de costos de la propuesta

Para evaluar los costos de la propuesta, se plantean diferentes indicadores de rentabilidad económica, donde se pretende determinar el beneficio económico de las mejoras propuestas para asegurar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

4.7.3.1. Valor presente neto

El valor presente neto es el valor de los flujos de efectivo a lo largo de un periodo de tiempo proyectados al presente. Es decir, se debe considerar los ingresos o ahorros que se tendrán gracias a la implementación de las mejoras para la planta de tratamiento de aguas residuales. Se considera el valor del alquiler de los equipos que actualmente son brindados por la empresa proveedora para el análisis de pH y turbidez siendo estos de Q 2 500,00, por otra parte, los ahorros al no contar con hallazgos en las auditorías realizadas por el Ministerio de Ambiente Y Recursos Naturales (MARN), al no detener operaciones y realizar compras urgentes de repuestos o para evitar hallazgo son de hasta Q 60 000,00. En seguida se presenta el flujo neto de cada proyección de 5 años.

Tabla XVI. **Flujos netos de 5 años para la planta de tratamiento de aguas**

Año	Ingreso	Egreso	Flujo neto
0	Q -	Q210 137,00	(Q210 137,00)
1	Q 62 500,00	Q 2 260,00	Q60 240,00
2	Q 62 500,00	Q -	Q62 500,00
3	Q 62 500,00	Q -	Q62 500,00
4	Q 62 500,00	Q -	Q62 500,00
5	Q 62 500,00	Q -	Q62 500,00

Fuente: elaboración propia.

El valor presente neto para este flujo de efectivo con una tasa de descuento del 10 % definida por la empresa es de Q 24 732,63. Concluyendo con esto la rentabilidad de las mejoras propuestas.

4.7.3.2. Tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno es el valor de la tasa de descuento a la cual el valor presente neto es cero. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión. El cálculo de la TIR se realiza por medio de la herramienta Excel como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla XVII. **Cálculo de la TIR**

Tasa de descuento	10 %
VPN	Q 24 732,63
TIR	14 %
VPN (13 %)	Q 0,00

Fuente: elaboración propia.

4.7.3.3. Beneficio costo

El análisis de beneficio costo es útil para comparar todos los beneficios obtenidos de un proyecto respecto a los costos de poner en marcha este. Para esto se determinan los beneficios monetarios de la implementación de las mejoras y el total de egresos por llevarlas a cabo como se observa en la siguiente tabla:

Tabla XVIII. **Suma de beneficios y costos**

Año	Ingreso	Egreso
0	Q -	Q210 137,00
1	Q 62 500,00	Q 2 260,00
2	Q 62 500,00	Q -
3	Q 62 500,00	Q -
4	Q 62 500,00	Q -
5	Q 62 500,00	Q -
Total	Q312 500,00	Q212 397,00

Fuente: elaboración propia.

La relación beneficio costo queda determinada de la siguiente forma:

$$Beneficio/Costo = \frac{Q\ 312\ 500,00}{Q\ 212\ 397,00} = 1,47$$

De esta forma se obtiene que la relación beneficio costo es de 1,47, cumpliendo el criterio de aceptación al ser mayor a 1. Esto significa que por cada quetzal invertido en las mejoras propuestas para la planta de tratamiento se obtiene un beneficio de Q 0,47.

5. SEGUIMIENTO

5.1. Auditorías de parámetros según AG 236-2006

Es el Acuerdo Gubernativo 236-2006 la base legal sobre la cual se rigen las descargas y reúso de aguas residuales de una industria en Guatemala. Es debido a esto que los parámetros que en este acuerdo se especifican son los que deben ser auditados para asegurar su cumplimiento.

5.1.1. Auditorías internas

Las auditorías internas deben considerar la inspección de diferentes aspectos que son importantes para el Acuerdo Gubernativo 236-2006 por medio de una lista de inspección que llevará a cabo un equipo auditor.

El equipo auditor está conformado por lo general de 2 a 5 miembros los cuales deben cubrir las responsabilidades de:

- Auditor líder
- Equipo de auditores

El auditor líder debe ser capaz de organizar y delegar las acciones para realizar la auditoría, estas responsabilidades son:

- Establecer responsabilidades del equipo de auditores
- Definir alcance de la auditoría
- Determinar áreas y requisitos a verificar

- Programar auditoría al proceso
- Revisar resultados de la auditoría
- Realizar informe
- Comunicar resultados a la alta gerencia

Para el equipo auditor es necesario contar con la participación de colaboradores con experiencia realizando auditorías internas, ellos serán los encargados de verificar que los procesos cumplan con los requisitos definidos por el auditor líder y la alta dirección. El formato que se propone para realizar la auditoría interna es el siguiente:

Tabla XIX. **Formato de auditoría interna**

AUDITORIA INTERNA		
Auditor:		
Fecha:		
Cargo del auditado:		
Evaluación al personal		
	Si	No
Cumple con procedimientos		
Utiliza uniforme completo		
Equipo de protección completo		
Conoce los procedimientos de emergencia		
Identifica actos inseguros		
Cumplimiento del AG 236-2006		
Caracterización del afluente de aguas residuales		
Verificación de parámetros en las muestras		
Muestro realizado correctamente		
Parámetros dentro de los límites permisibles		
Trazabilidad de 6 meses con respecto a resultados		
Procedimientos de contención ante resultados fuera de control		
Control de lodos		
Mantenimiento preventivo correcto		
Total		
Firma auditor: _____		

Fuente: elaboración propia.

5.1.2. Auditorías externas

El llevar a cabo auditorías externas garantiza a la empresa el cumplimiento de procedimientos para la planta de tratamiento de aguas residuales. Esto es gracias a que estas auditorías son realizadas por personal ajeno a la organización, es poco probable que los datos de vean afectados por opiniones o relaciones personal entre el personal.

La contratación de una empresa para realizar estas auditorías debe ser por lo menos una vez al año para garantizar que los procedimientos se llevan a cabo correctamente y prevenir hallazgos en una auditoría por parte del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales que perjudique la continuidad de las operaciones productivas de la empresa.

5.2. Programa de operación y control

Como parte del seguimiento para la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa es necesario considerar las operaciones y programar los controles que se realizarán para verificar el cumplimiento de los parámetros y las mejoras propuestas.

Las auditorías internas y externas deben planificarse para no perjudicar los procesos productivos de la empresa, en seguida se presenta el cronograma de estas auditorías.

Figura 1. **Cronograma de control**

	Mes											
Actividades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Auditorías internas												
Auditorías externas												
Calibración de equipo												

Fuente: elaboración propia.

Se considera la calibración del equipo un mes antes de realizar las acciones de auditoría para garantizar la toma de datos y que no existan desviaciones en estos.

5.3. Auditorías de mantenimiento

Por otra parte, el mantenimiento es indispensable para el aseguramiento de las funciones del equipo a lo largo del año. Estas deben contemplar el mantenimiento preventivo y la disponibilidad de repuestos.

5.3.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se realiza según necesidades propias de la maquinaria o equipo y con base en el uso que se le da al mismo. Para determinar esta frecuencia de rutina de mantenimiento preventivo se analizan las recomendaciones del proveedor no solo para determinar los tiempos sino para contar con los repuestos necesarios para realizar este servicio.

Para realizar estas auditorías se propone el siguiente formato que contempla los puntos más importantes en un mantenimiento preventivo.

Tabla XX. **Formato para auditoría de mantenimiento preventivo**

AUDITORIA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
Auditor:		
Fecha:		
Cargo del auditado:		
Evaluación de documentación	Si	No
Cumple con procedimientos		
Evidencia de mantenimientos preventivos		
Formatos correctamente firmados		
Control sobre problemas en los mantenimientos preventivos		
Trazabilidad de las fallas		
Total		
Firma auditor: _____		

Fuente: elaboración propia.

5.3.2. Disponibilidad de repuestos críticos

Dentro de los almacenes es indispensables contar con los repuestos críticos para los mantenimientos preventivos y para asegurar la continuidad de las operaciones al momento de presentarse un paro inesperado.

Los repuestos indispensables para asegurar la disponibilidad para los mantenimientos preventivos y correctivos son:

Tabla XXI. **Repuestos críticos**

Equipo	Repuesto	Cantidad
Balsa de homogenización	Bomba sumergible de alimentación	5
Floculador	Bomba dosificadora de Cloruro Férrico	5
	Bomba dosificador de Soda Caustica	5
	Bomba dosificador de Polímero	5
Filtro rotativo	Filtros estáticos, cojinetes	2
Transportador de lodos	Bandas rotatorias, tornillo sin fin	5
Secador de lodos	Filtro rotativo	5

Fuente: elaboración propia.

5.4. Reducción de consumo de agua en los procesos productivos

La generación de agua residual comienza en la recepción de aves donde los camiones y jaulas de transporte son lavadas y arrastran residuos fecales, luego, en el área de Enganchado las aves son colocadas en el transportador aéreo dónde se genera también presencia de excremento que debe ser limpiada en cada turno.

En el área de Sangrado las aves paran por un proceso de aturdimiento eléctrico para su posterior sacrificio, donde se genera el principal desecho de la empresa, siendo este la sangre de las aves. Esta sangre se recolecta y enviada a la planta de subproductos propiedad de la empresa ubicada en el municipio de Palín, Escuintla.

A pesar de la captación de sangre es inevitable que esta se mezcle con excremento y sea arrastrada por el agua residual. Antes de realizar el proceso de desplumado las aves se sumergen en agua caliente para facilitar la inserción

de las plumas de la piel, sin embargo, parte de esta agua se mezcla con el plumaje y es arrastrado por el agua de limpieza.

Durante el desplumado de las aves se generan dos descargas de aguas residuales: las que provienen de la circulación de agua en los tanques de inmersión, y la generada por los procesos diarios de limpieza, tanto de tanques, como de las áreas de trabajo. Los residuos son similares a los ya descritos: sangre que aún está presente en los cuerpos de las aves, plumas y grasas.

Posteriormente, se procede a la extracción de órganos internos donde se emplea agua para la limpieza de equipos y áreas de trabajo la cual arrastra consigo residuos de órganos, sangre y material fecal.

La empresa utiliza agua en los procesos de limpieza de áreas y equipos, áreas productivas y es de acá donde obtiene la mayor cantidad de agua residual. Las tuberías de transporte no cuentan con filtros especializados para la detención de plumas, órganos y demás contaminantes físicos ubicados en las áreas que generan estos desechos, con esta acción se facilitaría el tratamiento de agua residual brindado por la planta.

Resulta poco práctico reducir la cantidad de consumo de agua pues se debe garantizar la inocuidad de los equipos y áreas de procesamiento, se resalta la importancia de la planta de tratamientos de aguas residuales y su correcto funcionamiento.

5.5. Usos alternativos del agua residual tratada

Según regulaciones del Acuerdo Gubernativo 236-2006, el agua residual una vez tratada adecuadamente es posible emplearla en cinco diferentes tipos

de uso. Para identificar que uso puede darse al agua tratada se presentan los parámetros y límites máximos permisibles para su clasificación:

Tabla XXII. Parámetros y límites máximos permisibles para reúso de agua residual

Tipo de reúso	Demanda bioquímica de oxígeno, miligramos por litro	Coliformes fecales, número más probable por cien mililitros
I	No aplica	No aplica
II	No aplica	$< 2 \times 10^2$
III	200	No aplica
IV	No aplica	$< 1 \times 10^3$
V	200	$< 1 \times 10^3$

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Acuerdo Gubernativo 236-2006 Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.* Guatemala, 2006. p. 20.

Con esta base según los resultados del laboratorio para la determinación de los parámetros se determina que el uso al agua residual de la empresa será tipo I. Es decir, es posible darle uso en el riego agrícola general, para el riego tanto intensivo como extensivo, con el objetivo de generar un ferti-riego y para el mejoramiento y recuperación de suelos como fertilizante de plantas. Por la ubicación de la planta esta opción no es viable pues se encuentra en un área urbana donde no hay áreas verdes o áreas de cultivos.

5.6. Tratamiento de aguas negras

Todas las aguas negras generadas por la empresa, es decir, agua residual de sanitarios, lavamanos y lavaplatos, son trasladados a una fosa séptica. La

tubería para este fin es completamente independiente a las aguas residuales de la producción, no se presenta riesgo de contaminación adicional.

Posteriormente, una vez a la semana se contratan los servicios de una empresa especializada para la extracción de los desechos de la fosa séptica por medio de una cisterna para su desecho adecuado y según regulaciones legales.

Por otra parte, las aguas pluviales son recolectadas a su vez por un sistema de tuberías independiente que evita se mezclen con las demás aguas residuales de la empresa y son desechadas adecuadamente en conjunto con el agua residual ya tratada.

CONCLUSIONES

1. Luego de realizado el diagnóstico a la planta de tratamiento de aguas residuales se determinó que los parámetros que se controlan en la entrada y salida de agua son los determinados en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, siendo estos los siguientes: potencial de hidrógeno, temperatura, aceites y grasas, material flotante, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, nitrógeno, fósforo, arsénico, cadmio, cianuros, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc, color real, coliformes fecales, carga orgánica y caudal.
2. Una vez realizado el tratamiento a las aguas residuales la planta genera según la legislación nacional, agua de reúso tipo I, es decir, agua que puede ser utilizada en el riego agrícola en general, principalmente en plantaciones donde sea necesario un ferti-riego para la recuperación de suelos y como fertilizante de las plantaciones.
3. Para evaluar los parámetros en el agua residual, la empresa hace uso de una técnica de muestro a la entrada y salida del agua de la planta, este muestreo considera la toma de muestras simples para conformar una muestra compuesta, es decir, se toman 3 muestras simples para confirmar una muestra completa y debido a los horarios de actividad productiva de la empresa las muestras completas son tomadas cada hora.

4. Dentro de los procesos productivos de la empresa se contemplan actividades de limpieza de camiones, cajas y áreas de producción de las cuales el agua residual arrastra consigo restos de excremento de las aves, plumas, sangre y en algunos casos viseras y grasa por lo que el agua residual contiene no solo excremento sino fluidos de sangre que posteriormente pueden llegar a coagularse dificultando el tratamiento de agua, es por esto que es importante conocer el tipo de desechos que se están tratando en la planta para dar el correcto proceso al agua residual.

5. El proceso de funcionamiento de la planta es idóneo ya que el control de los parámetros demuestra que el agua residual luego de su paso por la planta de tratamiento es óptima para su reúso según las disposiciones legales del Acuerdo Gubernativo 236-2006, por otra parte, el mantenimiento brindado a la planta es de forma preventiva y es necesario realizar una inversión en repuestos y equipo de protección personal para asegurar el funcionamiento correcto de la planta de tratamiento y evitar con estos paros que perjudiquen la producción, por otra parte, con el tratamiento brindado actualmente a las aguas residuales la PTAR cumple con los parámetros hasta 2024, posterior a esta fecha será necesario implementar tratamientos biológicos para la reducción de carga de DBO y coliformes fecales para su funcionamiento y cumplimiento con regulaciones.

6. Se realiza una propuesta de mejoras a la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa, dentro de las cuales está el implementar un plan de seguridad industrial que minimice los riesgos laborales a los que se exponen los colaboradores, se propone también la adquisición de equipo de protección personal como apoyo a la minimización de riesgos laborales, y se identificó que para la medición de parámetros la empresa utiliza equipo de un proveedor, por lo que se considera la adquisición de este equipo para evitar el gasto por arrendamiento de herramientas, y se complementa todo esto con la propuesta de capacitaciones tanto en temas de seguridad como de concientización del uso del equipo de protección personal, para resguardar la integridad de los colaboradores.

7. Luego de tratar el agua residual de la empresa es posible reutilizarla según disposiciones legales en riego agrícola en general, esta agua puede ser vendida para obtener un retorno adicional a la inversión que no fue considerada en la evaluación económica, debido a que actualmente la empresa utiliza esta agua para su propio beneficio, y como seguimiento del cumplimiento de la legislación nacional, y las mejoras propuestas generan formatos de auditorías internas para controlar el nivel de cumplimiento de los objetivos y generar con esto, una trazabilidad para accidentes laborales o mantenimiento correctivos.

RECOMENDACIONES

1. Dar continuidad a las auditorías internas propuestas para garantizar el cumplimiento de la normativa legal del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales respecto a la planta de tratamiento para evitar multas o paros en la producción debido a incumplimientos en el control de los parámetros del agua residual.
2. Utilizar el agua residual para beneficio propio de la empresa es importante, pero debido a la cantidad de agua generada por la planta de tratamiento es posible considerar la venta para riego agrícola debido a las características físico-químicas con las que cuenta el agua tratada.
3. Capacitar a los colaboradores en la toma de muestras para agua residual generará una ventaja competitiva ya que cualquier variación en los parámetros detectada por ellos es posible corregirla lo más pronto posible.
4. Cuidar el manejo de químicos para el tratamiento del agua, en especial el manejo de soda caustica y cloruro ferroso, estos son abrasivos para la piel pueden generar quemaduras en los colaboradores.
5. Generar planes de mejora continua para la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa permitirá identificar áreas de mejora en las que es posible invertir y mejorar el proceso para dar a la empresa una ventaja competitiva y un ingreso mayor por la venta de agua tratada.

6. Supervisar el uso de equipo de protección personal y considerara capacitaciones constantes en el tema de seguridad para los colaboradores de la planta de tratamiento, así como incluir simulacros para reducir la probabilidad de accidentes y mejorar su nivel de respuesta frente a situaciones de emergencia.

7. Proporcionar trazabilidad a las mejoras propuestas por medio de las auditorías internas para identificar deficiencias en el cumplimiento de los objetivos y corregirlos a la brevedad posible para evitar accidentes laborales o cambios en los planes de mantenimiento preventivos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARRIAZA, Esdras. *Mejorar las condiciones operativas de la planta de tratamiento de aguas residuales de la cabecera municipal de cabañas, departamento de Zacapa*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017. 106 p.
2. CANO, Carlos. *Evaluación de un tratamiento de floculación-flotación para el agua residual generada en el procesamiento de subproductos avícolas*. Colombia: Trabajo de graduación de Ing. Ambiental, Universidad Libre, 2015. 125 p.
3. Concepto.de. *Concepto de PH*. [en línea]. <<https://concepto.de/ph/>>. [Consulta: 14 de junio de 2018].
4. CUBA, Francisco. *Tratamiento de aguas residuales*. [en línea]. <<https://es.scribd.com/document/47025289/Mod17>>. [Consulta: 14 de junio de 2018].
5. DE LEÓN, Ludwing. *Implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, en forma automática para minimizar el consumo de agua potable, en el área de producción de una industria panificadora*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014. 140 p.

6. FLETES, Luis. *Optimización a escala de tres floculantes polielectrolitos de naturaleza aniónica, para tratamiento primario de agua residual de un rastro avícola*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017. 98 p.
7. Madrid Blogs. *Los metales pesados en las aguas residuales*. [en línea]. <<https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/02/02/83698>> . [Consulta: 14 de junio de 2018].
8. MÉNDEZ, Alex. *Montaje de una planta de tratamiento de aguas residuales en Malher, S.A*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017. 116 p.
9. METCALF y EDDY INC. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. 3a ed. España: McGraw-Hill, 1955. 201 p.
10. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Acuerdo Gubernativo 236-2006 Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y disposición de lodos*. Guatemala: MARN, 2006. 27 p.
11. MIRANDA, Giovanna. *Evaluación del tratamiento de aguas residuales para disminuir la contaminación de efluentes generados por la empresa de lácteos "MARLEN" ubicada en el cantón Tisaleo provincia de Tungurahua*. [en línea]. <<https://1library.co/document/zggrdj7z-evaluacion-tratamiento-residuales-disminuir-contaminacion-efluentes-generados-tungurahua.html>>. [Consulta: 25 de junio de 2018].

12. RODRÍGUEZ, Antonio. *Tratamientos avanzados de aguas residuales*. Fundación para el Conocimiento, Madrid, España: CEIM, 2006. 137 p.
13. RUÍZ, Omar. *Tratamiento físico-químico de aguas residuales*. México: Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, 2000. 125 p.
14. SALAS, Gilberto. *Tratamiento de las aguas residuales de un centro de beneficio o matadero de ganado*. Perú: Facultad de Química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2008. 8 p.

