



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Gestión Industrial

**OPTIMIZACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA RESIDUAL DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE PRODUCTOS DE CUIDADO
DEL HOGAR (JABÓN), CUMPLIENDO CON EL DECRETO LEY 236-2006**

Ing. César Oswaldo García Monterroso
Asesorado por el MBA Ing. Elder Randolpho Chupina

Guatemala, octubre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA RESIDUAL DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE PRODUCTOS DE CUIDADO
DEL HOGAR (JABÓN), CUMPLIENDO CON EL DECRETO LEY 236-2006**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. CÉSAR OSWALDO GARCÍA MONTERROSO
ASESORADO POR EL MBA ING. ELDER RANDOLFO CHUPINA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN GESTIÓN INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdoba
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga.. Lesbia Magali Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

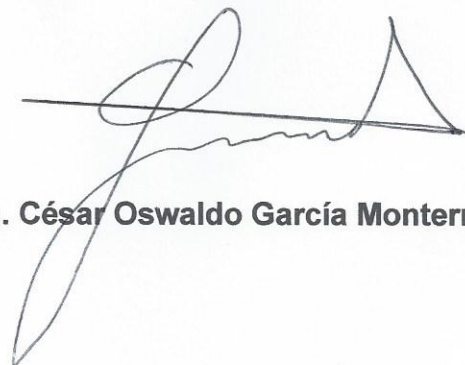
DECANO	Mtro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR(A)	Mtro. Ing. Edgar Dario Álvarez Cotí
EXAMINADOR(A)	Dra. Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola
EXAMINADOR(A)	Mtro. Vilmo Santino Ramazzini López
SECRETARIA	Mtra. Inga.. Lesbia Magali Herrera López

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:

OPTIMIZACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE PRODUCTOS DE CUIDADO DEL HOGAR (JABÓN), CUMPLIENDO CON EL DECRETO LEY 236-2006

Tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 29 de marzo de 2016.



Ing. César Oswaldo García Monterroso

El Decano 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 Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Gestión Industrial titulado: "OPTIMIZACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE PRODUCTOS DE CUIDADO DEL HOGAR (JABÓN), CUMPLIENDO CON EL DECRETO LEY 236-2006" presentado por el Ingeniero Químico César Oswaldo García Monterroso, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"

9/27/18
Maestro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, octubre de 2018.

Cc archivo/LZLA.

Ref.APT-2018-038

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado "OPTIMIZACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE PRODUCTOS DE CUIDADO DEL HOGAR (JABÓN), CUMPLIENDO CON EL DECRETO LEY 236-2006" presentado por el Ingeniero Químico César Oswaldo García Monterroso, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Gestión Industrial; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Maestro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



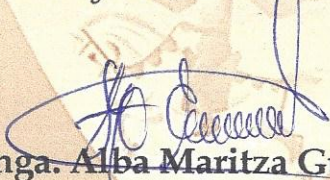
Guatemala, octubre de 2018.

Cc archivo/L.Z.L.A.

Como Coordinadora de la Maestría en Artes en Gestión Industrial doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado "OPTIMIZACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE PRODUCTOS DE CUIDADO DEL HOGAR (JABÓN), CUMPLIENDO CON EL DECRETO LEY 236-2006" presentado por el Ingeniero Químico César Oswaldo García Monterroso.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Doctora. Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola
Coordinador(a) de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, octubre de 2018.

Cc archivo/LZLA.

En mi calidad como Asesor del Ingeniero Químico César Oswaldo García Monterroso doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado "OPTIMIZACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE PRODUCTOS DE CUIDADO DEL HOGAR (JABÓN), CUMPLIENDO CON EL DECRETO LEY 236-2006" quien se encuentra en el programa de Maestría en Artes en Gestión Industrial en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"
Elder Chupina
Ingeniero Químico
Colegiado No. 1355

Maestro. Ing. Elder Randolpho Chupina
Asesor(a)
Maestro en Administración de Negocios

Guatemala, octubre de 2018.

Cc: archivo/L.Z.L.A.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios y María Santísima	Por todas sus bendiciones recibidas.
Mis padres	Dora Mercedes y Edgar Alfredo, por su incondicional apoyo, su amor, su conocimiento, sus desvelos y sus alegrías, estoy orgulloso de que sean los mejores padres.
Mis hermanos	Raúl Estuardo y Max Alfredo, por su amor fraternal.
Mi patria	Guatemala.
Universidad San Carlos	Por ser mi alma máter.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios y María Santísima

Por su iluminación en el transcurso de mi vida.

Mis padres

Por toda la paciencia, sacrificios y dedicación que tuvieron para educarme.

Mis hermanos

Por su apoyo en todo momento.

Universidad de San Carlos

Forjadora de profesionales.

Mi patria

Guatemala.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
ÍNDICE DE TABLAS	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
Descripción del problema	XV
Formulación del problema	XV
OBJETIVOS.....	XVII
Objetivo General.....	XVII
Objetivos Específicos.....	XVII
RESUMEN MARCO METODOLÓGICO	XIX
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Industria de fabricación de productos de consumo masivo para el cuidado del hogar (jabón)	1
1.2. Decreto Ley 236-2006	2
1.3. Aguas residuales	5
1.4. Análisis físico del agua	5
1.4.1. Turbiedad.....	6
1.4.2. Color	6
1.4.3. Olor.....	7
1.4.4. Temperatura	8
1.4.5. Sólidos.....	9

1.4.6.	Conductividad.....	10
1.5.	Análisis químico del agua.....	10
1.5.1.	Alcalinidad.....	12
1.5.2.	Acidez.....	12
1.5.3.	Dureza.....	12
1.6.	Cinética.....	13
1.6.1.	Tratamiento primario del agua: coagulación.....	13
1.6.2.	Mecanismos de coagulación predominante.....	14
1.6.2.1.	Coagulación por absorción.....	14
1.6.2.2.	Coagulación por barrido.....	15
1.7.	Mezcla rápida.....	15
1.8.	Mezcla rápida y mecanismos de coagulación.....	16
1.9.	Parámetros operacionales.....	17
1.10.	Tratamiento físico químico.....	18
1.11.	Coagulación.....	20
1.11.1.	Reacción de los coagulantes.....	21
1.11.2.	Cloruro férrico.....	21
1.11.3.	Sulfato de aluminio.....	22
1.12.	Floculación.....	23
1.12.1.	Floculantes.....	24
1.13.	Costos fijos y costos variables.....	24
1.13.1.	Costo Fijo.....	25
1.13.2.	Costo Variable.....	25
1.13.3.	Costo total.....	25
1.13.4.	Clasificación de los costos.....	25
1.13.5.	Rentabilidad.....	26

2.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	27
2.1.	Determinación de la combinación ideal de floculante y coagulante.....	27
2.2.	Tiempo de producción de agua tratada y concentración optima.....	28
2.3.	Optimizar costos de producción	44
3.	IMPLEMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO.....	47
3.1.	Cotización de proveedores de sulfato de aluminio	47
3.2.	Disponibilidad en base a volumen de consumo.....	48
3.3.	Programación de entregas de sulfato de aluminio.....	48
3.4.	Preparación del sulfato de aluminio.....	48
3.5.	Proceso de tratamiento de agua.....	49
3.6.	Análisis fisicoquímico interno.....	52
3.7.	Análisis fisicoquímico externo.....	52
3.8.	Re – cotización de sulfato de aluminio	53
	CONCLUSIONES	55
	RECOMENDACIONES.....	57
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
	ANEXOS.....	63
	ACUERDO GUBERNATIVO 236 – 2006	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de la planta de tratamiento de agua residual.....	2
2.	Determinación óptima de sulfato de aluminio.....	28
3.	Determinación de la concentración óptima del cloruro férrico.....	29
4.	Determinación óptima de poli cloruro de aluminio.....	30
5.	Análisis comparativo de las concentraciones de coagulante óptimo a utilizar en el agua	36
6.	Análisis comparativo del parámetro de control color	37
7.	Análisis comparativo del parámetro DBO.....	38
8.	Análisis comparativo del parámetro fosforo total.....	39
9.	Análisis comparativo de grasas y aceites.....	40
10.	Análisis comparativo de nitrógeno total.....	41
11.	Análisis comparativo de pH final del agua.....	42
12.	Análisis comparativo de sólidos suspendidos	43

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Propiedades del cloruro férrico a 40 %	22
II.	Determinación de concentración óptima de sulfato de aluminio	29
III.	Determinación de concentración óptima de cloruro férrico	30
IV.	Determinación de la concentración óptima del poli cloruro de aluminio.....	31
V.	Resultados finales del tratamiento del agua utilizando la concentración óptima	31
VI.	Resultados finales del tratamiento del agua con sulfato de aluminio utilizando la concentración óptima	32
VII.	Resultados finales del tratamiento del agua con cloruro férrico utilizando la concentración óptima	33
VIII.	Resultados finales del tratamiento del agua con sulfato de aluminio utilizando la concentración óptima	34
IX.	Análisis comparativo del agua inicial con el agua final con cada uno de coagulantes propuestos y los parámetros de ley	35
X.	Análisis de costo – beneficio de los diferentes coagulantes.....	45
XI.	Ahorro mensual y anual por utilizar sulfato de aluminio	46
XII.	Lista de proveedores que proveen sulfato de aluminio en Guatemala.....	47

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CaCO₃	Carbonato de Calcio
kg	Kilogramo
l	Litros
mg	Miligramos
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
% w	Porcentaje en peso
pH	Potencial de hidrógeno

GLOSARIO

Agua residual	Es el agua que se da como sub producto de un proceso productivo y no puede utilizarse de nuevo sin un tratamiento previo.
Alcalinidad	Es la capacidad de medir la concentración de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos por medio de la titulación con fenolftaleína, neutraliza el ácido. Es necesario titular para neutralizar el pH.
Coagulante	Son sales metálicas que reacción con la alcalinidad del agua, para producir un floculo de hidróxido del metal, de esta manera es más fácil remover los sólidos solubles y suspendidos de la solución
Floculante	Sustancia química que aglutina sólidos en suspensión, provocando su precipitación
Ingrediente activo	Está definido como el porcentaje en peso de la materia activa, que para los detergentes sintéticos, es la sal sódica del ácido sulfónico lineal, que su nombre IUPAC es Dodecil Benceno Sulfonato de Sodio, y se representa como porcentaje en peso de NaDBSS

Optimizar	Hace referencia a buscar la mejor manera de realizar una actividad, desde el punto de vista tiempo, costo y calidad.
pH	Potencial de hidrogeno, que para esta investigación se medirá específicamente en el agua tratada, también se define como Es un nivel de concentración de bases y ácidos que expresa el estado de acidez y alcalinidad de una solución
Rentabilidad	Relación existente entre los beneficios que proporcionan una determinada operación o cosa y la inversión o el esfuerzo que se ha hecho
Tenso activo	Es una sustancia que influye por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases.

RESUMEN

En Guatemala hay tres empresas que se dedican a fabricación de productos de consumo masivo para el cuidado del hogar (jabón) dos en ciudad capital y una tercera en el departamento de Escuintla, durante 2015 y 2016, se trataron las aguas residuales de esta industria con un aditivo (Poli cloruro de Aluminio), que cumple con tratar el agua, según los parámetros establecidos de ley, pero tiene un costo muy alto, en la industria existen otros aditivos que se pueden utilizar para tratar aguas residuales, en este caso se evaluaron el sulfato de aluminio y el cloruro férrico, se realizaron pruebas a nivel laboratorio y a nivel industrial, para determinar cuál es el más rentable y que cumpla con las características del agua residual, según el Decreto ley 236-2006.

Se determinó con base a los resultados obtenidos que la combinación ideal de floculante y coagulante es de 400 ppm de sulfato de aluminio y 2 ppm de floculante, 600 ppm de cloruro férrico y 2 ppm de floculante y 100 ppm de poli cloruro de aluminio y 2 ppm de floculante.

El tiempo de reacción se mantiene de 3.5 minutos con poli cloruro de aluminio con 3.5 minutos con sulfato de aluminio, asimismo se mantuvo constante a 3.5 minutos con el cloruro férrico.

Al utilizar el sulfato de aluminio se optimizan los costos de operación en un 32 % generando un ahorro en costo directo de gasto de reactivo de 221,926.66 quetzales anuales.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las industrias de fabricación de productos de consumo masivo para el cuidado del hogar, que operan en Guatemala, se obtienen aguas residuales de sus procesos productivos, lo que tiene como consecuencias de no ser tratadas correctamente, altos costos de tratamiento al no tener el coagulante y floculante ideal a las características de sus aguas, que conlleva a altos tiempos de tratamiento de agua, con dosificaciones mayores para cumplir con los parámetros que la ley establece, lo cual encarece el proceso. A continuación se presenta en detalle la especificación y delimitación del problema.

Descripción del problema

La empresa en estudio se dedica a fabricación de productos de consumo masivo para el cuidado del hogar, al terminar el proceso productivo de la fabricación, realiza la descarga de aguas residuales, ante lo cual se busca mejorar el tratamiento de aguas, con el fin de eliminar la contaminación del mismo y sean más rentables del que se tiene actualmente, con esto lo que se identifica es la necesidad de bajar los costos de tratamiento de agua y garantizar que el agua tratada cumpla con los parámetros que la ley establece, de esta forma se beneficia en tiempo, costo y calidad del agua tratada.

Formulación del problema

¿La utilización de coagulantes y floculantes idóneos para el tratamiento de agua residual en una industria manufactura de productos de cuidado del hogar, beneficiará a la optimización de costo de operación, garantizará la calidad del agua tratada y disminuye el tiempo de producción de agua tratada?

Preguntas auxiliares

- ¿Qué productos químicos se necesitan para el tratamiento de agua residual garantizará que el agua tratada cumpla con los parámetros de ley establecidos?
- ¿Cuál es la concentración ideal para que los productos químicos reduzcan el tiempo de producción de agua tratada?
- ¿Cuál es el costo óptimo de los productos químicos para la producción de agua tratada?

OBJETIVOS

Objetivo general

Optimizar los costos de operación de la planta de tratamiento de agua residual de una industria manufacturera de productos de cuidado del hogar, cumpliendo con el Decreto ley 236-2006

Objetivos específicos

- Determinar la combinación ideal de floculante y coagulante para el tratamiento para el tratamiento de agua residual y garantizar que el agua tratada cumpla con los parámetros de ley establecidos
- Mantener el tiempo de producción de agua tratada con base a la mejor combinación de floculante y coagulante, según características del agua de proceso.
- Optimizar los costos de producción del agua tratada con base a la utilización de una combinación de floculante y coagulante que garantice menor costo, y mayor calidad del agua tratada.

RESUMEN MARCO METODOLÓGICO

El diseño de la investigación es experimental, se hicieron pruebas de análisis de laboratorio con diferentes alternativas de coagulantes, basados en los resultados de análisis físicos y químicos, se determinó cuál es la mejor opción en tiempo, calidad y que sea económicamente viable.

Se utilizó el método descriptivo con enfoque mixto cuantitativo y cualitativo, porque se tomaron mediciones y se realizaron observaciones físicas del sistema, este método se utilizó para identificar la situación que se tiene en la planta de tratamiento del agua residual, únicamente pretendía medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre las variables para la optimización de los costos de operación de la planta de tratamiento de agua residual de una industria manufacturera de productos de cuidado del hogar, cumpliendo con el Decreto ley 236-2006, por lo tanto, es correlacional.

Para desarrollo de la investigación, se tomó como base el 100 % del agua residual de la planta productora de productos para consumo masivo de cuidado del hogar (jabón), ubicada en la región sur de Guatemala, en el departamento de Escuintla. Se analizaron 30 corridas con las diferentes alternativas para sustentar el trabajo estadísticamente.

Se tomó como base para la investigación documental el estado del sector, se tomó como representativa una industria ubicada en el departamento de Escuintla, con el histórico del sector de cinco años, se obtuvo una base sólida para comparar el sistema actual con el que propone la investigación, que es el tratamiento de aguas residuales.

Se realizó una investigación del estado del sector para determinar financiera y cuantitativamente los resultados del agua y el estado de la misma, se estudiaron los reportes históricos para determinar cómo se han venido tratando las aguas residuales y los resultados obtenidos.

Se comparó con el registro de los parámetros críticos citados en el Decreto Ley 236-2006 para las diferentes etapas del proceso de tratamiento de agua.

Se utilizó como técnica de investigación de campo, la determinación del aditivo químico para el tratamiento de aguas residuales y se comprará con el histórico para evidenciar las mejoras que propone el sistema, tanto en calidad, tiempos y económicas.

- Fase 1: Caracterización de las aguas residuales: en esta fase se realizará la determinación de las características físicas y químicas con las que el agua sale del proceso productivo, esta fase es clave para la determinación de los productos químicos ideales.
- Fase 2: Determinación del coagulante y floculante: con base a la caracterización del agua, se determinará qué productos químicos son los necesarios para tratar el agua y que esta cumpla con la legislación nacional de manejo y desecho de aguas.
- Fase 3: Cumplimiento de la legislación nacional: en la tercera fase se realizará de nuevo una caracterización de las aguas de salida con la nueva propuesta de tratamiento de agua, en esta fase se debe verificar que se esté cumpliendo con la legislación nacional, en este caso es el Acuerdo Gubernativo 236-2006 (ver en anexos)

- Fase 4: Optimización de costos, disminución de tiempo y mejoramiento de la calidad del agua tratada, en esta fase lo que se busca es tener los reactivos ideales a las características del agua de salida, teniendo en cuenta los costos de operación y los costos de los materiales a utilizar, buscando la relación costo beneficio, para la operación en la planta de tratamiento de agua residual.

Se realizaron análisis financieros para determinar la situación actual de sector y se realizaron proyecciones financieras para determinar las mejoras que se pretenden alcanzar con el sistema de tratamiento de aguas residuales.

Para el análisis costo – beneficio de la planta de tratamiento se tomaron los productos químicos que cumplan con los parámetros que la legislación nacional y se evaluaron en la parte de costo por galón de agua tratado, para determinar cuál es el más rentable para la empresa, con esta información se pudo determinar cuál es la mejor opción para tratar el agua, desde el punto de vista económico y desde el punto de vista físico – químico del agua tratada.

INTRODUCCIÓN

Del proceso productivo de una industria manufacturera de jabón, como sub producto se obtienen aguas residuales, lo que tiene como consecuencias de no ser tratadas correctamente, altos costos de tratamiento al no tener el coagulante y floculante ideal a las características de sus aguas, que conlleva a altos tiempos de tratamiento de agua, con dosificaciones mayores para cumplir con los parámetros que la ley establece, lo cual encarece el proceso.

Con la sistematización propuesta se hace necesaria la optimización de los costos, a través de la elección de productos químicos ideales para las aguas de desecho, se mejore el proceso de tratamiento de aguas residuales, optimizando los costos de operación, disminuyendo tiempos de trabajo y mejorando la calidad del agua tratada, para proteger los cuerpos receptores y no se contaminen.

El beneficio de realizar esta sistematización para la empresa, es que se cumplió con las regulaciones nacionales de medio ambiente, lo cual la convierte en una empresa verde, este concepto se puede utilizar para incrementar las ventas a través de mercadeo, el beneficio para la comunidad, ya que el agua de su región no es contaminada por residuos industriales y pueden disponer para su uso; además que obtuvo la optimización de los costos de operación la planta de tratamiento.

Para la elaboración del estudio se definió la utilización de fases para el análisis de los procesos de tratamiento de agua.

En la fase uno, se describe los conceptos de una industria manufacturera de jabón, así como la forma general de preparación; la fase dos describe los conceptos de plantas de tratamiento de aguas residuales en las diferentes industrias; en la fase tres, se describen los conceptos de aguas residuales, los diferentes tratamientos que se hacen en las plantas de tratamiento, así como los análisis físicos, químicos del agua para que cumpla con las Normativas de Ley de Guatemala, Reguladas por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. En la fase cuatro, se describe los mecanismos de coagulación predominante, así como los parámetros operacionales. En la fase cinco, se realiza el análisis físico químico que lleva el agua residual para cumplir con el Decreto Ley 236-2006.

La fase seis describe la forma para calcular los costos fijos, variables y totales de la operación de tratamiento de aguas residuales; este capítulo incluye el análisis de costo – beneficio y rentabilidad de los productos utilizados en el tratamiento de agua

Por último, se presentan los resultados obtenidos de la investigación donde se indica que se obtuvo una optimización de los costos de operación del 32 %, este porcentaje se obtuvo con la utilización del sulfato de aluminio a una concentración de 400 ppm, con 2 ppm de floculante, por lo cual se aconseja la sustitución del poli cloruro de aluminio por sulfato de aluminio, debido a las características de ingreso del agua a la planta de tratamiento, ya que los costos de reactivos directos se pueden optimizar en 32 %, lo que genera un ahorro directo anual de 221,926.66 quetzales y se cumple con los 22 parámetros de ley del Decreto 236-2006 para la etapa IV del año 2024.

1. MARCO TEÓRICO

El marco teórico contiene la exposición y análisis de las teorías y enfoques teóricos y conceptuales utilizados para fundamentar la investigación sobre la determinación de un floculante y coagulante ideal y rentable, en la Industria de Productos de Consumo Masivo para el cuidado del Hogar (Jabón), en Guatemala.

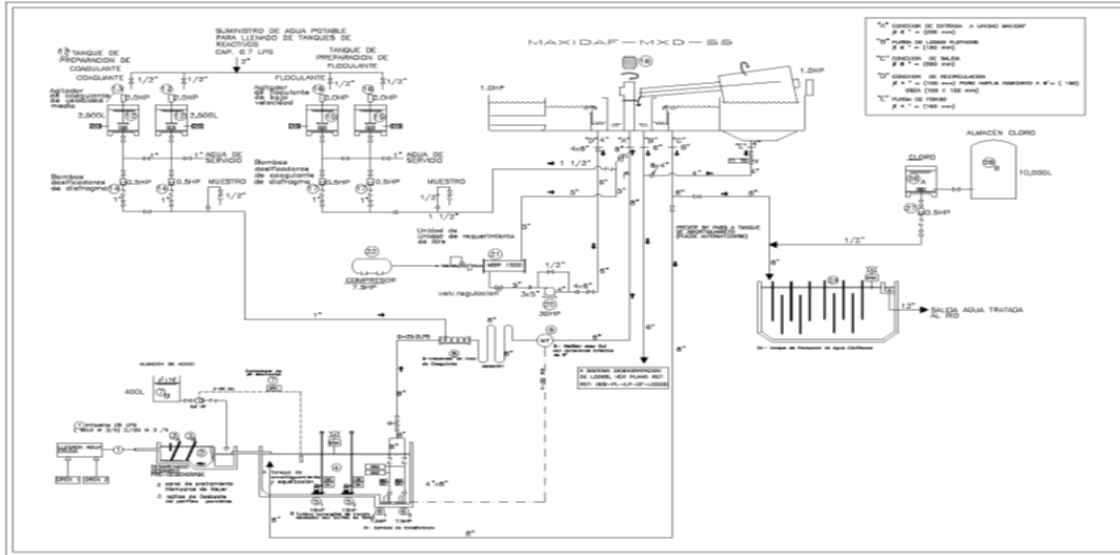
1.1. Industria de fabricación de productos de consumo masivo para el cuidado del hogar (jabón)

El nacimiento del primer jabón se asocia a los tiempos remotos de los egipcios, estos ya utilizaban un producto jabonoso que consistía en una mezcla de agua, aceite y ceras vegetales o animales, fórmula que fue utilizada también por los griegos y los romanos.

El carácter anfipático de los jabones permite que éstos interaccionen con sus regiones polares y se sumerjan en la fase acuosa, mientras que las cadenas apolares son repelidas y proyectadas hacia fuera, en el aire, donde interrelacionan con las cadenas alifáticas de sus moléculas vecinas. (García, 2014 Planta de tratamiento)

El término tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico, cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación, así como la eliminación de las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales llamadas, en el caso de las urbanas, aguas negras. (Sans, Ramos 1999).

Figura 1. Diagrama de la planta de tratamiento de agua residual



Fuente: elaboración propia.

Las aguas residuales (o servidas) pueden provenir de actividades industriales o agrícolas, instituciones, locales comerciales y del uso doméstico. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras sólo provienen del uso doméstico y las segundas corresponden a la mezcla de aguas domésticas e industriales.

1.2. Decreto Ley 236-2006

Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

Preceptúa el reglamento citado, en el considerando uno: "Que por imperativo constitucional el Estado, las municipalidades y todos los habitantes del territorio nacional, están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico, que prevenga el impacto adverso al ambiente y mantenga el equilibrio ecológico".

Está mejor enfocado a fortalecer la protección de las descargas de aguas servidas y residuales, a cuencas de ríos y focos de agua naturales, su objeto es establecer de mejor manera, los criterios que deben cumplirse para la descarga y uso de aguas residuales, para la disposición de lodos, que busca es cuerpos receptores de agua, recuperar los que están en proceso de eutrofización y promover el desarrollo hídrico, con visión de gestión integrada.

Indica el mencionado reglamento en el Artículo 5: el estudio técnico: "La persona individual jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, que viertan estas, o no sobre un cuerpo receptor alcantarillado público, tendrán la obligación de preparar un estudio avalado por técnicos en la materia, a efecto de caracterizar afluentes, descargas, aguas para reuso y lodos. La multa es de Q. 5 000,00 a Q.100 000,00 al particular que lo omita y el funcionario que lo permita, es responsable personalmente de incumplimiento de deberes, Artículo 8 de la ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente".

La ley detalla los parámetros que debe contener el estudio: estos serán evaluados por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales; otro aspecto importante, es el que se regula en el Artículo 55, prohibiciones y sanciones. Este prohíbe la disposición de aguas residuales, determina: "Se prohíbe determinadamente la disposición de aguas residuales de tipo ordinario a flor de tierra, en canales abiertos y en alcantarillado pluvial".

El Artículo 56 preceptúa: "Prohibición de descarga directa, se prohíbe descargar directamente aguas residuales no tratadas al manto freático".

El Artículo 57 del mismo reglamento indica: "Prohibición de diluir, se prohíbe el uso de aguas ajenas al ente generador, con el propósito de diluir las

aguas residuales, ninguna meta contemplada en el presente reglamento se puede alcanzar diluyendo".

Determina el Artículo 58, prohibición de reusos: "se prohíbe el reuso de aguas residuales en los siguientes casos: a) en las zonas núcleo de áreas protegidas...; y c) en otras áreas donde se ponga en riesgo la biodiversidad y la salud y la seguridad" humana. Estas son las más importantes". Acerca de las sanciones el Artículo 60 señala: "aplicación de sanciones, las infracciones a este reglamento darán lugar a la aplicación de cualesquiera de las sanciones establecidas en la ley de protección y mejoramiento del medio ambiente, según el grado de incumplimiento de límites máximos permisibles observando: a) la mayor o menor gravedad del impacto ambiental, según el tipo de incumplimiento que se trate; b) la trascendencia del perjuicio causado a la población; c) las condiciones en que se produce; d) la reincidencia del infractor. La omisión del cumplimiento de alguno de los requerimientos para el estudio técnico, dará lugar al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales para que inicie el proceso administrativo correspondiente".

Según el Artículo 31 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto No. 68-86 y sus reformas, las sanciones que impone el Consejo Nacional del Medio Ambiente -CONAMA- son de: "a) advertencia, bajo un criterio de evaluación de la magnitud del impacto ambiental; b) dar un tiempo determinado para cada caso específico; c) suspensión cuando hubiere variación negativa de los parámetros de contaminación; d) Comisión de materias primas; e) Modificación o demolición de construcciones; f) Imposición de multas para restablecer el impacto causado; g) cualquier otra medida para corregir y reparar daños causados y evitar la continuación de actos perjudiciales al medio ambiente".

Este reglamento, prevé de mejor manera las sanciones si no se observa la norma en los procesos de contaminación del agua; es acorde a la realidad nacional, es de esperar que los funcionarios encargados de ejercer dicho control, cumplan con lo dispuesto, de no ser así, es la población la que puede requerirles que cumplan con la obligación emanada por este ordenamiento jurídico. (Acuerdo Gubernativo No. 236-2006).

1.3. Aguas residuales

Los materiales inorgánicos como la arcilla, sedimentos y otros residuos se pueden eliminar por métodos mecánicos y químicos; sin embargo, si el material que debe ser eliminado es de naturaleza orgánica, el tratamiento implica usualmente actividades de microorganismos que oxidan y convierten la materia orgánica en CO₂, es por esto que el tratamiento de las aguas de desecho son procesos en los cuales los microorganismos juegan papeles cruciales. (Sans, Ramos 1999).

1.4. Análisis físico del agua

El agua pura es un líquido inodoro e insípido. Tiene un matiz azul, que sólo puede detectarse en capas de gran profundidad. A presión atmosférica (760 mm de mercurio), el punto de congelación del agua es de 0 °C y su punto de ebullición de 100 °C. El agua alcanza su densidad máxima a una temperatura de 4 °C y se expande al congelarse. Como muchos otros líquidos, el agua puede existir en estado sobre enfriado, es decir, puede permanecer en estado líquido aunque su temperatura esté por debajo de su punto de congelación; se puede enfriar fácilmente a unos -25 °C sin que se congele. Sus propiedades físicas se utilizan como patrones para definir, por ejemplo, escalas de temperatura. (Sans, Ramos 1999).

1.4.1. Turbiedad

La turbiedad es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, la turbiedad es una propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de la suspensión.

La turbiedad en el agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, etcétera. (Romero, 2004)

La determinación de la turbiedad es de gran importancia en aguas para consumo humano y en gran cantidad de industrias procesadoras de alimentos y bebidas.

Los valores de turbiedad sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentos y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua. (Romero, 2004)

1.4.2. Color

El agua pura es incolora, pero las sustancias naturales presentes en ella le proporcionan ciertas tonalidades. El agua polucionada puede contener una gran variedad de compuestos colorantes orgánicos, minerales o ambos. Los

desechos industriales dan a las aguas, algunas veces, colores característicos, pero generalmente es difícil relacionar directamente color y polución

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etcétera; en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de las partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente.

La remoción de color es una función del tratamiento de agua y se practica para hacer un agua adecuada para usos generales o industriales. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso usado para su remoción; cualquier grado de color es objetable por parte del consumidor y su remoción es, por lo tanto, objeto esencial del tratamiento. (Romero, 2004).

1.4.3. Olor

Los olores y sabores en el agua frecuentemente ocurren juntos y en general son prácticamente indistinguibles. Muchas pueden ser las causas de olores y sabores en el agua; entre las más comunes se encuentran: materia orgánica en solución, ácido sulfúrico, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles, aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, etcétera. Un observador experimentado puede detectar la presencia de sales metálicas disueltas de hierro, zinc, manganeso, cobre, potasio, y sodio, por medio del sabor; sin embargo, debe recordarse

siempre que la sensibilidad es diferente de persona a persona y que, incluso, con el mismo individuo no se obtendrán resultados consistente de un día para otro.

La determinación del olor y el sabor en el agua es útil para evaluar la calidad de la misma y su aceptabilidad por parte del consumidor, para el control de los procesos de una planta y para determinar en muchos casos la fuente de una posible contaminación. Tanto el color como el sabor pueden describirse cualitativamente y esto es muy útil especialmente en casos de reclamos por parte del consumidor; en general los olores son más fuertes a altas temperaturas. El ensayo del sabor sólo debe hacerse con muestras seguras para el consumo humano. (Martínez, 2008)

1.4.4. Temperatura

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamientos y análisis de laboratorio, por ejemplo, el grado de saturación de oxígeno disuelto, la actividad biológica y el valor de saturación con carbono de calcio se relaciona con la temperatura.

Para obtener buenos resultados, la temperatura debe tomarse en el sitio del muestreo. Normalmente, la determinación de la temperatura puede hacerse con un termómetro de mercurio de buena calidad. El termómetro debe sumergirse en el agua, preferiblemente con el agua en movimiento, y la lectura debe hacerse después de un período suficiente que permita la estabilización del nivel del mercurio. Como el mercurio es venenoso debe prevenirse cualquier posible rotura del termómetro en agua utilizada para consumo. (Soto, 2007).

1.4.5. Sólidos

Se llama sólidos a la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103 °C. Incluye toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos. En ingeniería sanitaria es necesario medir la cantidad de material sólido contenido en una gran variedad de sustancias líquidas y semilíquidas que van desde aguas potables hasta aguas contaminadas, aguas residuales, residuos industriales y lodos producidos en los procesos de tratamiento. (Romero, 2004).

- Sólidos totales: el valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos). Para su determinación, la muestra se evapora en una cápsula previamente pesada, preferiblemente de platino o porcelana, sobre un baño de María, y luego se seca a 103 – 105 °C. el incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos totales o residuo total.
- Sólidos disueltos (o residuo filtrable): son determinados directamente o por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos. Si la determinación es directa se filtra una muestra, a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio en un crisol Gooch; el filtrado se evapora en una cápsula de paso conocido sobre un baño de María y el residuo de la evaporación a 103 – 105 °C. El incremento de peso sobre la capsula vacía representa los sólidos disueltos o residuo filtrable.
- Sólidos suspendidos (residuo no filtrable o material no disuelto): son determinados por filtración a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol Gooch previamente pesado. El crisol con su contenido

se seca a 103 – 105 °C; el incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos suspendidos o residuo no filtrable.

- Sólidos volátiles y sólidos fijos: en aguas residuales y lodos, se acostumbra a hacer una determinación, con el fin de obtener una medida de la cantidad de materia orgánica presente. La determinación de sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles es importante para evaluar la concentración o fuerza de aguas residuales para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento biológico secundario.

1.4.6. Conductividad

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por lo tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad. Por ello, el valor de la conductividad es muy usado en análisis de aguas para obtener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos. (Duarte, 2014).

1.5. Análisis químico del agua

El agua es un compuesto de hidrógeno y oxígeno (H₂O). Los antiguos filósofos consideraban el agua como un elemento básico que representaba a todas las sustancias líquidas. Los científicos no descartaron esta idea hasta la última mitad del siglo XVIII.

En 1781, el químico británico Henry Cavendish sintetizó agua detonando una mezcla de hidrógeno y aire. Sin embargo, los resultados de este experimento no fueron interpretados claramente hasta dos años más tarde, cuando el químico francés Antoine Laurent de Lavoisier propuso que el agua no era un elemento sino un compuesto de oxígeno e hidrógeno.

En un documento científico presentado en 1804, el químico francés Joseph Louis Gay-Lussac y el naturalista alemán Alexander von Humboldt demostraron conjuntamente que el agua consistía en dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno, tal como se expresa en la fórmula actual H_2O . Casi todo el hidrógeno del agua tiene una masa atómica de 1.

El químico estadounidense Harold Clayton Urey, descubrió en 1932 la presencia en el agua de una pequeña cantidad (1 parte por 6,000) de lo que se denomina agua pesada u óxido de deuterio (D_2O); el deuterio es el isótopo del hidrógeno con masa atómica 2.

En 1951, el químico estadounidense Aristid Grosse, descubrió que el agua existente en la naturaleza contiene también cantidades mínimas de óxido de tritio (T_2O); el tritio es el isótopo del hidrógeno con masa atómica 3.

Debido a su capacidad de disolver numerosas sustancias en grandes cantidades, el agua pura casi no existe en la naturaleza.

En su circulación por encima y a través de la corteza terrestre, el agua reacciona con los minerales del suelo y de las rocas. Los principales componentes disueltos en el agua superficial y subterránea son los sulfatos, los cloruros, los bicarbonatos de sodio y potasio, y los óxidos de calcio y magnesio. (Romero, 2004)

1.5.1. Alcalinidad

La alcalinidad del agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, de reaccionar con iones hidrógeno, su capacidad para aceptar protones, así como la media de su contenido total de sustancias alcalinas. La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampón del agua. (Solórzano, 2005).

1.5.2. Acidez

La acidez del agua puede definirse como su capacidad para neutralizar bases, reaccionar con iones hidroxilo, ceder protones o como la media de su contenido total de sustancias ácidas.

La determinación de la acidez es de importancia en ingeniería sanitaria debido a las características corrosivas de las aguas ácidas y al costo que supone la remoción y el control de las sustancias que producen corrosión.

1.5.3. Dureza

Las aguas duras se consideran aquellas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma y producen incrustaciones en las tuberías de agua caliente, calentadores, calderas y otras unidades en las cuales se incrementa la temperatura del agua. (Coyoy, 2013).

En términos de dureza las aguas pueden clasificarse así:

- 0 – 75 mg / l Blanda
- 75 – 150 mg / l Moderadamente dura
- 150 – 300 mg / l Dura
- > 300 mg / l Muy Dura
- La dureza se expresa en mg / l como CaCO₃.

1.6. Cinética

Para el tratamiento de agua, la cinética de los químicos que se utilizan, en este caso sulfato de aluminio y el agua de proceso tiene que ser ideal, lo importante es que se cumpla con el objetivo que es formar el coagulo que después debe ser removido para que se limpie el agua.

1.6.1. Tratamiento primario del agua: coagulación

La coagulación es un proceso que depende del tiempo. Stumm y O'Melia identificaron varias etapas en la reacción.

- Hidrólisis de los iones metálicos multivalentes y su consecuente polimerización hasta llegar a especies hidrolíticas multinucleadas.
- Adsorción de las especies hidrolíticas en la interfase de la solución sólida para lograr la desestabilización del coloide.
- Aglomeración de las partículas desestabilizadas, mediante un puente entre las partículas que involucra el transporte de éstas y las interacciones químicas.
- Aglomeración de las partículas desestabilizadas, mediante el transporte de las mismas y las fuerzas de Van Der Waals.

- Formación de los flóculos.
- Precipitación del hidróxido metálico.

Algunos de estos pasos ocurren secuencialmente, otros coinciden parcialmente y otros incluso pueden ocurrir simultáneamente. Se pueden asumir que los diferentes pasos de la reacción pueden resultar controlables en un cierto porcentaje, bajo diferentes condiciones químicas. (García, 2007).

1.6.2. Mecanismos de coagulación predominante

La coagulación, mediante sales inorgánicas se produce predominantemente por medio de dos mecanismos:

- Adsorción de las especies hidrolíticas por el coloide, provocando la neutralización de la carga.
- Coagulación de barrido en la que se producen las interacciones entre el coloide y el hidróxido precipitado.

1.6.2.1. Coagulación por absorción

Cuando se agrega sulfato de aluminio o sales de hierro al agua en condiciones especiales de dosis de coagulante y pH, se forman una serie de especies solubles hidrolizadas.

En el caso del sulfato de aluminio, las especies hidrolizadas que se forman son: Al^{3+} , $Al(OH)_2^+$, $Al_8(OH)_{20}^{4+}$ y $Al(OH)_4$, las cuales son tomadas a menudo para representar todo el sistema. Estas especies hidrolizadas se adhieren o forman complejos superficiales con los grupos SILANOL ($SiOH$) y el coloide y lo desestabilizan, permitiendo la formación de flóculos. Este mecanismo es

denominado neutralización de carga (también se le llama de desestabilización-absorción). Cuando la cantidad de coloides presentes en el agua es grande, la distancia entre ellos es pequeña, siendo por lo tanto, mayor la fuerza de atracción y la energía requerida para su desestabilización menor, así como el potencial zeta resultante. (Gómez, 2002).

1.6.2.2. Coagulación por barrido

Con dosis de alúmina suficientemente altas se forma un precipitado de hidróxido de aluminio que físicamente barre de la suspensión a las partículas coloidales, por lo que se denomina coagulación de barrido. De lo precedente, es evidente que la coagulación de las partículas coloidales en el tratamiento del agua es en su mayor parte controlada por la química del hidróxido de aluminio y sus especies hidrolíticas precursoras.

Este tipo de coagulación se presenta normalmente cuando el agua es clara y el porcentaje de partículas coloidales es pequeño. En este caso, las partículas son entrampadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio. Debido a que la distancia entre las partículas es mayor, las fuerzas de atracción son menores y se requiere de mayor cantidad de coagulante y energía para desestabilizarlas, aumentando el potencial zeta y el tiempo de reacción que puede ser de hasta 7 segundos. (Gómez, 2002).

1.7. Mezcla rápida

Se denomina así a las condiciones de intensidad de agitación y tiempo de retención que debe reunir la masa de agua en el momento en que se dosifica el coagulante, con la finalidad de que las reacciones de coagulación se den en las

condiciones óptimas que correspondan al mecanismo de coagulación predominante. Se sabe que la desestabilización de las partículas se lleva a cabo mediante dos mecanismos: adsorción o neutralización de las cargas y barrido. Investigaciones realizadas han demostrado que las condiciones de la mezcla rápida son importantes, para optimizar el primer mecanismo mientras que para la coagulación de barrido son indiferentes. (Gómez, 2002).

1.8. Mezcla rápida y mecanismos de coagulación

En la coagulación por adsorción, las reacciones que preceden a la neutralización de la carga con aluminio, son extremadamente rápidas y ocurren en milésimos de segundos cuando no hay formación de polímeros hidrolíticos de Al(III), y en un segundo cuando éstos se forman.

En cambio, la formación del precipitado de hidróxido de aluminio antes de la coagulación de barrido es lenta y se produce en un rango de 1 a 7 segundos. Debido a la naturaleza de las reacciones involucradas en cada uno de estos modelos de coagulación, se deduce que para que ocurra la neutralización de la carga es imperativo que los coagulantes sean difundidos en las masas de agua, tan rápido como sea posible (menos de 0.1 seg), para que los productos que se desarrollan entre 0.01 y 1 segundo, produzcan la desestabilización del coloide. Por el contrario, para la coagulación de barrido, la formación del hidróxido se produce en un rango de 1 a 7 segundos, por lo que es evidente que no es de crucial importancia disponer de tiempos de dispersión muy cortos, o de altas intensidades de mezcla.

- Mezcla rápida para coagulación de barrido: en este mecanismo de coagulación, las interacciones se producen entre los coloides del agua y la voluminosa formación de precipitado de hidróxido de hierro o aluminio.

En la práctica del tratamiento de agua, en condiciones de coagulación de barrido, el agua es sobresaturada en 3 o 4 órdenes de magnitud y el hidróxido precipita con mucha rapidez. En estas circunstancias son considerablemente más importantes las condiciones químicas para lograr una buena precipitación y subsecuente floculación de las partículas, que las interacciones de transporte entre el coloide y los productos hidrolíticos durante la desestabilización. Por consiguientes, en este caso son importantes los aspectos químicos de la etapa de desestabilización y los de transporte en la etapa de floculación. Amirtharajah y Mills, señalaron que cuando predomina la coagulación de barrido, las condiciones de mezcla rápida no afectan los resultados obtenidos.

1.9. Parámetros operacionales

Los parámetros operacionales de la mezcla rápida son la intensidad de agitación que se impartirá al agua para dispersar al coagulante, el cual se evalúa mediante el gradiente de velocidad, y el tiempo durante el cual debe aplicarse esta agitación al agua. La magnitud de estos parámetros dependerá del tipo de coagulación que se va a llevar a cabo: coagulación por adsorción o coagulación por barrido.

- Gradiente de velocidad: el gradiente medio de velocidad, comúnmente indicado por la letra G, puede ser fácilmente calculado por la ecuación de Camp y Stein: $G = \sqrt{P/V} / \mu$ v Donde: μ = coeficiente de viscosidad dinámica P/V = potencia disipada por unidad de volumen.
- Intensidad y tiempo de mezcla: la adecuación de estos parámetros es de especial importancia cuando el mecanismo de coagulación predominante es el de adsorción o neutralización de carga. En este caso, el coagulante

debe dispersarse en forma instantánea en toda la masa de agua antes de que la hidrólisis del coagulante se complete, sobre todo cuando se emplean coagulantes inorgánicos como las sales de aluminio (III) o de hierro (III). Por lo que si la unidad de mezcla no produce un gradiente de velocidad apropiado en un tiempo de retención instantáneo, no se habrá logrado una desestabilización completa. Con coagulación de barrido en cambio, sólo es necesaria una dispersión homogénea, los tiempos de retención pueden ser mayores (1 a 7 segundos) y el gradiente de velocidad no influye en la eficiencia como se ha podido constatar en resultados experimentales.

1.10. Tratamiento físico químico

El análisis físico y químico indica si el agua está contaminada y proporciona también otras informaciones útiles pero no es lo suficientemente preciso para detectar pequeños grados de contaminación con aguas negras. Sin embargo, las pruebas bacteriológicas se han diseñado de manera que sean muy sensibles y específicas para revelar cualquier contaminación.

Se deben de tomar en cuenta los siguientes parámetros físicos, químicos y bacteriológicas.

- Análisis físico: los sentidos organolépticos ayudan a analizar el agua relacionando parámetros que pueden ser medidos de esta forma y comparándolos con estándares que se disponen en los laboratorios.
- Temperatura: la temperatura afecta directamente al consumidor, pero no es de importancia sanitaria. Se considera que una temperatura arriba de

10°C es satisfactoria pero más de 16°C no es aceptable para consumo humano.

- Sabor y olor: estos usualmente se examinan en conjunto, esto es debido a la presencia de materia orgánica descompuesta, algunos tipos de microorganismos y compuestos químicos volátiles. El agua de calidad satisfactoria debe ser carente de olor y sabor. El olor y el sabor pueden ser debidos a la presencia en el agua de compuestos químicos como: fenoles y el cloro, o a materias orgánicas en descomposición o ciertos organismos. Los olores y sabores desagradables convierten a las aguas en no aptas para muchos procesos industriales. Estas son intolerables en bebidas y productos alimenticios, y se objeta también en materias textiles, papel, y otros procesos en que se absorba el olor.
- Turbiedad: es cualquier impureza soluble finamente dividida en forma coloidal, cualquiera que sea su naturaleza, suspendida en el agua y que disminuya su claridad. Turbiedad es la medida de la opacidad del agua comparada con ciertos estándares establecidos. La alta turbiedad en cualquier suministro de agua es indeseable para usos prácticos, excepto posiblemente para ciertos tipos de condensación de superficie. Se dice que el agua es turbia cuando ésta tiene en suspensión muchas partículas finas de polvo, arena y ocasionalmente microorganismos que le dan una apariencia lodosa. Esta se determina a partir de método óptico.
- Potencial de hidrógeno: es importante determinar este parámetro, ya que la mayoría de las aguas naturales tiene valores de pH entre 5.5 – 8.6. La alteración excesiva fuera de estos límites puede indicar contaminación del abastecimiento de agua por algún desecho de tipo industrial. Un agua con pH menor que 6.0 será fuertemente para los metales. Al aumentar

las concentraciones de hidrógeno, aumenta el poder corrosivo sobre el metal. (2) Son dos los métodos generales usados para determinar el valor del H. El método colorimétrico el cual emplea indicadores, sustancias que exhiben diferentes colores de acuerdo con el pH de la solución, y el método electrométrico en el cual se mide el potencial de un electrodo sensitivo a pH con referencia a un electrodo estándar. Para estimaciones aproximadas el método colorimétrico es adecuado, especialmente en el terreno, pero para determinaciones de laboratorio el método estándar es el electrométrico, el cual se considera como un método físico; a diferencia del colorimétrico que es químico. (Gómez, 2002).

1.11. Coagulación

El proceso de coagulación transforma las pequeñas partículas en grandes aglomerados, de manera que se facilite la sedimentación. El proceso global de coagulación incluye las etapas de desestabilización y floculación, que es la etapa de transporte provocando el crecimiento de las partículas aglomeradas.

Las impurezas presentes en el agua en forma de partículas en estado coloidal, tienen carga negativa, pero la dispersión coloidal (agua+coloides), no tienen una carga eléctrica única. Las cargas originales de las partículas son equilibradas con las cargas de la fase acuosa, resultando una doble capa eléctrica en cada interfase entre el sólido y el agua. Las fuerzas de difusión y atracción electrostática dispersan la carga en el agua alrededor de cada partícula, en una capa difusa.

Las fuerzas eléctricas de repulsión y las fuerzas de atracción de Van Der Waals interaccionan con las partículas en la solución produciendo una barrera

potencial que previene la aglomeración. Al proceso de vencer la barrera de repulsión para permitir que ocurra la aglomeración se le denomina desestabilización.

1.11.1. Reacción de los coagulantes

EL hierro y aluminio son los reactivos utilizados en el proceso de desestabilización coloidal absorción superficial, por neutralización de cargas eléctricas, para construir un agregado precipitante. Estas sales trivalentes (hierro y aluminio) son económicas, abundantes, eficaces por su carga elevada a diferencia de otras sales como el calcio y sodio, cuya capacidad de reducción del potencial eléctrico es menor. (Company, 200).

1.11.2. Cloruro férrico

Los coagulantes inorgánicos basados en el hierro como elemento metálico tiene gran aplicabilidad en el campo de tratamiento de aguas, en concreto el cloruro férrico, el cual se emplea en la depuración de efluentes urbanos e industrias.

El cloruro férrico suele presentarse en forma de disolución acuosa conteniendo un 40 %de FeCl_3 y raramente en forma sólida $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

En forma de disolución acuosa presenta un color parduzco, viscoso, mientras que en forma sólida aparece de forma cristalina, granular o en polvo.

Tabla I. **Propiedades del cloruro férrico a 40 %**

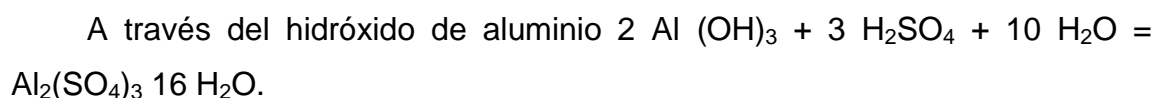
FeCl ₃ porcentaje	40 ± 0,5
Densidad a 20 °C (kg/l)	1,40 ± 0,03
Hierro total porcentaje	13,4 ± 0,6
Acidez HCl	1,2 ± 1
Cloruro libre	0,1
Hierro ferros	0,1 ± 0,1
Punto de congelación °C	-15
Punto de ebullición °C	315 (a 100 kPa
Viscosidad a 20°C	10 ± 0,02

Fuente: elaboración propia.

1.11.3. **Sulfato de aluminio**

Es una sal sólida y de color blanco de fórmula Al₂ (SO₄)₃ por sus propiedades físico-químicas es utilizada principalmente como agente coagulante y floculante primario en el tratamiento de aguas de consumo humano y aguas residuales. Se caracteriza por agrupar los sólidos suspendidos en el agua y acelerar la sedimentación, contribuyendo a la disminución de la carga bacteriana, así como la remoción del color y sabor.

El sulfato de aluminio se obtiene al reaccionar un mineral alumínico (caolín, bauxita, hidrato de aluminio) con ácido sulfúrico a temperaturas elevadas; las reacciones que se llevan a cabo en dependencia del mineral de aluminio utilizado son las siguientes:



Una vez que se obtiene el sulfato de aluminio, éste se tiene en dos presentaciones: sólido y líquido, con 2 especificaciones, estándar y libre de hierro.

Principales aplicaciones

- Sulfato de aluminio para el tratamiento de aguas residuales. El sulfato de aluminio es un producto económico y efectivo en la eliminación del fósforo en las plantas de tratamiento de agua residual, tanto para el uso de humano e industrial y clarifica el agua al precipitar los sólidos suspendidos.
- Sulfato de aluminio para el tratamiento de agua potable. El sulfato de aluminio permite clarificar el agua potable, es un coagulante y por ello sedimenta los sólidos en suspensión, los cuales por su tamaño requerirán un tiempo muy largo para sedimentar.
- Sulfato de aluminio en la manufactura química. Se emplea en producción de otras sales de aluminio.
- Sulfato de aluminio en la industria de jabones y grasas. Se emplea en la producción de jabones de aluminio y grasas para usos industriales.

1.12. Floculación

La floculación se emplea para extraer del agua los sólidos que en ella se encuentran suspendidos siempre que su rapidez natural de asentamiento sea

demasiado baja para proporcionar clarificación efectiva. El agua cruda residual contiene material suspendido, tanto sólidos que pueden asentarse como partículas lo bastante grandes que se asientan en reposo, o sólidos dispersados que no se asentarán con facilidad. Cada partícula se encuentra estabilizada por cargas eléctricas negativas sobre su superficie, haciendo que repela las partículas vecinas, como se repelen partículas que forman así masas mayores llamadas flóculos.

La floculación es estimulada por un mezclado lento que junta poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no sólo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también afecta su naturaleza física. (García, 2007).

1.12.1. Floculantes

Los floculantes, llamados también ayudantes de coagulación, son productos cuya acción afecta a la velocidad de reacción (floculación más rápida) o a la calidad del flóculo (flóculo más pesado, más voluminoso y más coherente).

Los floculantes pueden clasificarse por su naturaleza (mineral u orgánica), su origen (sintético o natural) o el signo de su carga eléctrica (aniónico, catiónico o no iónico).

1.13. Costos fijos y costos variables

A continuación se describe la teoría de la clasificación de los costos fijos y costos variables que las industrias manejan en forma general

1.13.1. Costo fijo

Son aquellos en los que incurre la empresa y que en el corto plazo o para ciertos niveles de producción, no dependen del volumen de productos.

1.13.2. Costo variable

Costo que incurre la empresa y guarda dependencia importante con los volúmenes de fabricación.

1.13.3. Costo total

Dentro de la visión general, el costo total es la suma del costo fijo total con el costo variable total, el costo variable total consta del producto entre el costo variable unitario y la cantidad, de manera que se tiene la siguiente relación.

1.13.4. Clasificación de los costos

Según Eiteman, David K., en su libro: "Las finanzas en las empresas multinacionales". Los costos se clasifican según sus características en fijos y variables, entre algunos costos fijos se encuentran mano de obra directa, gastos indirectos de fabricación, gastos de administración, impuestos o patentes, gastos de comercialización, depreciaciones, amortizaciones de inversión directa, costos financieros, entre otros, algunos costos variables son materia prima directa, materiales e insumos directos, mano de obra directa, materiales indirectos, en algunas ocasiones pueden ser también costos variables los gastos de comercialización, los impuestos y las patentes.

1.13.5. Rentabilidad

Según Eiteman, David K., en su libro: “Las finanzas en las empresas multinacionales”, la rentabilidad es expresada normalmente en tanto por ciento, mide la rentabilidad del capital propio o rentabilidad de los accionistas.

Se obtiene dividiendo el beneficio anual, una vez deducidos los intereses de las deudas o coste del capital ajeno más el impuesto que grava la renta de la sociedad, por el valor de los fondos propios (capital más reservas), multiplicado por 100. Sumando al numerador del anterior ratio la cuota del impuesto que grava la renta de la sociedad, se obtiene la rentabilidad financiera antes de los impuestos.

Cuando la rentabilidad económica es superior al coste del endeudamiento (expresado ahora en tanto por ciento, para comparar, y no en valor absoluto como anteriormente), cuanto mayor sea el grado de endeudamiento mayor será el valor de la rentabilidad financiera o rentabilidad de los accionistas, en virtud del juego del denominado efecto palanca. Por el contrario, cuando la rentabilidad económica es inferior al coste de las deudas (el capital ajeno rinde menos en la empresa de lo que cuesta) se produce el efecto contrario: el endeudamiento erosiona o aminora la rentabilidad del capital propio.

2. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La industria de jabón en Guatemala, la cual data del año 1920, en que un emprendedor y visionario activista fundó la primera planta productora de jabón, es una industria que ha crecido en su producción para consumo local, así como para el mercado de exportación, se consideró la primera industria porque se tenía una fábrica con 150 empleados, posteriormente el sector de producción de jabón fue desarrollándose y en el año 1956 una empresa multinacional solicitó que esta empresa le maquilara sus productos para la distribución local, posteriormente y con el mercado desarrollado esta multinacional se separa y hace su propia planta en 1976, cuando se empezó a desarrollar el mercado con varios competidores. El proceso de fabricación de jabón actual está basado en el mismo principio de sus inicios, lo primero que se hace es una mezcla de grasas, estas se blanquean, se saponifica la grasa, se agregan los diferentes aditivos, posteriormente se seca el jabón, se refina, y por último, se empaca.

2.1. Determinación de la combinación ideal de floculante y coagulante

Para determinar cuál es la combinación ideal de floculante y coagulante para el tratamiento de agua residual y garantizar que el agua tratada cumpla con los parámetros de ley establecidos en el Decreto 236 -2006, que es el reglamento de aguas residuales y manejo de desechos sólidos que está vigente en el país.

Se trabajó con tres diferentes coagulantes, sulfato de aluminio, cloruro férrico y poli cloruro de aluminio, que es el coagulante que actualmente se está

utilizando para tratar el agua, para determinar cuál es la concentración óptima en base a la calidad del agua de entrada a la planta de tratamiento, para todas las pruebas se trabajó con 2 ppm de floculante, esta es una constante del proceso.

2.2. Tiempo de producción de agua tratada y concentración óptima

Se trabajó en mantener el tiempo de producción de 3.5 minutos de reacción que es el tiempo que tarda el agua en pasar por el serpentín, donde reaccionan los químicos antes de llegar a la siguiente etapa del proceso que es la aireación.

Figura 2. **Determinación óptima de sulfato de aluminio**



Fuente: elaboración propia.

Para el sulfato de aluminio se realizaron pruebas a nivel de laboratorio a concentraciones de 200, 400, 600 y 800 ppm, según la figura número dos de la sección 9 de resultados se puede observar que el sulfato de aluminio a una concentración de 400 ppm, es la concentración óptima en donde se obtiene el menor color, quiere decir que es a la concentración donde es más efectivo el coagulante y limpia más el agua, bajando el color de 1356 unidades de color platino – cobalto a 43 unidades de color platino cobalto, el tiempo de reacción es de 3.5 minutos como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla II. **Determinación de concentración óptima de sulfato de aluminio**

	Muestra			
	A	B	C	D
Concentración de Sulfato de Aluminio (ppm)	200	400	600	800
Color (unidades Pt-Co) Final	120	43	115	176

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Determinación de la concentración óptima del cloruro férrico**



Fuente: elaboración propia.

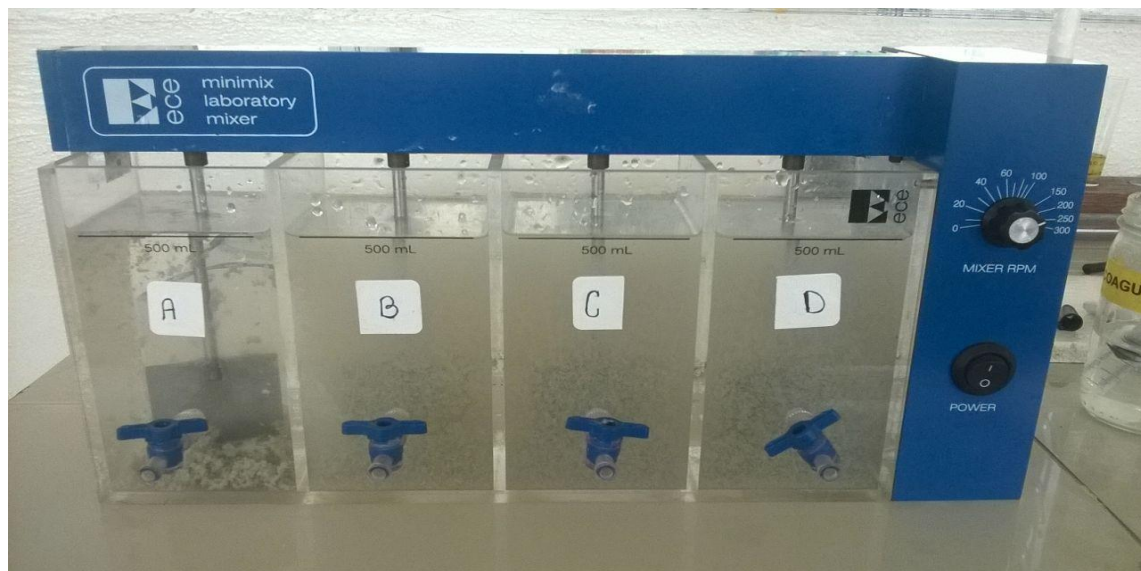
Para el cloruro férrico se realizaron pruebas a nivel de laboratorio a concentraciones de 200, 400, 600 y 800 ppm, según la figura número tres de la sección 9 de resultados se puede observar que el cloruro férrico a una concentración de 600 ppm, es la concentración óptima en donde se obtiene el menor color, quiere decir que es a la concentración donde es más efectivo el coagulante y limpia más el agua, bajando el color de 1356 unidades de color platino – cobalto a 220 unidades de color platino cobalto, el tiempo de reacción es de 3.5 minutos, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla III. **Determinación de concentración óptima de cloruro férrico**

	Muestra			
	A	B	C	D
Concentración de Cloruro Férrico (ppm)	200	400	600	800
Color (unidades Pt-Co) Final	1100	460	220	456

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Determinación óptima de poli cloruro de aluminio**



Fuente: elaboración propia.

Para el poli cloruro de aluminio se realizaron pruebas a nivel de laboratorio a concentraciones de 50, 100, 150 y 200 ppm, según la figura número cuatro de la sección 9 de resultados se puede observar que el poli cloruro a una concentración de 100 ppm, es la concentración óptima en donde se obtiene el menor color, quiere decir que es a la concentración donde es más efectivo el coagulante y limpia más el agua, bajando el color de 1356 unidades de color platino – cobalto a 79 unidades de color platino cobalto, el tiempo de reacción es de 3.5 minutos, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla IV. Determinación de la concentración óptima del poli cloruro de aluminio

	Muestra			
	A	B	C	D
Concentracion de Policloruro de Aluminio (ppm)	50	100	150	200
Color (unidades Pt-Co) Final	129	79	122	178

Fuente: elaboración propia.

Una vez determinadas las concentraciones optimas de operación de cada coagulante se procedió a realizar las pruebas a nivel industrial en la planta de tratamiento, para estas pruebas se tomó de base, una cantidad física de 500,000 litros de agua, esto con la finalidad de validar los resultados que se obtuvieron a nivel laboratorio.

Tabla V. Resultados finales del tratamiento del agua utilizando la concentración óptima

Material	Concentración optima (ppm)	Tiempo de reacción (min)
Sulfato de aluminio	400	3.5
Cloruro Férrico	600	3.5
Poli cloruro de aluminio	100	3.5

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Resultados finales del tratamiento del agua con sulfato de aluminio utilizando la concentración óptima**

Parámetros de control	Sulfato de Aluminio	Parámetros de ley
Concentración Óptima (PPM)	400.00000	
Color (unidades Pt-Co) Final	43.00000	500.00000
DBO (mg/l - O ₂) Final	74.00000	200.00000
Fosforo total (mg/l - P) Final	1.08000	10.00000
Grasas y Aceites (mg/l) Final	8.00000	10.00000
Nitrógeno Total (mg/l - N) Final	1.83000	20.00000
pH Agua Final (unidades de pH)	8.46000	9.00000
Solidos suspendidos (mg/l) Final	24.00000	100.00000
Coliformes fecales (NMP / 100 ml) Final	8,000.00000	10,000.00000
Arsénico (mg/l - As) Final	0.00200	0.10000
Cadmio (mg/l - Cd) Final	0.00800	0.10000
Cianuro (mg/l - CN) Final	0.01000	1.00000
Cobre (mg/l - Cu) Final	0.04000	3.00000
Cromo VI (mg/l- Cr) Final	0.01000	0.10000
Mercurio (mg/l - Hg) Final	0.00065	0.01000
Níquel (mg/l - Ni) Final	0.30000	2.00000
Plomo (mg/l - Pb) Final	0.06000	0.40000
Zinc (mg/l - Zn) Final	0.09100	10.00000

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Resultados finales del tratamiento del agua con cloruro férrico utilizando la concentración óptima**

Parámetros de control	Cloruro Férrico	Parámetros de ley
Color (unidades Pt-Co) Final	220.00000	500.00000
DBO (mg/l - O ₂) Final	145.00000	200.00000
Fosforo total (mg/l - P) Final	1.16000	10.00000
Grasas y Aceites (mg/l) Final	9.00000	10.00000
Nitrógeno Total (mg/l - N) Final	2.23000	20.00000
pH Agua Final (unidades de pH)	7.40000	9.00000
Solidos suspendidos (mg/l) Final	128.00000	100.00000
Coliformes fecales (NMP / 100 ml) Final	7,250.00000	10,000.00000
Arsénico (mg/l - As) Final	0.00200	0.10000
Cadmio (mg/l - Cd) Final	0.00800	0.10000
Cianuro (mg/l - CN) Final	0.01000	1.00000
Cobre (mg/l - Cu) Final	0.04000	3.00000
Cromo VI (mg/l- Cr) Final	0.01000	0.10000
Mercurio (mg/l - Hg) Final	0.00065	0.01000
Níquel (mg/l - Ni) Final	0.30000	2.00000
Plomo (mg/l - Pb) Final	0.06000	0.40000
Zinc (mg/l - Zn) Final	0.09100	10.00000

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Resultados finales del tratamiento del agua con sulfato de aluminio utilizando la concentración óptima**

Parámetros de control	Poli cloruro de Aluminio	Parámetros de ley
Color (unidades Pt-Co) Final	79.00000	500.00000
DBO (mg/l - O ₂) Final	120.00000	200.00000
Fosforo total (mg/l - P) Final	1.10000	10.00000
Grasas y Aceites (mg/l) Final	7.00000	10.00000
Nitrógeno Total (mg/l - N) Final	1.90000	20.00000
pH Agua Final (unidades de pH)	6.10000	9.00000
Solidos suspendidos (mg/l) Final	79.00000	100.00000
Coliformes fecales (NMP / 100 ml) Final	8,200.00000	10,000.00000
Arsénico (mg/l - As) Final	0.00200	0.10000
Cadmio (mg/l - Cd) Final	0.00800	0.10000
Cianuro (mg/l - CN) Final	0.01000	1.00000
Cobre (mg/l - Cu) Final	0.04000	3.00000
Cromo VI (mg/l- Cr) Final	0.01000	0.10000
Mercurio (mg/l - Hg) Final	0.00065	0.01000
Níquel (mg/l - Ni) Final	0.30000	2.00000
Plomo (mg/L - Pb) Final	0.06000	0.40000
Zinc (mg/l - Zn) Final	0.09100	10.00000

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Análisis comparativo del agua inicial con el agua final con cada uno de coagulantes propuestos y los parámetros de ley

Parámetros de control	Datos iniciales del agua a tratar	Sulfato de Aluminio	Cloruro Férrico	Poli cloruro de Aluminio	Parámetros de ley
Color (unidades Pt-Co) Final	1,356.00000	43.00000	220.00000	79.00000	500.00000
DBO (mg/l - O ₂) Final	780.00000	74.00000	145.00000	120.00000	200.00000
Fosforo total (mg/l - P) Final	3.92000	1.08000	1.16000	1.10000	10.00000
Grasas y Aceites (mg/l) Final	312.00000	8.00000	9.00000	7.00000	10.00000
Nitrógeno Total (mg/l - N) Final	2.67000	1.83000	2.23000	1.90000	20.00000
pH Agua Final (unidades de pH)	7.16000	8.46000	7.40000	6.10000	9.00000
Solidos suspendidos (mg/l) Final	1,012.00000	24.00000	128.00000	79.00000	100.00000
Coliformes fecales (NMP / 100 ml) Final	2,400,000.00	8,000.00	7,250.00	8,200.00	10,000.00
Arsénico (mg/l - As) Final	0.00200	0.00200	0.00200	0.00200	0.10000
Cadmio (mg/l - Cd) Final	0.00800	0.00800	0.00800	0.00800	0.10000
Cianuro (mg/l - CN) Final	0.01000	0.01000	0.01000	0.01000	1.00000
Cobre (mg/l - Cu) Final	0.04000	0.04000	0.04000	0.04000	3.00000
Cromo VI (mg/l- Cr) Final	0.01000	0.01000	0.01000	0.01000	0.10000
Mercurio (mg/l - Hg) Final	0.00065	0.00065	0.00065	0.00065	0.01000
Níquel (mg/l - Ni) Final	0.30000	0.30000	0.30000	0.30000	2.00000
Plomo (mg/l - Pb) Final	0.06000	0.06000	0.06000	0.06000	0.40000
Zinc (mg/l - Zn) Final	0.17600	0.09100	0.09100	0.09100	10.00000

Fuente: elaboración propia.

Según se muestra en la figura 5 de la sección de resultados, se trabajó con las concentraciones de 400 ppm para el sulfato de aluminio, 600 ppm para el cloruro férrico y 100 ppm, para el poli cloruro de aluminio, siendo este último el que se utilizó a una concentración más baja.

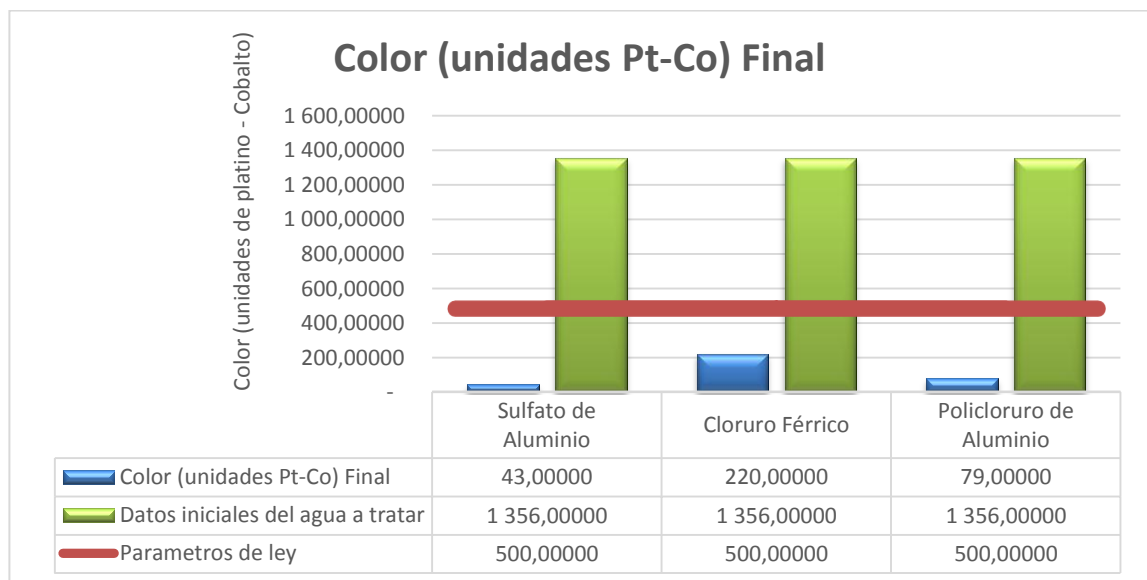
Figura 5. **Análisis comparativo de las concentraciones de coagulante óptimo a utilizar en el agua**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 6 de la sección 9 de resultados, se puede observar el análisis comparativo de la eficiencia de cada uno de los diferentes coagulantes para el parámetro de color, siendo el más eficiente el sulfato de aluminio que bajo el color del agua de 1356 unidades de color platino – cobalto a 43 unidades de color platino – cobalto, los tres coagulantes cumplen con los parámetros de Ley del Decreto 236-2006 para el año 2024, que son tener los valores menores a 200 unidades de color platino - cobalto.

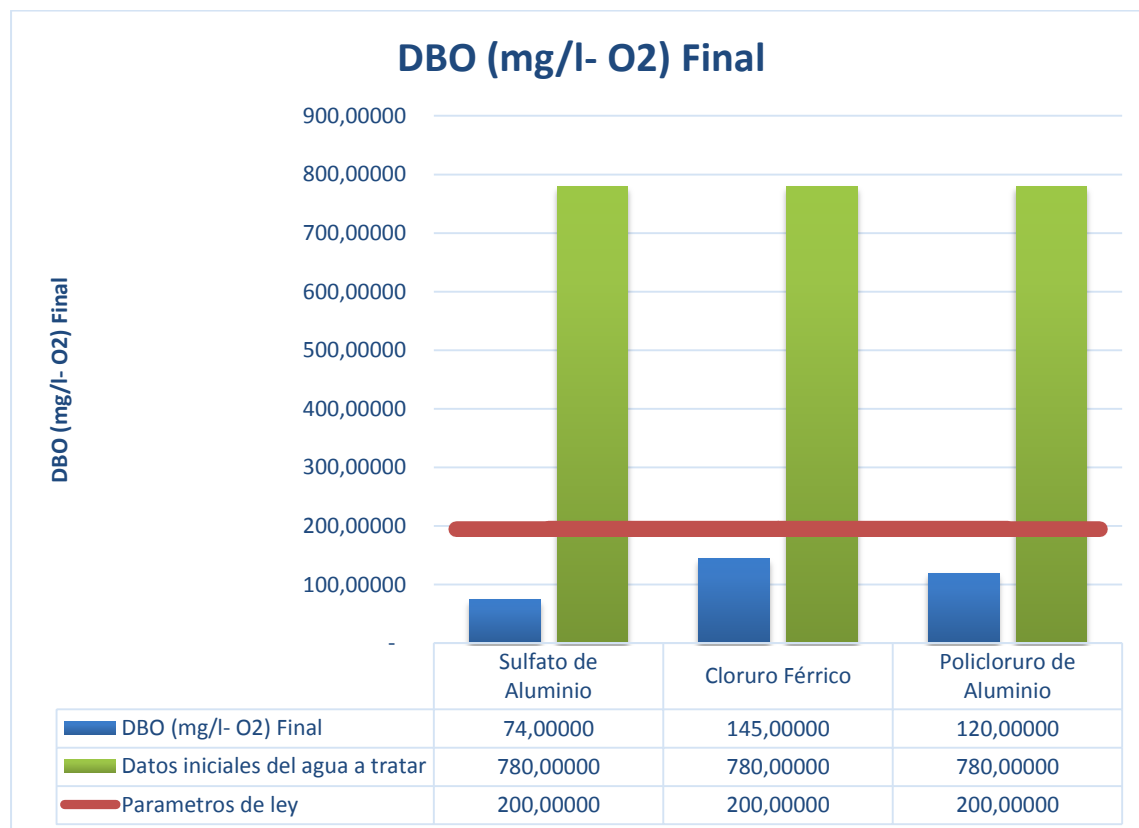
Figura 6. **Análisis comparativo del parámetro de control color**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 7 de la sección 9 de resultados se puede observar el análisis comparativo de la eficiencia de cada uno de los diferentes coagulantes para el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), siendo el más eficiente el sulfato de aluminio que bajo la demanda de 780 mg/l de O₂ a 74 mg/l de O₂, los tres coagulantes cumplen con los parámetros de ley del decreto 236-2006 para el año 2024, que son tener los valores menores a 200 mg/l de O₂.

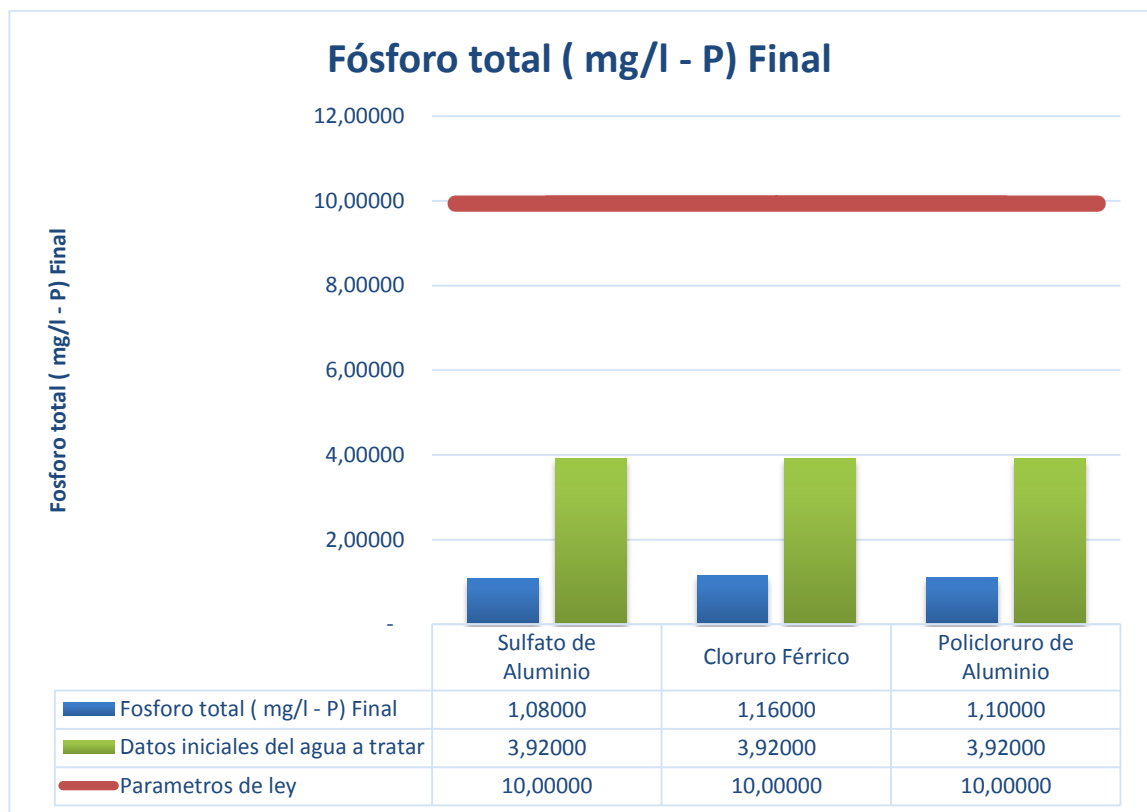
Figura 7. **Análisis comparativo del parámetro DBO**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 8 de la sección 9 de resultados se puede observar el análisis comparativo de la eficiencia de cada uno de los diferentes coagulantes para el parámetro de fósforo total siendo el más eficiente el sulfato de aluminio que bajo el fosforo total de 3.92 mg/l de fosforo a 1.08 mg/l de fosforo, los tres coagulantes cumplen con los parámetros de Ley del Decreto 236-2006 para el año 2024, que son tener los valores menores a 10 mg/l de fosforo, es importante mencionar que este análisis es crítico, ya que valores de fósforo fuera de los parámetros de ley producen la contaminación de los afluentes receptores propiciado y facilitando la reproducción de algas.

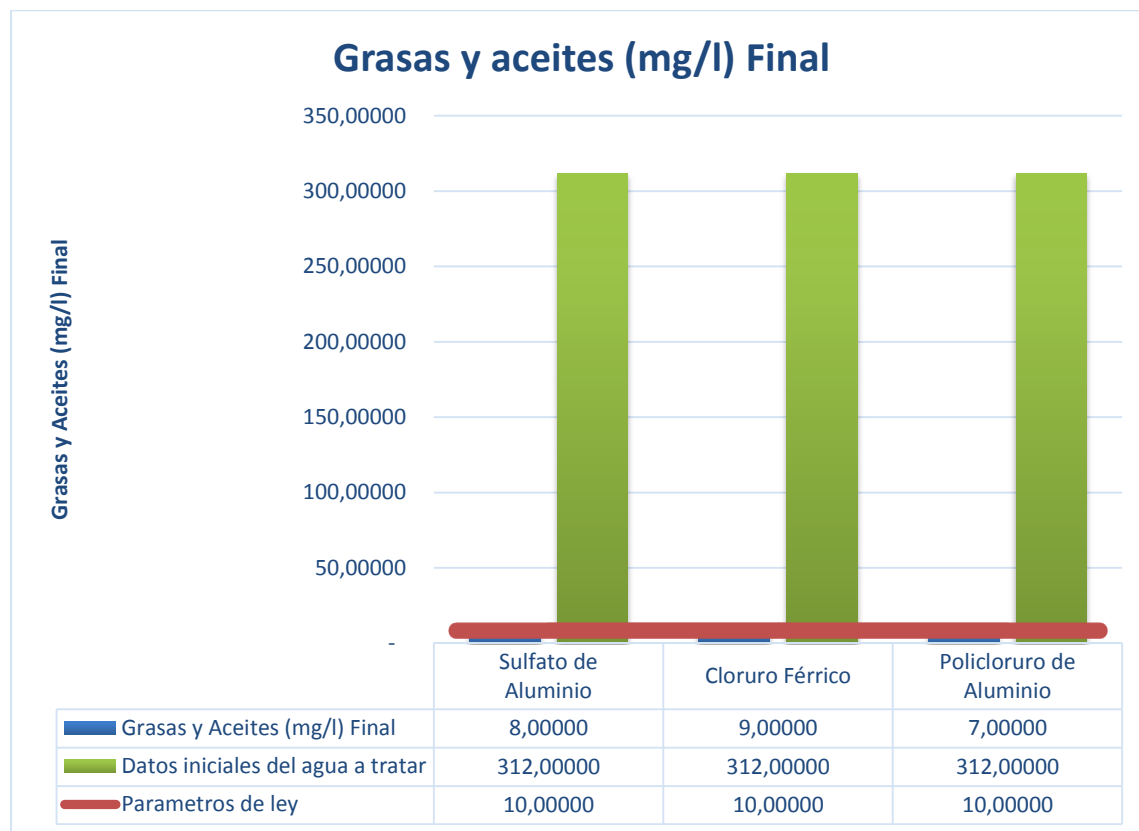
Figura 8. **Análisis comparativo del parámetro fósforo total**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 9 de la sección 9 de resultados, se puede observar el análisis comparativo de la eficiencia de cada uno de los diferentes coagulantes para el parámetro de grasas y aceites siendo el más eficiente el sulfato de aluminio que bajo la cantidad de grasas y aceites de 312 mg/l a 8 mg/l, los tres coagulantes cumplen con los parámetros de Ley del Decreto 236-2006 para el año 2024, que son tener los valores menores a 100 mg/l.

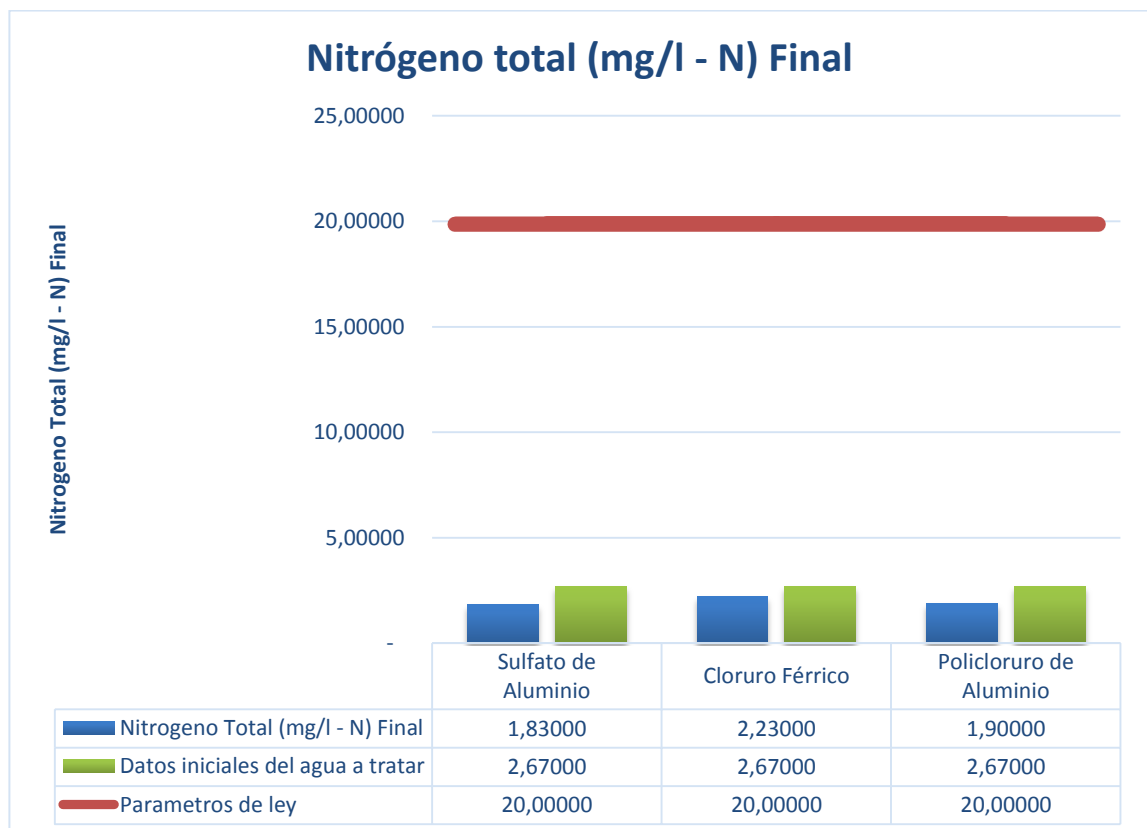
Figura 9. **Análisis comparativo de grasas y aceites**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 10 de la sección 9 de resultados, se puede observar el análisis comparativo de la eficiencia de cada uno de los diferentes coagulantes para el parámetro de nitrógeno total siendo el más eficiente el sulfato de aluminio que bajo el nitrógeno total de 2.67 mg/l de nitrógeno a 1.83 mg/l de nitrógeno, los tres coagulantes cumplen con los parámetros de Ley del Decreto 236-2006 para el año 2024, que son tener los valores menores a 20 mg/l de nitrógeno.

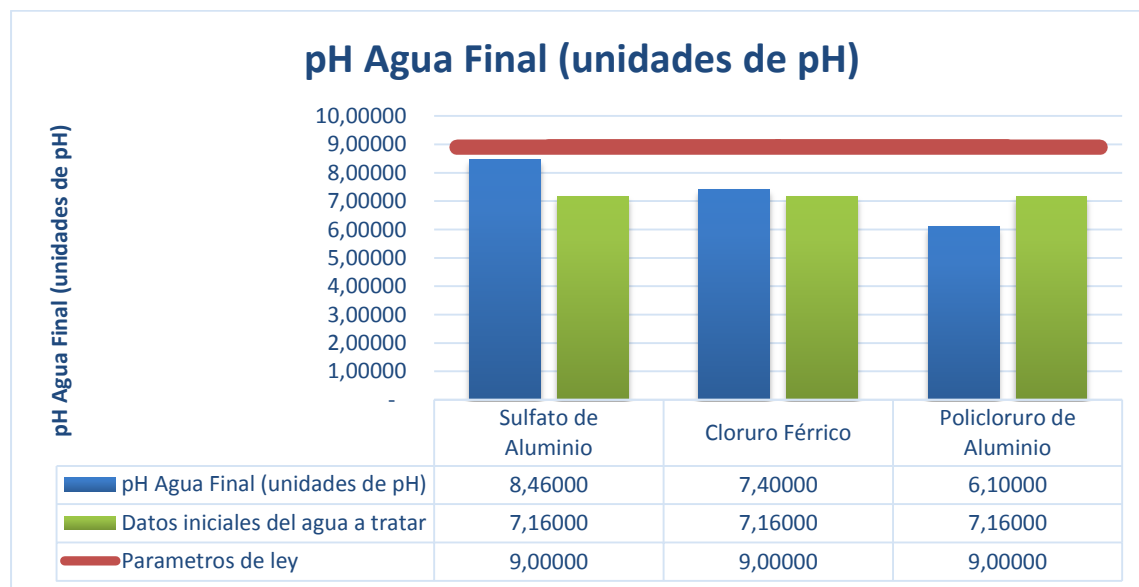
Figura 10. **Análisis comparativo de nitrógeno total**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 11 de la sección 9 de resultados, se puede observar el análisis comparativo de la eficiencia de cada uno de los diferentes coagulantes, para el parámetro de pH, se puede observar que los tres coagulantes cumplen con el parámetro de Ley del Decreto 236-2006, que es tener los resultados del agua en unidades de pH mayores que 6 y menores que 9, siendo los resultados obtenidos para el sulfato de aluminio 8.46 unidades de pH, para el cloruro férrico 7.4 unidades de pH y para el poli cloruro de aluminio de 6.10 unidades de pH; en este caso para el poli cloruro de aluminio se debe tener un mayor cuidado porque el valor está muy cercano al mínimo permisible por la ley y cualquier descontrol de la planta de tratamiento en cuestión de operación causaría que el análisis este fuera de especificación y se tenga que incurrir en costos de otros reactivos como cualquier álcali para subir el pH, lo que elevaría los costos de operación.

Figura 11. **Análisis comparativo de pH final del agua**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 12 de la sección 9 de resultados, se puede observar el análisis comparativo de la eficiencia de cada uno de los diferentes coagulantes para el parámetro de sólidos suspendidos siendo el más eficiente el sulfato de aluminio que bajo la cantidad sólidos suspendidos de 1012 mg/l a 24 mg/l, los tres coagulantes cumplen con los parámetros de Ley del Decreto 236-2006 para el año 2024, que son tener los valores menores a 100 mg/l.

Figura 12. **Análisis comparativo de sólidos suspendidos**



Fuente: elaboración propia.

2.3. Optimizar costos de producción

Se trabajó en la optimización de los costos de producción del agua tratada con base a la combinación del floculante y el coagulante, garantizando el menor costo y la mayor calidad del agua tratada.

En la tabla número IX, se puede observar el análisis de costo que representó hacer la prueba con las tres diferentes coagulantes a las concentraciones óptimas, para el sulfato de aluminio a una concentración de 400 ppm para un volumen de agua tratado de 500,000 litros de agua, se consumieron 200 kg de producto, a un costo de 2.94 quetzales por kilogramo, se gastó en total 588 quetzales.

Para el cloruro férrico a una concentración de 600 ppm para un volumen de agua tratado de 500,000 litros de agua, se consumieron 300 kg de producto, a un costo de 3.18 quetzales por kilogramo, se gastó en total 954 quetzales.

Para el poli cloruro de aluminio a una concentración de 100 ppm para un volumen de agua tratado de 500,000 litros de agua, se consumieron 50 kg de producto, a un costo de 17.25 quetzales por kilogramo, se gastó en total 862.50 quetzales.

Como se puede observar con base a los resultados obtenidos, el sulfato de aluminio es el producto que trató mejor el agua y que a pesar que se usa una concentración alta de reactivo el costo del mismo es bajo, por lo cual lo hace más eficiente en comparación de las otras dos opciones que son el cloruro férrico y el poli cloruro de aluminio.

Tabla X. **Análisis de costo – beneficio de los diferentes coagulantes**

Parámetros de control	Sulfato de Aluminio	Cloruro Férrico	Poli cloruro de Aluminio
Costo kilogramo de Coagulante (Quetzales)	Q. 2.94	Q. 3.18	Q. 17.25
Total kilogramos de coagulante utilizados para 500,000 litros de agua	200.00	300.00	50.00
Quetzales de coagulante por cada 500,000 litros	Q. 588.00	Q. 954.00	Q. 862.50
Agua tratada promedio al mes	33,686,500.00	33,686,500.00	33,686,500.00
Quetzales de coagulante promedio por mes	Q. 39,615.32	Q. 64,273.84	Q. 58,109.21
Mano de obra (Q)	Q. 98115.76	Q. 98115.76	Q. 98115.76
Energía eléctrica (Q)	Q. 58500.00	Q. 58500.00	Q. 58500.00
Costo del no cumplimiento de cada parámetro (Q75,000)	Q. 0	Q. 0	Q. 375,000.00

Fuente: elaboración propia.

Con base a la tabla X de resultados para el consumo promedio de litros de agua que es de 33, 686,500 mensual, se tiene un gasto en consumo de reactivo actual de poli cloruro de aluminio de 58,109.21 quetzales, con el sulfato de aluminio se tiene un gasto promedio mensual de 39,615.32 quetzales y para el cloruro férrico se tiene un gasto promedio mensual de 64,273.84 quetzales.

Tabla XI. **Ahorro mensual y anual por utilizar sulfato de aluminio**

Gasto actual por poli cloruro de aluminio	Q 58,109.21
Ahorro mensual por utilizar sulfato de aluminio	Q 18,493.89
Ahorro anual por utilizar sulfato de aluminio	Q 221,926.66
% de optimización de costos	32 %

Fuente: elaboración propia.

En base a la tabla XI, se puede estimar que el ahorro mensual por la sustitución del poli cloruro de aluminio por sulfato de aluminio en un costo – beneficio mensual de 18,493.89 quetzales mensuales, y se proyecta una optimización de costos anual del 32 % generando un ahorro en costo directo de gasto de reactivo de 221,926.66 quetzales.

3. IMPLEMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO

3.1. Cotización de proveedores de sulfato de aluminio

Se tiene varios proveedores de este material en la región, solo en la república de Guatemala se listan los siguientes proveedores:

Tabla XII. **Lista de proveedores que proveen sulfato de aluminio en Guatemala**

Proveedor	Dirección de contacto	Precio (Q) de referencia
Electroquímica de Guatemala, S.A.	Dirección: Calzada Roosevelt 22-23, Z. 11, Edificio Tikal Futura 15 15 C, Guatemala, Guatemala, Guatemala Sitio web: http://www.elqca.com Teléfono: (502) 22047400	2.75
Comercial Junapa, S.A.	Dirección: 50 AV C FINAL 0-90 Zona 2 Mixco COL MOLINO FLORES 2 Sitio web: http://www.aquienguate.com Teléfono: (502) 24355003	3.00
GTM Guatemala S.A.	Dirección: Calz Aguilar Batres 45-54 Z-11 Empresariales Monte María Niv 3 Of 301 Guatemala – Guatemala Sitio web: http://www.gtm.net	3.25
Grupo Premier, S.A.	Dirección: Calzada San Juan 33-96 zona 7 Guatemala Sitio web: http://www.grupopremiersa.com Teléfono: (502) 25056050	3.25

Fuente: elaboración propia.

3.2. Disponibilidad en base a volumen de consumo

Para la una planta de tratamiento de 500 metros cúbicos, según los resultados obtenidos en el capítulo 2 de la presente investigación se necesitan 17,000 kg de sulfato de aluminio al mes, la ventaja que se tiene es que todos los proveedores mencionados en el capítulo 3.1 cuentan con inventarios sanos ya que son distribuidores de este material para otras industrial y otros usos.

3.3. Programación de entregas de sulfato de aluminio

Para optimizar los cotos de operación de la planta de tratamiento, se recomienda que se realicen órdenes de compra abiertas, donde se solicite entregas semanales de sulfato de aluminio, con esto se garantiza la empresa tener inventarios bajos, alta rotación de la materia prima, bajo costo de activos, y optimizar espacio en bodega para otros materiales.

3.4. Preparación del sulfato de aluminio

Según los resultados presentados en el capítulo 2 de esta investigación, la dosis óptima de dosificación es de 600 ppm de sulfato de aluminio, para preparar esta solución se toma como base de 1000 litros de solución, lo que significa que hay que diluir 0.6 kg de sulfato de aluminio para lograr la concentración óptima.

Otra opción que se puede tomar es preparar una solución de sulfato de aluminio al 10 % en peso, y de esta solución dosificar 6 litros en 1000 litros de agua, de esta forma también se logra la concentración optima de dosificación.

3.5. Proceso de tratamiento de agua

El sistema de recolección de aguas residuales implementado en la empresa transporta los residuos líquidos de las distintas áreas hasta la pileta de captación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

En la pileta se captan los diferentes afluentes y se inicia el pretratamiento del agua residual, el cual consiste en lo siguiente:

- **Desbaste y desengrase:** Se extraen los sólidos de gran tamaño (pedazos de madera, hojas, ramas de árboles, plásticos, trapos, entre otros), mediante filtración a través de dos mallas de perfiles paralelos de acero inoxidable diseñadas para operar en línea dentro de la pileta de captación de aguas residuales cruda. La primera malla es gruesa, el tamaño de las aberturas (distancia entre barrotes) es de 0.7 centímetros. La segunda malla atrapa sólidos finos y grasas, las aberturas son más pequeñas, el tamaño es de 0.3 centímetros.
- **Desarenado:** Se elimina arenas que traspasan las mallas de desbaste por medio del canal con mampara, donde se sedimentan los materiales mayores a 200 micras.

El operador de la planta extrae una muestra del agua residual cruda de la pileta de captación cada 60 minutos para determinar el valor del pH.

De la pileta el agua residual ingresa a la piscina de homogenización, que consiste en un tanque de amortiguamiento y ecualización, que combina los distintos afluentes por medio de dos turbinas sumergibles de mezcla y aireación

con barrido de fondo, consiguiendo una única corriente caudal. El proceso para homogenizar los afluentes dura de 15 a 20 minutos.

Del agua homogenizada el operador extrae una muestra para determinar el valor del pH, si este se encuentra en un rango de 10 a 14 se debe de agregar ácido muriático para disminuirlo, si en dado caso el valor esta por debajo de 6, el operador de la planta se contacta con un encargado de la planta para que libere soda cáustica y así regular o neutralizar el pH del agua residual.

Regularizado el pH del agua residual se inicia el tratamiento físico-químico, que consiste en eliminar los sólidos del agua, se realiza a través de la aplicación de los químicos siguientes: Sulfato de aluminio se agrega después que la bomba de transferencia de la piscina introduce el agua al mezclador estático, este químico inestabiliza los sólidos disueltos, restándoles movilidad y agrupándolos, la dosis es la descrita en el trabajo, requiriendo mayor agitación para que el químico reaccione de forma óptima, esto se genera por las turbulencias generadas por el paso hacia el serpentín que dirige el agua hacia la planta de tratamiento Maxidaf.

La planta Maxidaf –MXD– 55 tiene las características siguientes: forma circular, con fondo cónico, tiene una rasqueta de fondo que recoge los fangos y los lleva al centro del depósito para bombearlos a la línea de tratamiento de fangos (pulmón-filtrador), una rasqueta de superficie que recoge las espumas y los sólidos flotantes, estos sólidos se forman a través de la floculación. En esta planta es donde se realiza la decantación, que consiste en dejar reposar el agua residual para sedimentar los cúmulos formados en la coagulación y sucesivamente en la floculación, el tiempo de permanencia en el decantador varía de 5 a 10 minutos. Para realizar este proceso se aplica el químico superfloc A-130 que agrupa las partículas inestabilizadoras en la coagulación

en núcleos mayores que sedimentan con mayor facilidad, cantidad más baja que el coagulante y deben mezclarse con el agua residual mediante agitación leve, por medio del compresor de aire y las bombas de recirculación.

Después de que el agua ya está tratada con sulfato de aluminio y floculante el operador toma otra muestra para determinar el valor del pH, y si el agua tratada cumple con las especificaciones se procede trasladarla hacia el tanque de agua clarificada, este tanque sirve para disminuir la espuma y mandar el agua directamente al río en la tubería que los conecta.

El tratamiento de fangos consiste en deshidratar y secar el lodo, con el objetivo de reducir su volumen, eliminando lo más posible el agua del fango, el método utilizado en esta actividad son los filtros prensa. Para realizar este tratamiento primero se procede a trasladar el fango hacia los tanques pulmón 1 y 2, los cuales tiene la función siguiente: el tanque 1 recibir los desechos del Maxidaf, estos son succionados al pulmón 2, donde se le agrega floculante en caso de que presenten sólidos con demasiado volumen, después son succionados por la bomba del tanque 2 y se mandan hacia los filtros de prensa.

Los filtros de prensa reciben los sólidos y por presión se obtiene agua, a través de una tubería retorna al ciclo de pretratamiento de agua y los sólidos prensados, se procede a almacenarlos en toneles, en los cuales caen directamente de los filtros a los toneles por medio de gravedad, cuando los toneles estén llenos se tapan y se colocan sobre tarimas ubicadas en el área asignada para que sea retirados por personal de la empresa cada 10 días o al acumularse más de 40 toneles. La limpieza de los filtros de prensa se efectúa una vez por día y se realiza, a través de aireación, ya que se tiene que solidificar el lodo acumulado en los filtros para que se seque y se puedan raspar por medio de espátulas.

3.6. Análisis fisicoquímico interno

Para evaluar la efectividad del funcionamiento de los químicos en la planta de tratamiento, se deben hacer una serie de análisis según el Decreto 236-2006, por lo general los análisis que sirven para control interno en una industria manufacturera de productos de consumo masivo para cuidado del hogar y personal son:

- pH
- Temperatura
- DBO
- DQO
- Sólidos disueltos
- Turbidez
- Control de grasas

Estos análisis también van a depender de la caracterización de las aguas y del giro del negocio, por ejemplo, para una curtiduría de cuero, los análisis críticos pueden ser metales pesados en general y nitrógeno por el proceso de curtido.

3.7. Análisis fisicoquímico externo

Para los análisis externos se deben buscar laboratorios certificados, que cumplan con todas las normativas de la legislación nacional, o la que la empresa demande en pro de la mejora de los mismos.

Los análisis que debe hacer un ente certificado externo, se deben realizar a los 20 parámetros que indica el decreto 236 – 2006, para garantizar la calidad de agua que se está enviado al cuerpo receptor, luego de haber sido tratada.

Según el Decreto 236-2006 la frecuencia de estos análisis debe ser de dos veces por año, y los resultados deben de ser presentados al ente auditor, según el régimen del negocio según lo citado en dicho reglamento.

3.8. Re – cotización de sulfato de aluminio

Se deben de hacer re cotizaciones con los distintos proveedores cada 3 meses, porque el sulfato de aluminio al ser un producto regular, el precio puede variar de acuerdo a la oferta y la demanda.

CONCLUSIONES

1. Se determinó con base a los resultados obtenidos que la combinación ideal de floculante y coagulante es de 400 ppm de sulfato de aluminio y 2 ppm de floculante, 600 ppm de cloruro férrico y 2 ppm de floculante y 100 ppm de poli cloruro de aluminio y 2 ppm de floculante, con estas condiciones de dosificación se garantiza que se cumple con los 22 parámetros de ley establecidos que cita el Acuerdo Gubernativo 236-2006 reglamento de aguas residuales y manejo de desechos sólidos.
2. El tiempo de reacción se mantiene de 3.5 minutos con poli cloruro de aluminio con 3.5 minutos con sulfato de aluminio, asimismo se mantuvo constante a 3.5 minutos con el cloruro férrico, cumpliendo el agua residual del proceso y después de ser tratada con los parámetros de ley establecidos que cita el Acuerdo Gubernativo 236- 2006 Reglamento de aguas residuales y manejo de desechos sólido.
3. Al utilizar el sulfato de aluminio se optimizan los costos de operación en un 32 % generando un ahorro en costo directo de gasto de reactivo de 221,926.66 quetzales anuales, cumpliendo el agua residual del proceso y después de ser tratada con los parámetros de ley establecidos que cita el Acuerdo Gubernativo 236- 2006 Reglamento de aguas residuales y manejo de desechos sólido.

4. Con los resultados obtenidos al utilizar el sulfato de aluminio, se optimizaron los costos de operación de la planta de tratamiento de agua residual de una industria manufacturera de productos de cuidado del hogar, cumpliendo con el Decreto ley 236-2006.

RECOMENDACIONES

1. La sustitución del poli cloruro de aluminio por sulfato de aluminio, debido a las características de ingreso del agua a la planta de tratamiento, ya que los costos de reactivos directos se pueden optimizar en 32 %, lo que genera un ahorro directo anual de 221,926.66 quetzales y se cumple con los parámetros de ley del Decreto 236-2006 para la etapa IV del año 2024.
2. Es aconsejable seguir manteniendo el tiempo de contacto del sulfato de aluminio en 3.5 minutos, ya que es el tiempo que tarda el agua dentro del serpentín y es el necesario para que el agua sea tratada y cumpla con los parámetros de ley del Decreto 236-2006 para la etapa IV del año 2024.
3. Para la selección del coagulante ideal, en cualquier proceso de tratamiento de agua, se realice una caracterización de las aguas para determinar el tipo de contaminación que el agua tiene, y determinar que parámetros son los que se quieren mejorar con el tratamiento de agua.
4. En general, para la optimización de los costos de operación de una planta tratamiento de una industria manufacturera de productos de cuidado del hogar se recomienda la utilización de sulfato de aluminio por la caracterización del agua, y cumple con los parámetros establecidos en el Decreto ley 236-2006.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. “Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos”, Diario oficial de Centro América, Guatemala 05 de mayo de 2006, 24 p.
2. Duarte Díaz F.A. & Mejía Doradea M.P. (2014). *Caracterización de aguas residuales domésticas e industriales del municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango y su propuesta de tratamiento*. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). 127 p.
3. Eiteman, D. K., Stonehill, A. & Moffett, M. H., (2011) “Las finanzas en las empresas multinacionales” Editorial. Pearson, decimosegunda edición, pág. 633.
4. García, C.O. (2014). Diseño del sistema Kanban para la administración de inventarios, en la industria de productos de consumo masivo para el cuidado del hogar (jabón), en Guatemala, Tesis de maestría en Administración Financiera, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

5. García Fayos B. (2007). *Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo*. Universidad Politecnica de Valencia. 95 p.
6. Gómez Cadenas M. (2002). *Evaluación del proceso coagulación-floculación en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de una empresa manufacturera de jabones, detergentes, dentífricos y desinfectantes*. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). 77 p.
7. Krieg, Georg. 2005, "Kanban – Controlled manufacturing sistem, Ed. Springer, USA, 201 p.
8. Martínez Navarro F. (2008). *Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional*. Universidad De Castilla La Mancha Facultad De Ciencias Químicas. 251 p
9. Orozco Miranda W. M. (2009). *Estudio de prefactibilidad para la instalación y operación comercial de una planta de purificación y envasado de agua para consumo humano en el municipio de Monjas, departamento de Jalapa, Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ciencias Económicas Escuela de Estudios de Postgrado Maestría En Formulación y Evaluación de Proyectos. 111 p.

10. Pierri Palma I. F. (2013). *Eficiencia en la remoción de nitrógeno y fósforo en los filtros percoladores de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). 57 p.
11. Rigola Lapeña, M. (1989). *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales*, Editorial Marcombo, S.A., 1ra ed., 160 p.
12. Romero Rojas, J.A.(2004). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Editorial Escuela colombiana de ingeniería, 3ra edición, 1248 p.
13. Sans R. & De Pablo, J. (1999). *Ingeniería Ambiental Contaminación y Tratamientos*, Editorial Marcombo, S.A., 1ra edición, 148 p.
14. Solórzano Ponce R.Y. (2005). *Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial proveniente de la planta de tratamiento la carbonera, municipio de Sanarate, Departamento del Progreso, Guatemala*. . Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería. 56 p.
15. Soto Velásquez M. H. (2007). *Diseño del proceso e implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales a nivel de laboratorio, provenientes de la línea de producción de químicos para lavandería de una planta industrial*. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Química. 65 p.

ANEXOS

ACUERDO GUBERNATIVO 236 – 2006

ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006

Guatemala, 5 de Mayo de 2006

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que por imperativo constitucional el Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga el impacto adverso del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico; para lo cual es necesario dictar normas que garanticen la utilización y el aprovechamiento racional de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, evitando su depredación.

CONSIDERANDO:

Que la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, tiene por objeto velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país.

CONSIDERANDO:

Que de conformidad con la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, el Gobierno debe emitir las disposiciones y reglamentos correspondientes, para ejercer el control, aprovechamiento y uso de las aguas; prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares y cualquier otra causa o fuente de contaminación hídrica.

CONSIDERANDO:

Que es importante contar con un instrumento normativo moderno que ofrezca certeza jurídica para la inversión, permita la creación de empleo, propicie el mejoramiento progresivo de la calidad de las aguas y contribuya a la sostenibilidad del recurso hídrico; coordinando para el efecto los esfuerzos de los órganos de la administración pública con las municipalidades y la sociedad civil.

POR TANTO:

En uso de las funciones que le confieren el artículo 183, literal e) de la Constitución Política de la República de Guatemala,

ACUERDA:

Emitir el siguiente

**“REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES
Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS”**

CAPÍTULO I

DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1. OBJETO. El objeto del presente Reglamento es establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reuso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos. Lo anterior para que, a través del mejoramiento de las características de dichas aguas, se logre establecer un proceso continuo que permita:

- a) Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana.
- b) Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización.
- c) Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

También es objeto del presente Reglamento establecer los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico.

Artículo 2. APLICACIÓN. El presente Reglamento debe aplicarse a:

- a) Los entes generadores de aguas residuales;
- b) Las personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público;
- c) Las personas que produzcan aguas residuales para reuso;
- d) Las personas que reusen parcial o totalmente aguas residuales; y
- e) Las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

Artículo 3. COMPETENCIA. Compete la aplicación del presente Reglamento al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Las Municipalidades y demás instituciones de gobierno, incluidas las descentralizadas y autónomas, deberán hacer del conocimiento de dicho Ministerio los hechos contrarios a estas disposiciones, para los efectos de la aplicación de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente.

CAPÍTULO II

DEFINICIONES

Artículo 4. DEFINICIONES. Para los efectos de la aplicación e interpretación de este Reglamento, se entenderá por:

AFLUENTE: el agua captada por un ente generador.

AGUAS RESIDUALES: las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.

AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL: las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas.

AGUAS RESIDUALES DE TIPO ORDINARIO: las aguas residuales generadas por las actividades domésticas, tales como uso en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado.

ALCANTARILLADO PLUVIAL: el conjunto de tuberías, canalizaciones y obras accesorias para recolectar y conducir las aguas de lluvia.

ALCANTARILLADO PÚBLICO: el conjunto de tuberías y obras accesorias utilizadas por la municipalidad, para recolectar y conducir las aguas residuales de tipo ordinario o de tipo especial, o combinación de ambas que deben ser previamente tratadas antes de descargarlas a un cuerpo receptor.

CARACTERIZACIÓN DE UNA MUESTRA: la determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.

CARACTERIZACIÓN DE UN EFLUENTE O UN AFLUENTE: la determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas, incluyendo caudal, de los parámetros requeridos en el presente Reglamento.

CARGA: el resultado de multiplicar el caudal por la concentración determinados en un efluente y expresada en kilogramos por día.

CAUDAL: el volumen de agua por unidad de tiempo.

COLIFORMES FECALES: el parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente.

CUERPO RECEPTOR: embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO: 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: 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.

DILUCION: el proceso que consiste en agregar un volumen de agua con el propósito de disminuir la concentración en un efluente de aguas residuales.

EFLUENTE DE AGUAS RESIDUALES: las aguas residuales descargadas por un ente generador.

ENTES GENERADORES: la persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, y cuyo efluente final se descarga a un cuerpo receptor.

ENTES GENERADORES EXISTENTES: los entes generadores establecidos previo a la vigencia del presente Reglamento.

ENTES GENERADORES NUEVOS: los entes generadores establecidos posteriormente a la vigencia del presente Reglamento.

ESTABILIZACIÓN DE LODOS: el proceso físico, químico o biológico al que se someten los lodos para acondicionarlos previo a su aprovechamiento o disposición final.

ESTERO: la zona del litoral que se inunda durante la pleamar. Puede ser tanto arenoso como rocoso y en ocasiones alcanza gran amplitud, tanto mayor cuanto más leve sea la pendiente y más notorias las mareas. Con frecuencia tiene un amplio desarrollo en las desembocaduras fluviales.

EUTROFIZACIÓN: el proceso de disminución de la calidad de un cuerpo de agua como consecuencia del aumento de nutrientes, lo que a su vez propicia el desarrollo de microorganismos y limita la disponibilidad de oxígeno disuelto que requiere la fauna y flora.

FERTIRRIEGO: la práctica agrícola que permite el reuso de un efluente de aguas residuales, que no requiere tratamiento, a fin de aprovechar los diversos nutrientes que posee para destinarlos en la recuperación y mejoramiento de suelos así como en fertilización de cultivos que no se consuman crudos o precocidos.

HUMEDAL: el sistema acuático natural o artificial, de agua dulce o salada, de carácter temporal o permanente, generalmente en remanso y de poca profundidad.

INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN AMBIENTAL: los documentos técnicos definidos en el Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental, Acuerdo Gubernativo No. 23-2003 y sus reformas, contenidos en los Acuerdos Gubernativos No. 424-2003 y 704-2003; los cuales permiten realizar una identificación y evaluación sistemática de los impactos ambientales de un proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad, desde la fase de construcción hasta la fase de abandono.

LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE: el valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reuso y lodos.

LODOS: los sólidos con un contenido variable de humedad provenientes del tratamiento de aguas residuales.

MANTO FREÁTICO: la capa de roca subterránea, porosa y fisurada que actúa como reservorio de aguas que pueden ser utilizables por gravedad o por bombeo.

META DE CUMPLIMIENTO: la determinación numérica de los valores que deben alcanzarse en la descarga de aguas residuales al final de cada etapa de cumplimiento. En el caso de los entes generadores nuevos y de las personas nuevas que descargan al alcantarillado público, al iniciar operaciones.

MODELO DE REDUCCIÓN PROGRESIVA: el régimen de cumplimiento de valores de parámetros en cargas, con parámetro de calidad asociado, en distintas etapas.

MONITOREO: el proceso mediante el cual se obtienen, interpretan y evalúan los resultados de una o varias muestras, con una frecuencia de tiempo determinada, para establecer el comportamiento de los valores de los parámetros de efluentes, aguas para reuso y lodos.

MUESTRA: la parte representativa, a analizar, de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.

MUESTRAS COMPUESTAS: dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.

MUESTRA SIMPLE: la muestra tomada en una sola operación que representa las características de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos en el momento de la toma.

PARÁMETRO: la variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos, asignándole un valor numérico.

PARÁMETRO DE CALIDAD ASOCIADO: el valor de concentración de demanda bioquímica de oxígeno, expresado en miligramos por litro, que determina la condición del efluente y se aplica en el modelo de reducción progresiva de cargas.

PERSONA QUE DESCARGA AL ALCANTARILLADO PÚBLICO: la persona individual o jurídica, pública o privada, que descarga aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público.

PERSONA EXISTENTE QUE DESCARGA AL ALCANTARILLADO PÚBLICO: la persona que descarga al alcantarillado público establecida previo a la vigencia del presente Reglamento.

PERSONA NUEVA QUE DESCARGA AL ALCANTARILLADO PÚBLICO: la persona que descarga al alcantarillado público establecida posteriormente a la vigencia del presente Reglamento.

PUNTO DE DESCARGA: el sitio en el cual el efluente de aguas residuales confluye en un cuerpo receptor o con otro efluente de aguas residuales.

REUSO: el aprovechamiento de un efluente, tratado o no.

SERVICIOS PÚBLICOS MUNICIPALES: aquellos que, de acuerdo con el Código Municipal, prestan las municipalidades directamente o los concesionan y que generan aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas.

SISTEMA DE ALCANTARILLADO PRIVADO: el conjunto de tuberías y obras accesorias para recolectar y conducir las aguas residuales de tipo especial, originadas por distintas personas individuales o jurídicas privadas, hasta su disposición a una planta de tratamiento de aguas residuales privada.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales.

CAPÍTULO III

ESTUDIO TÉCNICO

Artículo 5. ESTUDIO TÉCNICO. La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, que vierten éstas o no a un cuerpo receptor o al alcantarillado público tendrán la obligación de preparar un estudio avalado por técnicos en la materia a efecto de caracterizar efluentes, descargas, aguas para reuso y lodos.

Artículo 6. CONTENIDO DEL ESTUDIO TÉCNICO. Las personas individuales o jurídicas, públicas o privadas, indicadas en el artículo 5 del presente Reglamento, para documentar el estudio técnico deberán tomar en cuenta los siguientes requisitos:

- I. Información general:
 - a) Nombre, razón o denominación social.
 - b) Persona contacto ante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
 - c) Descripción de la naturaleza de la actividad de la persona individual o jurídica sujeta al presente Reglamento.
 - d) Horarios de descarga de aguas residuales.
 - e) Descripción del tratamiento de aguas residuales.
 - f) Caracterización del efluente de aguas residuales, incluyendo sólidos sedimentables.
 - g) Caracterización de las aguas para reuso.
 - h) Caracterización de lodos a disponer.
 - i) Caracterización del afluente. Aplica en el caso de la deducción especial de parámetros del artículo 23 del presente Reglamento.
 - j) Identificación del cuerpo receptor hacia el cual se descargan las aguas residuales, si aplica.
 - k) Identificación del alcantarillado hacia el cual se descargan las aguas residuales, si aplica.
 - l) Enumeración de parámetros exentos de medición y su justificación respectiva.
- II. Documentos:
 - a) Plano de localización y ubicación, con coordenadas geográficas, del ente generador o de la persona que descarga aguas residuales al alcantarillado público.
 - b) Plano de ubicación y localización, con coordenadas geográficas, del o los dispositivos de descarga, para la toma de muestras, tanto del afluente como del efluente. En el caso del afluente cuando aplique.
 - c) Plan de gestión de aguas residuales, aguas para reuso y lodos. Las municipalidades o empresas encargadas de prestar el servicio de tratamiento de aguas residuales, a personas que descargan sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, incluirán la siguiente información: el catastro de dichos usuarios y el monitoreo de sus descargas.
 - d) Plan de tratamiento de aguas residuales, si se descargan a un cuerpo receptor o alcantarillado.
 - e) Informes de resultados de las caracterizaciones realizadas.

Artículo 7. RESGUARDO DEL ESTUDIO TÉCNICO. La persona individual o jurídica conservará el Estudio Técnico, manteniéndolo a disposición de las autoridades del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales cuando se lo requieran por razones de seguimiento y evaluación.

Artículo 8. INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN, CONTROL Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL. Para los efectos del cumplimiento del artículo 97 del Código de Salud, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales al aprobar un Instrumento de Evaluación Ambiental a los entes generadores nuevos, incluirá en la resolución el dictámen relacionado con la descarga de aguas residuales de conformidad con lo establecido en el presente Reglamento.

Para efectos de verificación y control del cumplimiento de este Reglamento, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales deberá utilizar los Instrumentos contenidos en el Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental.

Artículo 9. PLAZO PARA LA EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO Y CUMPLIMIENTO.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales deberá evaluar en forma permanente el desempeño ambiental y el cumplimiento de los planes contemplados en el numeral II Documentos, literales c) y d) del artículo 6.

Artículo 10. VIGENCIA DEL ESTUDIO TÉCNICO. La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas deberá, cada cinco años, actualizar el contenido del estudio técnico estipulado en el presente Reglamento.

Artículo 11. AMPLIACION DEL ESTUDIO TÉCNICO. En caso de que las autoridades del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales determinen que la información del artículo 6 se puede fortalecer adicionando datos, justificará por escrito su requerimiento.

Artículo 12. EXENCIÓN DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS. La exención de medición de parámetros procederá cuando se demuestre a través del Estudio al que se refiere el artículo 5 del presente Reglamento, que por las características del proceso productivo no se generan algunos de los parámetros establecidos en el presente Reglamento, aplicables a descarga de aguas residuales, reuso de aguas residuales y lodos.

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN

Artículo 13. CARACTERIZACIÓN DEL AFLUENTE Y DEL EFLUENTE DE AGUAS RESIDUALES. La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, que vierten éstas en un cuerpo receptor o al alcantarillado público, deberá realizar la caracterización del afluente, así como del efluente de aguas residuales e incluir los resultados en el estudio técnico.

Artículo 14. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS PARA REUSO. La persona individual o jurídica, pública o privada, que genere aguas residuales para reuso o las reuse, deberá realizar la caracterización de las aguas que genere y que desea aprovechar e incluir el resultado en el estudio técnico.

Artículo 15. CARACTERIZACIÓN DE LODOS. La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar lodos, deberá realizar la caracterización de los mismos e incluir el resultado en el estudio técnico.

CAPÍTULO V

PARÁMETROS PARA AGUAS RESIDUALES Y VALORES DE DESCARGA A CUERPOS RECEPTORES

Artículo 16. PARÁMETROS DE AGUAS RESIDUALES. Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales son los siguientes:

- a) Temperatura,
- b) Potencial de hidrógeno,
- c) Grasas y aceites,
- d) Materia flotante,
- e) Sólidos suspendidos totales,
- f) Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius,
- g) Demanda química de oxígeno,
- h) Nitrógeno total,

- i) Fósforo total,
- j) Arsénico,
- k) Cadmio,
- l) Cianuro total,
- m) Cobre,
- n) Cromo hexavalente,
- o) Mercurio,
- p) Níquel,
- q) Plomo,
- r) Zinc,
- s) Color y
- t) Coliformes fecales.

Artículo 17. MODELO DE REDUCCIÓN PROGRESIVA DE CARGAS DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO. Los entes generadores existentes deberán reducir en forma progresiva la demanda bioquímica de oxígeno de las aguas residuales que descarguen a un cuerpo receptor, conforme a los valores y etapas de cumplimiento del cuadro siguiente:

Etapa	Uno				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil once				
Duración, años	5				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<6000	6000≤EG<12000	12000≤EG<25000	25000≤EG<50000	50000≤EG<250000
Reducción porcentual	10	20	30	35	50
Etapa	Dos				
Duración, años	4				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil quince				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<5500	5500≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<50000	50000≤EG<125000
Reducción porcentual	10	20	40	45	50
Etapa	Tres				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veinte				
Duración, años	5				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<5000	5000≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<65000	
Reducción porcentual	50	70	85	90	
Etapa	Cuatro				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veinticuatro				
Duración, años	4				
Carga, kilogramos por día	3000<EG<4000			4000≤EG<7000	
Reducción porcentual	40			60	

EG = carga del ente generador correspondiente, en kilogramos por día.

Para efectos de la aplicación del presente modelo, el valor inicial de descarga estará determinado en el Estudio Técnico. Dicho valor inicial, se refiere a la carga expresada en kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno. Para los porcentajes de reducción de la etapa uno, se utilizará el valor inicial de descarga del Estudio Técnico y para cada una de las etapas siguientes, la carga inicial será el resultado obtenido de la reducción porcentual de la etapa anterior.

Artículo 18. DETERMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO. Los entes generadores, en el Estudio Técnico, deberán incluir la determinación de la demanda química de oxígeno, a efecto de establecer su relación con la demanda bioquímica de oxígeno, mediante la siguiente fórmula: demanda química de oxígeno dividido entre la demanda bioquímica de oxígeno.

Artículo 19. META DE CUMPLIMIENTO. La meta de cumplimiento, al finalizar las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas, se establece en tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno, con un parámetro de calidad asociado igual o menor que doscientos miligramos por litro de demanda bioquímica de oxígeno. Los entes generadores existentes que alcancen y mantengan éstos valores habrán cumplido con la meta establecida en este artículo y con el modelo de reducción progresiva de cargas del artículo 17 del presente Reglamento.

Los entes generadores existentes que registren cargas menores o iguales a tres mil kilogramos por día, pero que registren valores mayores a doscientos miligramos por litro en el parámetro de calidad asociado, procederán a efectuar la reducción del valor de dicho parámetro de conformidad con los porcentajes correspondientes a la primera columna del lado izquierdo correspondiente a los rangos, en el modelo de reducción progresiva de cargas del artículo 17, del presente Reglamento.

Los entes generadores existentes de aguas residuales de tipo especial y ordinario que después de tratar dichas aguas, y que en cualesquiera de las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas alcancen y mantengan valores en el parámetro de calidad asociado, iguales o menores que cien miligramos por litro en la demanda bioquímica de oxígeno, podrán realizar descargas mayores a tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno.

Artículo 20. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A CUERPOS RECEPTORES. Los límites máximos permisibles de los parámetros para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores son:

			Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	100	50	25	20
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	30	15	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^8$	$< 1 \times 10^6$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
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	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	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	1500	1300	1000	750	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Artículo 21. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA ENTES GENERADORES NUEVOS. Los entes generadores nuevos deberán cumplir, desde el inicio de sus operaciones, con una meta de tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno, con un parámetro de calidad asociado igual o menor que doscientos miligramos por litro de demanda bioquímica de oxígeno. En el caso de que el parámetro de calidad asociado sea igual o menor a cien miligramos por litro en la demanda bioquímica de oxígeno, podrán realizar descargas mayores a tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno.

Adicionalmente, deberán cumplir los límites máximos permisibles de los parámetros siguientes:

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	20
Fósforo total	Miligramos por litro	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 ⁴
Arsénico	Miligramos por litro	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	1
Cobre	Miligramos por litro	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.01
Níquel	Miligramos por litro	2
Plomo	Miligramos por litro	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10
Color	Unidades platino cobalto	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Cuando de conformidad con lo establecido en el artículo 8 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente se requiera un Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, el ente generador deberá cumplir con los valores de los límites máximos permisibles contenidos en el presente artículo.

El ente generador nuevo que, por razones técnicas debidamente justificadas, requiera de un período de estabilización productiva, definirá en el Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental la necesidad y etapas de ajuste consecutivas dentro del período de estabilización, el cual no excederá de seis meses, contados a partir del inicio de operaciones del ente generador. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, establecerá en la resolución aprobatoria del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente, el plazo o plazos consecutivos de las etapas que fueren necesarias para dicho período de estabilización.

Artículo 22. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES EN ESTEROS. Cuando el cuerpo receptor sea un estero se aplicarán las siguientes disposiciones:

- a) Los entes generadores existentes deberán observar los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 20 del presente Reglamento. El parámetro de demanda bioquímica de oxígeno aplicable es el siguiente:

Parámetro	Dimensional	Valor inicial	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	500	300	250	150	100

- b) Los entes generadores nuevos deberán aplicar los límites máximos permisibles y la reducción de la última etapa del artículo 20 y del artículo 22 literal a).
- c) Para los entes generadores que descargan aguas residuales de tipo especial a esteros, los valores de las concentraciones de los parámetros establecidos en el presente Reglamento, se determinan de acuerdo a la diferencia entre la concentración del efluente y la del afluente. El resultado que se obtenga se utilizará como base para establecer si el ente generador cumple con los límites máximos permisibles de los artículos 20 y 22 literal a) del presente Reglamento.
- d) A los entes generadores regulados en el presente artículo no les serán aplicables los artículos 17 y 19, del presente Reglamento.

Artículo 23. DEDUCCIÓN ESPECIAL DE VALORES EN PARÁMETROS. A los entes generadores de aguas residuales de tipo especial que registren en sus afluentes valores mayores a los límites máximos permisibles de los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos, se aplicará el concepto de deducción especial. Dicha deducción especial consiste en restar el valor de cada parámetro del efluente del valor registrado en el afluente. El resultado que se obtenga se utilizará como base para establecer si el ente generador cumple con los límites máximos permisibles del presente Reglamento.

Artículo 24. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE DESCARGAS A CUERPOS RECEPTORES PARA AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y DE URBANIZACIONES NO CONECTADAS AL ALCANTARILLADO PÚBLICO. Las municipalidades o empresas encargadas del tratamiento de aguas residuales del alcantarillado público y las urbanizaciones existentes no conectadas al alcantarillado público, cumplirán con los límites máximos permisibles para descargar a cuerpos receptores, de cualesquiera de las formas siguientes:

- a) Con lo preceptuado en los artículos 17, 18, 19 y 20, de conformidad con los plazos establecidos en estos artículos del presente Reglamento.

b) Con los límites máximos permisibles y plazos establecidos en el siguiente cuadro:

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro	Dos de mayo de dos mil veintinueve
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	100	50	10	10	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	700	250	100	100	100
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	300	275	200	100	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	150	150	70	20	20
Fósforo total	Miligramos por litro	50	40	20	10	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^8$	$< 1 \times 10^7$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	1	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	3	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.02	0.02	0.01	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	2	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	0.4	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1000	750	500	500

Todas las municipalidades deberán cumplir con tener en operación, por lo menos con sistemas de tratamiento primario al cumplirse a más tardar el dos de mayo del dos mil quince.

Las municipalidades que reciban descargas de aguas residuales de tipo especial en el alcantarillado público, que contengan compuestos que no puedan ser tratados en un sistema de tratamiento primario, no estarán sujetas a los límites máximos permisibles de demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos, nitrógeno total y fósforo total en la etapa uno del cuadro anterior, del presente artículo, lo cual deberá ser acreditado en el Estudio Técnico.

La anterior disposición no exime a las municipalidades de cumplir con límites máximos permisibles de los parámetros del párrafo anterior en las etapas subsiguientes.

CAPÍTULO VI

PARÁMETROS PARA AGUAS RESIDUALES Y VALORES DE DESCARGA AL ALCANTARILLADO PÚBLICO

Artículo 25. PARÁMETROS. Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales vertidas al alcantarillado público son los siguientes:

- a) Temperatura,
- b) Potencial de hidrógeno,
- c) Grasas y aceites,
- d) Materia flotante,

- e) Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius,
- f) Demanda química de oxígeno,
- g) Sólidos suspendidos totales,
- h) Nitrógeno total,
- i) Fósforo total,
- j) Arsénico,
- k) Cadmio,
- l) Cianuro total,
- m) Cobre,
- n) Cromo hexavalente,
- o) Mercurio,
- p) Níquel,
- q) Plomo,
- r) Zinc,
- s) Color y
- t) Coliformes fecales.

Artículo 26. MODELO DE REDUCCIÓN PROGRESIVA DE CARGAS DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO PARA DESCARGAS AL ALCANTARILLADO PÚBLICO. Las personas existentes que descargan al alcantarillado público deberán reducir en forma progresiva la demanda bioquímica de oxígeno, conforme a los valores y las etapas de cumplimiento del cuadro siguiente:

Etapas		Uno				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil once					
Duración, años	5					
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<6000	6000≤EG<12000	12000≤EG<25000	25000≤EG<50000	50000≤EG<250000	
Reducción porcentual	10	20	30	35	50	
Etapas		Dos				
Duración, años	4					
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil quince					
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<5500	5500≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<50000	50000≤EG<125000	
Reducción porcentual	10	20	40	45	50	
Etapas		Tres				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veinte					
Duración, años	5					
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<5000	5000≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<65000		
Reducción porcentual	50	70	85	90		
Etapas		Cuatro				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veinticuatro					
Duración, años	4					
Carga, kilogramos por día	3000<EG<4000		4000≤EG<7000			
Reducción porcentual	40		60			

EG = carga del ente generador correspondiente, en kilogramos por día.

Las personas existentes que descargan aguas residuales al alcantarillado público y que registren cargas menores o iguales a tres mil kilogramos por día, deben continuar con la reducción de la carga, hasta alcanzar el parámetro de valor asociado de cada etapa.

Para efectos de la aplicación del presente modelo, el valor inicial de descarga estará determinado en el Estudio Técnico; dicho valor inicial, se refiere a la carga expresada en kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno. Para los porcentajes de reducción de la etapa uno se utilizará el valor inicial de descarga del Estudio Técnico y para cada una de las etapas siguientes, la carga inicial será el resultado obtenido de la reducción porcentual de la etapa anterior.

Artículo 27. PARÁMETRO DE CALIDAD ASOCIADO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO. Las personas que descarguen aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, deben cumplir con las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas del artículo 26 y con los valores del parámetro de calidad asociado de demanda bioquímica de oxígeno, que se presentan en el siguiente cuadro:

Parámetro	Dimensional	Valor inicial	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	3500	1500	750	450	200

Artículo 28. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES AL ALCANTARILLADO PÚBLICO. Para la descarga de las aguas residuales de tipo especial hacia un alcantarillado público, se deberá cumplir con los límites máximos permisibles de conformidad con las etapas de cumplimiento correspondientes establecidos en el cuadro siguiente:

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	200	100	60	60
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	1500	700	400	200
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	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
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 ⁸	< 1x10 ⁶	< 1x10 ⁵	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
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	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	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	1500	1300	1000	750	500

Las personas que empleen colorantes no biodegradables en sus procesos productivos y que descarguen aguas residuales al alcantarillado público, deberán indicar en el estudio técnico los tratamientos utilizados para cumplir con los límites máximos permisibles de color en las etapas correspondientes, con el propósito de evitar su incorporación al cuerpo receptor.

Artículo 29. DETERMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO PARA LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL AL ALCANTARILLADO PÚBLICO. Las personas que descarguen aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, deberán incluir en el Estudio Técnico a que se hace referencia en el artículo 5 del presente Reglamento, la determinación de la demanda química de oxígeno a efecto de establecer su relación con la demanda bioquímica de oxígeno, mediante la siguiente fórmula: demanda química de oxígeno dividido entre la demanda bioquímica de oxígeno.

Artículo 30. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA PERSONAS NUEVAS QUE DESCARGUEN AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL AL ALCANTARILLADO PÚBLICO. Cuando de conformidad con lo establecido en el artículo 8 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, a las personas nuevas que descarguen aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, se les requiera un Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, deberán cumplir con los valores de los límites máximos permisibles contenidos en el siguiente cuadro:

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	< 40
Grasas y aceites	Miligramos por litro	60
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	200
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	200
Nitrógeno total	Miligramos por litro	40
Fósforo total	Miligramos por litro	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 ⁴
Arsénico	Miligramos por litro	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	1
Cobre	Miligramos por litro	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.01
Níquel	Miligramos por litro	2
Plomo	Miligramos por litro	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10
Color	Unidades platino cobalto	500

La persona que, por razones técnicas debidamente justificadas, requiera de un período de estabilización productiva, definirá en el Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental la necesidad y etapas de ajuste consecutivas dentro del período de estabilización, el cual no excederá de seis meses, contados a partir del inicio de operaciones del ente generador. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, establecerá en la resolución aprobatoria del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente, el plazo o plazos consecutivos de las etapas que fueren necesarias para dicho período de estabilización.

Artículo 31. OPCIONES DE CUMPLIMIENTO DE PARÁMETROS PARA LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL AL ALCANTARILLADO PÚBLICO. Las personas individuales o jurídicas, públicas o privadas que se encuentren autorizadas por la municipalidad para descargar aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, podrán cumplir los límites máximos permisibles de cualesquiera de las formas siguientes:

- a) Estableciendo sistemas de tratamiento propios.
- b) Pagando a la municipalidad o a las empresas encargadas del tratamiento de aguas residuales del alcantarillado público, una tasa correspondiente al servicio que se preste, siempre y cuando dichas municipalidades cuenten con sistema de tratamiento para aguas residuales en operación.

Se exceptúan de la opción de cumplimiento contenida en el inciso b) del presente artículo, las personas que descarguen aguas residuales con metales pesados cuyos límites máximos permisibles excedan de los valores establecidos en los artículos 28 y 30.

Artículo 32. EXENCIÓN DE PAGO POR SERVICIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Las personas que descarguen sus aguas residuales al alcantarillado público, cumpliendo con los límites máximos permisibles de la literal b) del artículo 24 del presente Reglamento, estarán exentas de todo pago por los servicios de tratamiento de aguas residuales brindado por las Municipalidades o las concesionarias.

Artículo 33. CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE TARIFAS DE SERVICIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. De acuerdo con lo establecido en el artículo 3 del Código Municipal, y para efectos de este Reglamento, las municipalidades coordinarán con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales la determinación de los criterios técnicos que servirán de base para establecer las tarifas del servicio de tratamiento de aguas residuales, para lo cual se tomará en cuenta como mínimo lo siguiente:

- a) Los costos de operación, mantenimiento, mejoramiento de calidad y cobertura de servicios.
- b) Los límites máximos permisibles establecidos en este Reglamento.
- c) Los estudios técnicos cuyos valores y caracterización sean conocidos por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y el que deba realizar la Municipalidad jurisdiccional.
- d) La tarifa será diferenciada atendiendo a las características de cada descarga.

Las Municipalidades establecerán las tarifas o tasas respectivas de conformidad con el propio Código Municipal.

CAPÍTULO VII

PARÁMETROS DE AGUAS PARA REUSO

Artículo 34. AUTORIZACIÓN DE REUSO. El presente Reglamento autoriza los siguientes tipos de reuso de aguas residuales, que cumplan con los límites máximos permisibles que a cada uso correspondan.

TIPO I: REUSO PARA RIEGO AGRÍCOLA EN GENERAL: uso de un efluente que debido a los nutrientes que posee se puede utilizar en el riego extensivo e intensivo, a manera de fertirriego, para recuperación y mejoramiento de suelos y como fertilizante en plantaciones de cultivos que, previamente a su consumo, requieren de un proceso industrial, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35. Se exceptúa de este reuso los cultivos considerados en el tipo II.

TIPO II: REUSO PARA CULTIVOS COMESTIBLES: con restricciones en el riego de áreas con cultivos comestibles que se consumen crudos o precocidos, como hortalizas y frutas. Para el caso de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno, deberá cumplirse de conformidad con los límites máximos permisibles del artículo 35. Adicionalmente, para otros parámetros, deberán cumplir los límites máximos permisibles presentados en el cuadro del artículo 21 del presente Reglamento, a excepción de sólidos en suspensión, nitrógeno total y fósforo total.

TIPO III: REUSO PARA ACUACULTURA: uso de un efluente para la piscicultura y camaronicultura, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

TIPO IV: REUSO PARA PASTOS Y OTROS CULTIVOS: con restricciones en el riego de áreas de cultivos no alimenticios para el ser humano como pastos, forrajes, fibras, semillas y otros, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

TIPO V: REUSO RECREATIVO: con restricciones en el aprovechamiento para fines recreativos en estanques artificiales donde el ser humano sólo puede tener contacto incidental, incluido el riego en áreas verdes, donde el público tenga contacto o no, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

Cualquier otro reuso no contemplado en el presente artículo deberá ser autorizado previamente por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Artículo 35. PARÁMETROS Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA REUSO. El agua residual para reuso deberá cumplir con los límites máximos permisibles del siguiente cuadro:

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

Artículo 36. METALES PESADOS Y CIANUROS. Los límites máximos permisibles de metales pesados y cianuros en las aguas para reuso son los presentados en el cuadro del artículo 21 del presente Reglamento.

Artículo 37. RECIRCULACIÓN INTERNA DE AGUA. Todo ente generador podrá recircular las aguas residuales antes de que las mismas se viertan al cuerpo receptor. Dicha recirculación no se considerará como reuso ni estará sujeta a las disposiciones del presente Reglamento.

CAPÍTULO VIII

PARÁMETROS PARA LODOS

Artículo 38. OBLIGATORIEDAD. Todos los lodos producidos como consecuencia del tratamiento de aguas residuales que representen un riesgo para el ambiente y la salud y seguridad humana deben cumplir los límites máximos permisibles para su disposición final del presente Reglamento.

Artículo 39. APLICACIÓN. Los lodos que se regulan en el presente Reglamento son aquellos generados por el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario o especial.

Artículo 40. TECNOLOGÍA Y SISTEMAS PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS.

Se permite el tratamiento de los lodos por medio de la tecnología o los sistemas que el ente generador considere más adecuados a sus condiciones particulares, incluyendo la incineración a temperaturas mayores de mil quinientos grados Celsius.

Artículo 41. DISPOSICIÓN FINAL. Se permite efectuar la disposición final de lodos, por cualesquiera de las siguientes formas:

- a) Aplicación al suelo: acondicionador, abono o compost;
- b) Disposición en rellenos sanitarios;
- c) Confinamiento o aislamiento; y,
- d) Combinación de las antes mencionadas.

Artículo 42. PARÁMETROS Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LODOS.

Para poder efectuar la disposición final de lodos de acuerdo a las formas descritas en el artículo 41 del presente Reglamento, los valores de sus propiedades fisicoquímicas no deben exceder los límites máximos permisibles descritos en el siguiente cuadro:

Disposición Final	Dimensionales	Aplicación al suelo	Disposición en rellenos sanitarios	Confinamiento o aislamiento
Arsénico	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	> 100
Cadmio	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	> 100
Cromo	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	1500	3000	> 3000
Mercurio	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	25	50	> 50
Plomo	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	500	1000	> 1000

Los expresados en el cuadro anterior son los límites máximos permisibles para suelos con potencial de hidrógeno menor que siete unidades. En los suelos que posean potencial de hidrógeno mayor o igual que siete unidades se podrán disponer lodos hasta un cincuenta por ciento más de los valores presentados como límites máximos permisibles.

Artículo 43. APLICACIÓN AL SUELO. Los lodos que presenten metales pesados y que se ajusten a los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 42, podrán disponerse como acondicionador del suelo, en cuyo caso se permitirá disponer hasta doscientos mil kilogramos por hectárea por año. En caso de que la aplicación sea como abono se permitirá disponer hasta cien mil kilogramos por hectárea por año.

Artículo 44. DISPOSICIÓN HACIA RELLENOS SANITARIOS. Se permitirá la disposición en un relleno sanitario de los lodos que no sean bioinfecciosos, que no requieran confinamiento y que cumplan con los límites máximos permisibles del artículo 42 del presente Reglamento.

Los rellenos sanitarios deberán contar con autorización del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y con aval del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

Artículo 45. CONFINAMIENTO O AISLAMIENTO. Los lodos que en su estructura posean compuestos que requieran confinamiento o aislamiento para evitar el impacto adverso del manto freático, las fuentes de suministro de agua superficiales y subterráneas, el suelo, subsuelo y el aire, deben disponerse en recintos que posean autorización del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y el aval de los Ministerios de Salud Pública y Asistencia Social y de Energía y Minas.

Artículo 46. COMERCIALIZACIÓN. La comercialización de los lodos producidos es libre, siempre que los mismos se caractericen y se cumpla con los tratados y convenios internacionales que rijan en la materia ratificados por Guatemala y con lo siguiente:

- a) No debe permitirse el contacto humano directo con los lodos.
- b) Los lodos deben cumplir las especificaciones descritas en el artículo 42.
- c) El transporte de lodos debe realizarse en recipientes y vehículos acondicionados para evitar fugas y derrames.
- d) Los recintos para su almacenamiento transitorio deben ser autorizados para el efecto por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- e) Las empresas que presten los servicios de extracción, manejo o disposición final deben contar con la autorización del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, y si es aplicable del Ministerio de Energía y Minas.

Artículo 47. CONTRATACIÓN DE SERVICIOS. Las empresas que presten los servicios de extracción, manejo o disposición final de lodos deberán cumplir lo dispuesto en los artículos 41, 42, 43, 44, 45 y 46 del presente Reglamento. En el caso de la contratación de cualquiera de los servicios establecidos en este artículo, el ente generador queda exento de responsabilidad.

Artículo 48. VIGILANCIA DE CUMPLIMIENTO. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales coordinará a través de sus dependencias la realización, a su costa, de muestreos aleatorios de los lotes de lodos que sean dispuestos, a efecto de verificar el cumplimiento de los parámetros del artículo 42 del presente Reglamento, cuando sea aplicable.

CAPÍTULO IX

SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN

Artículo 49. DE LA FRECUENCIA DE TOMA DE MUESTRAS. Para el seguimiento y evaluación de aguas residuales y de aguas para reuso, los entes generadores deberán tomar a su costa, como mínimo, dos muestras al año y efectuar los análisis que correspondan de conformidad con los parámetros contenidos en el estudio técnico.

Para el seguimiento y evaluación de lodos, los entes generadores deberán tomar a su costa, como mínimo, dos muestras al año y efectuar los análisis que correspondan de conformidad con los parámetros contenidos en el estudio técnico. En el caso de las entidades contratadas para prestar los servicios de extracción, manejo y disposición final de lodos, éstas tendrán que realizar su toma de muestras de acuerdo al siguiente cuadro:

Peso promedio de lodos producidos	Periodicidad
Entre 0 y 1500 kilogramos diarios	Trimestral
Entre 1501 y 3000 kilogramos diarios	Bimensual
Más de 3000 kilogramos diarios	Mensual

Los entes generadores deberán llevar un registro de los resultados de estos análisis y conservarlos durante un plazo de cinco años posteriores a su realización, para su presentación al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales cuando le sea requerido por razones de seguimiento y evaluación.

El número de muestras simples requeridas para conformar una muestra, se indica en el cuadro siguiente:

Número de muestras simples para conformar una muestra compuesta e intervalos por muestreo		
Horas por día que opera la actividad que genera la descarga de aguas residuales	Número mínimo de muestras simples para conformar una muestra compuesta	Intervalo mínimo en horas entre toma de muestras simples
Menor que 8	2	2
De 8 a 12	3	3
Mayor que 12	4	3

Artículo 50. MEDICIÓN DE CAUDAL. En la toma de cada muestra simple se hará una medición de caudal, para poder relacionarla con la concentración y así determinar la carga.

Artículo 51. VIGILANCIA DE CUMPLIMIENTO. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales vigilará que se cumplan con todos los requisitos y procedimientos, establecidos en el presente Reglamento para los entes generadores y para las personas que descargan aguas residuales al alcantarillado público. Asimismo, coordinará a través de sus dependencias competentes, la realización de muestreos aleatorios en los cuerpos receptores y en los dispositivos para toma de muestras, para evaluar el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico y el cumplimiento del presente Reglamento.

Artículo 52. CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVOS PARA TOMA DE MUESTRAS. Los entes generadores deberán contar, en todos los puntos de descarga, con un dispositivo para facilitar la toma de muestras y la medición de caudales; dichos dispositivos deberán estar ubicados en lugares accesibles para la inspección. En el caso de los entes generadores a los cuales se aplique el artículo 22 y 23 contarán con el dispositivo para la toma de muestras del afluente.

Artículo 53. LUGARES EXCLUSIVOS PARA TOMA DE MUESTRAS. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y otras entidades de gobierno, incluidas las descentralizadas y autónomas, de acuerdo con las competencias asignadas por la Ley, a través de sus dependencias respectivas, coordinarán las acciones para la toma de muestras, exclusivamente en lugares donde se encuentran ubicados los dispositivos de descarga mencionados en el artículo 52.

Artículo 54. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y MUESTREO. Para los efectos de lo previsto en el presente Reglamento, los laboratorios estatales, universitarios, privados legalmente constituidos, o los laboratorios establecidos por los entes generadores, emplearán los métodos de análisis y muestreo establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normas; o en su defecto por entidades como:

- a) Asociación Americana de Salud Pública, Asociación Americana de Obras de Agua y Federación de Ambientes Acuáticos en los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales;
- b) Organizaciones técnicas reconocidas en el ámbito nacional e internacional, y
- c) Especificaciones del fabricante de los equipos que se utilicen.

Los informes de los resultados de los análisis de laboratorio, deberán ser firmados por profesional colegiado activo especializado en la materia.

CAPÍTULO X

PROHIBICIONES Y SANCIONES

Artículo 55. PROHIBICIÓN DE DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES. Se prohíbe terminantemente la disposición de aguas residuales de tipo ordinario a flor de tierra, en canales abiertos y en alcantarillado pluvial.

Artículo 56. PROHIBICIÓN DE DESCARGA DIRECTA. Se prohíbe descargar directamente aguas residuales no tratadas al manto freático.

Artículo 57. PROHIBICIÓN DE DILUIR. Se prohíbe el uso de cualquier tipo de aguas ajenas al ente generador, con el propósito de diluir las aguas residuales. Ninguna meta contemplada en el presente Reglamento se puede alcanzar diluyendo.

Artículo 58. PROHIBICIÓN DE REUSOS. Se prohíbe el reuso de aguas residuales en los siguientes casos:

- a) En las zonas núcleo de las áreas protegidas siguientes: parque nacional, reserva biológica, biotopo protegido, monumento natural, área recreativa natural, manantial y refugio de vida silvestre;
- b) En las zonas núcleo de los sitios Ramsar, declarados en el marco de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas;
- c) En otras áreas donde se ponga en riesgo la biodiversidad y la salud y seguridad humana;
- d) Para el uso con fines recreacionales exceptuando el tipo V, indicado en el artículo 34.

Artículo 59. PROHIBICIÓN DE DISPOSICIÓN DE LODOS. Se prohíbe terminantemente efectuar la disposición final de lodos en alcantarillados o cuerpos de agua superficiales o subterráneos.

Además, se prohíbe la disposición de lodos como abono para cultivos comestibles que se pueden consumir crudos o precocidos, hortalizas y frutas, sin haber efectuado su estabilización y desinfección respectiva ni haber determinado la ausencia de metales pesados y que no excedan las dos mil unidades formadoras de colonia por kilogramo de coliformes fecales.

Artículo 60. APLICACIÓN DE SANCIONES. Las infracciones a este Reglamento darán lugar a la aplicación de cualesquiera de las sanciones establecidas en la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, según el grado de incumplimiento de límites máximos permisibles observando:

- a) La mayor o menor gravedad del impacto ambiental, según el tipo de incumplimiento de que se trate,
- b) La trascendencia del perjuicio a la población,
- c) Las condiciones en que se produce, y
- d) La reincidencia del infractor.

La omisión del cumplimiento de alguno de los requerimientos establecidos en el artículo 6 del presente reglamento, dará lugar a que el Ministerio de Ambiente y de Recursos Naturales, de conformidad con lo estipulado en el artículo 29, 31 y 34 de la Ley de la Protección y Mejoramiento de Medio Ambiente, inicie el proceso administrativo correspondiente.

CAPÍTULO XI

DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 61. EXCEPCIÓN DE LA PREPARACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO. Se exceptúan de la preparación del estudio técnico contemplado en el artículo 5 como ente generador toda vivienda unifamiliar y aquellas edificaciones, públicas y privadas, que generen solamente aguas residuales de tipo ordinario y que cuenten con acometida autorizada hacia el alcantarillado público o de entes administradores de servicios de tratamiento de aguas residuales.

Esta excepción no aplica para las municipalidades ni las empresas que tienen concesionados los servicios de recolección, transporte, manejo o disposición de aguas residuales; ni las plantas de tratamiento de urbanizaciones que no estén conectadas a una acometida municipal; porque de conformidad con lo estipulado en el artículo 5 del presente Reglamento, son generadores de aguas residuales.

Artículo 62. LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE FÓSFORO. Quienes efectúen descargas hacia cuencas de lagos, lagunas o embalses naturales, tendrán obligación de cumplir con cinco miligramos por litro de fósforo total al finalizar la cuarta etapa. Asimismo, en el caso de los entes generadores nuevos deberán cumplir con cinco miligramos por litro de fósforo total al inicio de sus operaciones.

Artículo 63. INCUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES Y SUS ETAPAS CORRESPONDIENTES. Se entenderá que hay contaminación, para todos los efectos legales, cuando los entes generadores existentes y las personas existentes que descargan aguas residuales al alcantarillado público, incumplan con los límites máximos permisibles establecidos en las etapas correspondientes del artículo 17 y, también, cuando incumplan con las consideraciones de los artículos 19, 20, 22, 26, 27 y 28.

Se entenderá que existe contaminación, para todos los efectos legales, cuando los entes generadores nuevos y las personas nuevas que descargan aguas residuales al alcantarillado público, incumplan con los límites máximos permisibles en las etapas de cumplimiento correspondientes y las consideraciones contempladas en los artículos 17, 19, 20, 22, 26, 27 y 28, siempre y cuando los valores de sus descargas excedan los límites máximos permisibles que en el momento tengan autorizados los entes generadores existentes.

El incumplimiento de los límites máximos permisibles por parte de los entes generadores nuevos y las personas nuevas que descargan aguas residuales al alcantarillado público, de conformidad con los artículos 21 y 22, y 30, respectivamente, con valores que no excedan los límites máximos permisibles autorizados para los entes generadores existentes, conforme a los artículos 17, 19, 20 y 22 y las personas existentes que descargan aguas residuales al alcantarillado público, conforme a los artículos 26, 27 y 28, en las etapas de cumplimiento uno, dos y tres, dará lugar a la aplicación de las sanciones administrativas que contempla la ley.

Para todos los efectos legales, el período de estabilización otorgado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales a un ente generador nuevo o a una persona nueva que descarga aguas residuales al alcantarillado público, se considerará como una situación de caso fortuito o desastres naturales, y en consecuencia cualquier incumplimiento dentro de dicho período estará excluido de responsabilidad penal o administrativa.

Artículo 64. REVISIÓN DEL REGLAMENTO DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES. La revisión del presente Reglamento deberá hacerse cada cuatro años, respetando el principio de gradualidad en las etapas de cumplimiento y considerando el grado de cumplimiento de los entes generadores y de las personas que descargan al alcantarillado público.

Artículo 65. CUMPLIMIENTO DE LAS MUNICIPALIDADES. Las Municipalidades que opten por cumplir lo preceptuado en el literal b) del artículo 24 de este Reglamento, iniciarán el cumplimiento de los límites máximos permisibles de la etapa uno para entes generadores existentes, el dos de mayo de dos mil once. A partir de dicha fecha, aplicarán las reducciones en los plazos y etapas establecidos, hasta el final de los dieciocho años.

Esta disposición no exime a las Municipalidades del cumplimiento de los demás aspectos que contempla el presente Reglamento.

Artículo 66. CUMPLIMIENTO DE PERSONAS PRIVADAS QUE DESCARGAN A SISTEMAS DE TRATAMIENTO PRIVADOS. Las personas individuales o jurídicas privadas que descargan aguas residuales de tipo especial a un sistema de alcantarillado privado para conducir dichas aguas a la planta de tratamiento de aguas residuales privada en operación no se consideran entes generadores de aguas residuales o personas que descargan aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, porque para los efectos de aplicación del presente Reglamento, la persona individual o jurídica responsable de administrar la planta de tratamiento será considerada el ente generador o la persona que descarga aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público para todos los efectos del presente Reglamento. El único punto de referencia para el control de la descarga en estos casos es el efluente de la planta de tratamiento.

Artículo 67. CASOS NO PREVISTOS. Todos aquellos casos que no hayan sido previstos en el presente Reglamento, deberán ser resueltos por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de conformidad con los principios de la Ley del Organismo Judicial.

Artículo 68. EPÍGRAFES. Los epígrafes que preceden a los artículos del presente Reglamento, no tienen validez interpretativa y no pueden ser citados con respecto al contenido y alcances de esta norma.

CAPÍTULO XII

DISPOSICIONES TRANSITORIAS

Artículo 69. PLAZO PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO. La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, que vierten éstas o no a un cuerpo receptor o al alcantarillado público deberá realizar el estudio técnico estipulado en el presente Reglamento, en el plazo de un año, contado a partir de la vigencia del mismo.

Artículo 70. EXPEDIENTES EN TRÁMITE. Las personas individuales o jurídicas, públicas o privadas que vierten las aguas residuales a cuerpos receptores cuya solicitud de aprobación de instrumentos de evaluación ambiental se encuentre en trámite antes de la vigencia del presente Reglamento, se considerarán entes generadores existentes para todos los efectos de su aplicación, de acuerdo a los artículos 17, 18, 19, 20 y 22.

Asimismo a las personas individuales o jurídicas, públicas o privadas que viertan sus descargas al alcantarillado público y cuya solicitud de aprobación de instrumentos de evaluación ambiental se encuentre en trámite antes de la vigencia del presente Reglamento, les será aplicable lo preceptuado en los artículos 26, 27, 28 y 29 del mismo.

Artículo 71. LÍMITES APROBADOS EN ESTUDIOS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. Cuando en la resolución del Estudio de Evaluación Impacto Ambiental, se hayan aprobado límites con valores menores que los contenidos en el presente Reglamento, dichos límites continuarán siendo aplicables a ese ente generador existente. En caso de que los valores de los límites aprobados en la resolución del Estudio de Evaluación Impacto Ambiental sean mayores a los establecidos en los artículos 17, 19, 20, 22, 26, 27 y 28, ese ente generador o persona que descarga aguas residuales al alcantarillado público, deberá cumplir con lo dispuesto en las etapas y las fechas máximas de cumplimiento que corresponda a los artículos mencionados.

Artículo 72. MODELO DE REDUCCIÓN PROGRESIVA DE CARGAS DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO. Los resultados que se obtengan en los Estudios Técnicos, servirán de base para elaborar, en un plazo no mayor de dieciocho meses a partir de la vigencia del presente Reglamento, el modelo de reducción progresiva de cargas correspondiente a la demanda química de oxígeno.

Artículo 73. OTROS PARÁMETROS. Otros parámetros que en el futuro se identifiquen como competencia de este Reglamento serán agregados al presente cuerpo normativo al determinarse los mismos.

Artículo 74. MANUALES. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, queda facultado para que, en el plazo de un año a partir de la vigencia del presente Reglamento, elabore el manual general que contenga, entre otros temas, los siguientes:

- a) Toma de muestras de aguas residuales, aguas para reuso y lodos.
- b) Cálculo de cargas.
- c) Aplicación del modelo de reducción progresiva de cargas.
- d) Deducción especial de valores en parámetros.

Artículo 75. DEROGATORIA. Se deroga el Acuerdo Gubernativo número 66-2005, de la Presidencia de la República, de fecha diecisiete de febrero de dos mil cinco, que contiene el Reglamento de Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y cualquier otra disposición que se oponga al presente Reglamento.

Artículo 76. VIGENCIA. El presente Acuerdo Gubernativo empezará a regir al día siguiente después de su publicación en el Diario de Centro América.

COMUNÍQUESE.

OSCAR BERGER PERDOMO

JUAN MARIO DARY FUENTES

JORGE RAÚL ARROYAVE REYES