



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**DESARROLLO DE UN PLAN DE GESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO Y  
DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA  
MANUFACTURERA FARMACÉUTICA**

**Sergio Alejandro de la Cruz Padilla**

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, marzo de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DESARROLLO DE UN PLAN DE GESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO Y  
DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA  
MANUFACTURERA FARMACÉUTICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**SERGIO ALEJANDRO DE LA CRUZ PADILLA**  
ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, MARZO 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. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Estuardo Edmundo Monroy Benítez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
SECRETARIO	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez (a.i.)

## **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:

### **DESARROLLO DE UN PLAN DE GESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA FARMACÉUTICA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 25 de mayo de 2017.



**Sergio Alejandro de la Cruz Padilla**



# FIUSAC

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

Edificio T-5, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala, Centroamérica

Guatemala 25 de octubre de 2017

Ingeniero

Carlos Salvador Wong Davi

Director de Escuela de Ingeniería Química

Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable Ingeniero Wong:

Con un cordial saludo me dirijo a usted para informarle que he asesorado el informe final del trabajo de graduación titulado: **“DESARROLLO DE UN PLAN DE GESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA FARMACÉUTICA.”** desarrollado por el estudiante de ingeniería química, Sergio Alejandro de la Cruz Padilla, con número de carné 201212546 y CUI 2306541500101.

Después de haber leído y realizado las correcciones pertinentes de dicho trabajo, considero que llena los requisitos exigidos para su aprobación.

Atentamente:



Jorge Mario ESTRADA ASTURIAS  
Ingeniero Químico, Col. 685  
M. Sc. Ingeniería Sanitaria  
PROFESOR TITULAR  
Escuela de Ing. Química USAC

Ing. Qco. Jorge Mario Estrada Asturias

Colegiado No. 685

Asesor



ACAAI

Asociación Guatemalteca de Ingenieros Químicos



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



Guatemala, 23 de enero de 2018.  
 Ref. EQD-TG-IF.003.2018.

Ingeniero  
 Carlos Salvador Wong Davi  
 DIRECTOR  
 Escuela de Ingeniería Química  
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EQD-PRO-REG-007 correlativo **007-2017** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**  
**-Modalidad Seminario de Investigación-**

Solicitado por el estudiante universitario: **Sergio Alejandro de la Cruz Padilla**.  
 Identificado con número de carné: **2306 54150 0101**.  
 Identificado con registro académico: **2012-12546**.  
 Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.


Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**DESARROLLO DE UN PLAN DE GESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO Y  
 DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA  
 MANUFACTURERA FARMACÉUTICA**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Jorge Mario Estrada Asturias**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
 Inga. Gasta Zeceña Zeceña  
 COORDINADORA DE TERNA  
 Tribunal de Revisión  
 Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.008.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **SERGIO ALEJANDRO DE LA CRUZ PADILLA** titulado: **“DESARROLLO DE UN PLAN DE GESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA FARMACÉUTICA”** Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*“Id y Enseñad a Todos”*

Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
Director  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, febrero 2018 **FACULTAD DE INGENIERIA USAC**  
**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**  
**DIRECTOR**

Cc: Archivo  
CSWD/kdlq

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

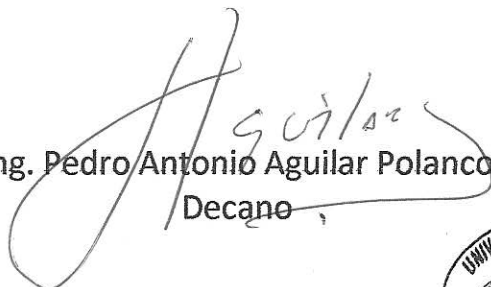


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 086.2018

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 Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DESARROLLO DE UN PLAN DE GESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA FARMACÉUTICA**, presentado el estudiante universitario: **Sergio Alejandro de la Cruz Padilla**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, marzo de 2018

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por guiarme en cada etapa de mi vida, por ser mi fortaleza, mi sosiego y no abandonarme en las horas más oscuras. Porque sin Él mi felicidad no fuera posible.
- Mi madre** Sandra Clemencia Padilla Melgar, por darme la vida, por su apoyo incondicional y ser de inspiración para mi vida.
- Mi padre** Ascención de la Cruz Elías, porque por ti soy lo que soy, porque este logro es enteramente tuyo, porque todo lo que tengo, todo lo que soy te lo debo a ti.
- Mis hermanas** Por ser mis amigas, y estar siempre que lo necesité.
- Mis amigos** A todos ustedes. Por apoyarme y animarme siempre, con especial cariño a Diego Sales, Javier Lorenzana, Vinicio Muñoz y Edson Quijivix.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de  
San Carlos de  
Guatemala**

Gloriosa y tricentenaria *alma mater*. Por los conocimientos adquiridos y vivencias durante mi estancia en tus benditas instalaciones.

**Mis amigos de  
la Facultad**

Jorge Cardona, Javier Lorenzana, Jennifer Real, Paula Monterroso, Paulina Castillo, Pablo Ramos, Rodrigo Ramos, Rodolfo Martínez, Steven Mayen y Óscar Torres. Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.

**Mi asesor**

Ingeniero Jorge Mario Estrada Asturias. Por su asesoría en este trabajo, su amabilidad, disponibilidad, buen sentido del humor y la confianza depositada en mí.

**Mi supervisor**

Ingeniero Donald Rodríguez. Por su constante revisión, apoyo, jovialidad y conocimientos brindados. Su confianza depositada en mi fue fundamental en este trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO .....	3
2.1. Monitoreo de la calidad del agua.....	3
2.1.1. Técnicas de muestreo apropiadas.....	4
2.1.2. Preservación de la muestra .....	4
2.1.3. Análisis de datos.....	5
2.1.4. Tipos de muestras .....	5
2.1.4.1. Muestra instantánea .....	5
2.1.4.2. Muestra compuesta .....	6
2.1.4.3. Muestra integrada.....	7
2.1.5. Clases de muestreo.....	8
2.1.5.1. Muestreo manual .....	8
2.1.5.2. Muestreo automático .....	8
2.2. Aguas residuales.....	9
2.2.1. Propiedades de las aguas residuales .....	9
2.2.2. Propiedades físicas .....	9

2.2.2.1.	Sólidos totales .....	10
2.2.2.2.	Olores .....	11
2.2.2.3.	Temperatura .....	12
2.2.2.4.	Densidad .....	12
2.2.2.5.	Color .....	13
2.2.2.6.	Turbiedad .....	13
2.2.3.	Propiedades químicas .....	14
2.2.3.1.	Indicadores .....	14
2.2.3.1.1.	pH .....	14
2.2.3.1.2.	Acidez .....	15
2.2.3.1.3.	Alcalinidad .....	15
2.2.3.1.4.	Dureza .....	16
2.2.3.1.5.	Conductividad .....	16
2.2.3.2.	Sustancias químicas .....	17
2.2.3.2.1.	Grasas y aceites .....	17
2.2.3.2.2.	Agente tensoactivo .....	17
2.2.3.2.3.	Nitrógeno .....	18
2.2.3.2.4.	Fósforo .....	19
2.2.3.2.5.	Metales pesados .....	19
2.2.3.2.6.	DBO .....	20
2.2.3.2.7.	DQO .....	21
2.2.4.	Propiedades biológicas .....	21
2.3.	Tratamiento de aguas residuales .....	22
2.3.1.	Pretratamiento de aguas residuales .....	23
2.3.2.	Tratamiento primario de las aguas residuales .....	24
2.3.3.	Tratamiento secundario .....	24
2.3.4.	Tratamiento terciario .....	24
2.4.	Industria farmacéutica .....	25
2.4.1.	Contaminación acuosa .....	25

3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	29
3.1.	Variables .....	29
3.1.1.	Propiedades físicas .....	29
3.1.2.	Propiedades químicas .....	30
3.1.3.	Propiedades biológicas.....	31
3.1.4.	Dependencia e independencia .....	31
3.2.	Delimitación del campo de estudio .....	32
3.3.	Recurso humano disponible .....	32
3.4.	Recurso material disponible .....	33
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa .....	34
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información .....	34
3.6.1.	Fase de reconocimiento del área y de localización de los puntos generadores de caudales residuales .....	34
3.6.2.	Fase de medición de caudales .....	34
3.6.3.	Fase de ubicación de los puntos de muestreo .....	35
3.6.4.	Fase de muestreo.....	35
3.6.5.	Fase de análisis de las muestras.....	35
3.6.6.	Fase de comparación de resultados obtenidos .....	35
3.6.7.	Fase de desarrollo del plan de gestión .....	36
3.7.	Tabulación y procesamiento de información .....	36
3.8.	Análisis estadístico .....	38
3.8.1.	Tamaño de la muestra.....	38
3.8.2.	Medidas de tendencia central.....	39
3.8.2.1.	Media aritmética.....	40
3.8.3.	Medidas de variación.....	40
3.8.3.1.	Varianza.....	40
3.8.3.2.	Desviación estándar .....	41
3.9.	Plan de análisis de los resultados .....	41

3.10. Programas a utilizar para el análisis de datos.....	42
4. RESULTADOS .....	43
5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	59
CONCLUSIONES.....	69
RECOMENDACIONES .....	71
BIBLIOGRAFÍA.....	73
APÉNDICES.....	75
ANEXOS.....	107

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Clasificación de los sólidos presentes en aguas residuales.....	11
2.	Escala de pH.....	14
3.	Tren de tratamiento de aguas residuales .....	23
4.	Resultados del análisis de temperatura en función de la fecha de toma de muestra .....	50
5.	Resultados del análisis de sólidos suspendidos en función de la fecha de toma de muestra.....	50
6.	Resultados del análisis de color en función de la fecha de toma de muestra .....	51
7.	Resultados del análisis del pH en función de la fecha de toma de muestra .....	51
8.	Resultados del análisis de DBO en función de la fecha de toma de muestra .....	52
9.	Índice de biodegradabilidad .....	52
10.	Resultados del análisis de grasas y aceites en función de la fecha de toma de muestra .....	53
11.	Resultados del análisis de nitrógeno en función de la fecha de toma de muestra .....	53
12.	Resultados del análisis de fósforo en función de la fecha de toma de muestra .....	54
13.	Resultados del análisis de coliformes fecales en función de la fecha de toma de muestra .....	54
14.	Diagrama de flujo del proceso de tratamiento de aguas residuales ....	56

## TABLAS

I.	Compuestos olorosos asociados al agua residual bruta .....	11
II.	Clasificación del agua según su dureza .....	16
III.	Vertimientos, contaminantes y origen de los residuos generados en la industria farmacéutica.....	26
IV.	Propiedades físicas .....	29
V.	Propiedades químicas .....	30
VI.	Propiedades biológicas .....	31
VII.	Variables dependientes, independientes, monitoreables y no monitoreables a tomar en cuenta en el estudio.....	31
VIII.	Equipo disponible .....	33
IX.	Cristalería .....	33
X.	Tabulación de propiedades físicas .....	36
XI.	Tabulación de propiedades químicas .....	37
XII.	Tabulación de propiedades biológicas .....	38
XIII.	Localización de los puntos de generación de caudales de aguas residuales .....	43
XIV.	Caudal del efluente total de aguas residuales previo a la descarga en el alcantarillado público y cargas de DBO .....	44
XV.	Resultados de las propiedades físicas de las muestras tomadas del efluente total de aguas residuales con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 .....	45
XVI.	Resultados de las propiedades químicas de las muestras tomadas del efluente total de aguas residuales con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.....	46



XVII.	Resultados de las propiedades biológicas de las muestras tomadas del efluente total de aguas residuales con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 ....	47
XVIII.	Resultados promedio de las propiedades físicas de las muestras tomadas del efluente total de aguas residuales con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.....	47
XIX.	Resultados promedio de las propiedades químicas de las muestras tomadas del efluente total de aguas residuales con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.....	48
XX.	Resultados promedio de las propiedades biológicas de las muestras tomadas del efluente total de aguas residuales con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.....	49
XXI.	Tren de tratamiento propuesto para el efluente total de aguas residuales .....	55
XXII.	Código de equipo empleado en la figura 14 .....	57



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>CN<sub>T</sub></b>	Cianuro total
<b>CF</b>	Coliformes fecales
<b>mg/L</b>	Concentración: miligramos/litros
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxígeno
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno
<b>P<sub>T</sub></b>	Fósforo total
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>G y A</b>	Grasas y aceites
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>LMP</b>	Límite máximo permisible
<b>L</b>	Litro
<b>Log()</b>	Logaritmo
<b>±</b>	Más/menos
<b>MF</b>	Materia flotante
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>mg</b>	Miligramo
<b>mL</b>	Mililitro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>N<sub>T</sub></b>	Nitrógeno total
<b>No.</b>	Número
<b>NMP</b>	Número más probable
<b>%</b>	Porcentaje
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno

<b>SBR</b>	<i>Sequencing Batch Reactor</i>
<b>SST</b>	Sólidos suspendidos totales
<b>T</b>	Temperatura
<b>UV</b>	Ultravioleta
<b>Pt-Co</b>	Unidades de color Platino-Cobalto

## GLOSARIO

<b>Acuerdo Gubernativo</b>	Es una puesta en común entre varias personas o partes, proveniente del gobierno.
<b>Afluente</b>	Agua captada por un ente generador.
<b>Aguas residuales</b>	Aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.
<b>Aguas residuales de tipo especial</b>	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.
<b>Alcantarillado público</b>	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.

<b>Calidad del agua</b>	Condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano.
<b>Caracterización</b>	Determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.
<b>Caudal</b>	Volumen de agua por unidad de tiempo.
<b>Carga</b>	Resultado de multiplicar el caudal por la concentración, determinada en un efluente y expresada en kilogramos por día.
<b>Efluente</b>	Aguas residuales descargadas por un ente generador.
<b>Gestión</b>	Conjunto de acciones y operaciones relacionadas con la dirección de un proyecto.
<b>Límite máximo permisible</b>	Valor asignado a un parámetro que no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reuso y lodos.
<b>Monitoreo</b>	Proceso mediante el cual se obtienen, interpretan y evalúan los resultados de una o varias muestras, con una frecuencia de tiempo determinada.

<b>Muestra</b>	Parte representativa a analizar de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.
<b>Muestra compuesta</b>	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.
<b>Parámetro</b>	Variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos, asignándoles un valor numérico.
<b>Propuesta</b>	Proposición o idea que se manifiesta y ofrece a alguien para un fin.
<b>Reglamento</b>	Colección ordenada de reglas o preceptos que, por la autoridad competente, se da para la ejecución de una ley o para el régimen de una corporación, una dependencia o un servicio.
<b>Retrospectivo</b>	Que hace referencia a un tiempo pasado.
<b>Reuso</b>	Aprovechamiento de un efluente, tratado o no.





## RESUMEN

El presente trabajo de graduación se sustenta en el desarrollo de una propuesta de un plan de gestión para que el tratamiento y disposición de las aguas residuales de una industria manufacturera farmacéutica, que sea compatible con las disposiciones del *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*.

La fase experimental comprendió la localización de los puntos de generación de caudales de aguas residuales de todas las áreas operativas, así como las de la planta de producción de una industria manufacturera farmacéutica. Además, se realizó la medición del caudal del efluente total de aguas residuales; también se hizo la caracterización retrospectiva del efluente total de aguas residuales en el punto de unificación de caudales, previo a la descarga en el alcantarillado de la industria en estudio.

Con referencia a lo anterior, un análisis comparativo de los parámetros físicos, químicos y biológicos del efluente total de aguas residuales, identificó la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y coliformes fecales como los parámetros críticos que necesitan de un tratamiento de forma inmediata, de conformidad con los límites máximos regulados en el artículo 28 del *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y disposición de lodos*.

Finalmente, se planteó un plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de una industria manufacturera farmacéutica, que cumple con las normas ambientales establecidas en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

Además, se propuso un tren de tratamiento de aguas residuales con la finalidad de eliminar y/o reducir a niveles aceptables los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el efluente. Así pues, el tren de tratamiento de aguas residuales comprende las siguientes cuatro etapas: 1) Pretratamiento (reja de desbaste y desarenador), 2) Tratamiento primario (sedimentador), 3) Tratamiento secundario (reactor de flujo discontinuo secuencial), y 4) Tratamiento terciario (ozono y radiación UV).

## OBJETIVOS

### General

Desarrollar un plan de gestión para que el tratamiento y disposición de las aguas residuales de una industria manufacturera farmacéutica sea compatible con las disposiciones del *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y disposición de lodos*, establecidas en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

### Específicos

1. Localizar los puntos de generación de caudales de aguas residuales de todas las áreas operativas, así como las de la planta de producción de una industria manufacturera farmacéutica.
2. Medir el caudal del efluente total de aguas residuales en la planta de producción de una industria manufacturera farmacéutica para calcular la carga orgánica total.
3. Caracterizar retrospectivamente el efluente total de aguas residuales en el punto de unificación de caudales previo a la descarga en el alcantarillado, para verificar el cumplimiento de los parámetros establecidos en el artículo 28 del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

4. Comparar los parámetros físicos, químicos y biológicos del efluente total de aguas residuales, identificando los parámetros críticos que necesitan de un tratamiento de forma inmediata, de conformidad con los límites máximos regulados en el artículo 28 del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

## INTRODUCCIÓN

La descarga de aguas residuales industriales en las corrientes y cuerpos superficiales de agua, conduce al deterioro de la calidad de dichas aguas superficiales, además de alterar y perturbar el equilibrio ecológico del medio en general. Las aguas residuales contienen en solución una serie de compuestos orgánicos e inorgánicos, algunos de los cuales pueden sufrir transformaciones en el medio acuático debido a la acción bioquímica de microorganismos o bien por reacciones químicas.

Para evitar el escenario anterior, es preciso proceder a modificar las características físicas, químicas y biológicas del agua residual, antes de verterla al cuerpo receptor. El ingeniero de diseño utiliza para ello un sistema de tratamiento que reduce efectivamente las concentraciones de las sustancias presentes en el agua residual.

La decisión sobre cuál sistema de tratamiento debe utilizarse se basa, entre otras consideraciones, en las características físicas, químicas y biológicas que presente el agua residual a tratar. Es por ello que, como etapa preliminar en todo estudio de control de contaminación de corrientes y de desarrollo de planes de tratamiento y disposición de aguas residuales, se realiza una caracterización de las aguas residuales que se van a verter en el cuerpo receptor.

Actualmente, la mayoría de las industrias que involucran procesos de manufactura en Guatemala enfrentan problemas en el control de efluentes de aguas residuales.

Estos inconvenientes se agravan si no se obtienen los resultados apropiados en el análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas del caudal de aguas residuales, ya que los procedimientos usuales involucrarían una elevada inversión económica y un alto consumo energético.

Así pues, el mayor impacto ambiental de la industria farmacéutica tiene lugar sobre el medio acuoso, debido a que se utiliza el agua para diversos fines: medio de limpieza, como disolvente, para refrigerar, como producto de reacción y para uso general, entre otros. Consecuentemente, la composición de los vertimientos varía mucho en función de los procesos de obtención; en general, contienen restos de disolventes orgánicos, de materias primas y auxiliares y de principios activos.

Por lo tanto, el desarrollo de una propuesta de un plan de gestión de aguas residuales debe comprender una síntesis de acciones que establezcan, para uso del ente generador o persona que descarga al alcantarillado público, una base técnica-científica indispensable que le permita inducir su desempeño ambiental, y pueda así definir las medidas preventivas y correctivas necesarias para cumplir con los límites máximos permisibles y las metas que el reglamento estipula.

## 1. ANTECEDENTES

Se han realizado diversos estudios relacionados con el desarrollo de planes de gestión para el tratamiento y disposición de efluentes de aguas residuales en distintos tipos de industrias manufactureras.

A nivel internacional, en el año 2012 se publicó el artículo científico titulado *Tratamiento efectivo de aguas residuales en la industria farmacéutica*; su autor, el MSc. ingeniero Manfred Martz, detalla el proceso de diseño e implementación de plantas de tratamiento de agua residual dentro de las instalaciones de una industria farmacéutica, reduciendo los costos de inversión, mantenimiento y operación mediante la selección de procesos simples y efectivos.

A nivel nacional también se han realizado estudios relacionados con diferentes industrias manufactureras, entre ellos sobresalen los siguientes trabajos de graduación de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala:

En el año 2002 se realizó el estudio titulado *Caracterización de las aguas residuales de una industria de fabricación de fragancias, y propuesta de tratamiento y disposición de las mismas*, de Juan Antonio López Navarro, quien evaluó la calidad del efluente de aguas residuales proveniente de una industria manufacturera de fragancias, con base en la legislación nacional sobre la protección y mejoramiento del medio ambiente. Como resultado se propuso un tren de tratamiento para el efluente de aguas residuales.

En el año 2007, Ednar Pável Ramírez Lorenzana realizó el estudio titulado *Evaluación de la planta de tratamiento de aguas de una industria farmacéutica nacional, según el reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos y propuesta para el aprovechamiento de desechos*. En ese sentido, al evaluar el cumplimiento de los parámetros establecidos en el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales* para la industria en mención, se determinó la eficiencia de la planta de tratamiento de agua en función de la cantidad de carga orgánica que es capaz de remover durante todo el proceso, siendo esta igual a 59,09 %.

En el año 2012 se realizó el estudio titulado *Priorización de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 para aguas residuales del sector cárnico (CIU 1 511)*, de Beatriz Adriana Valle Oliva, quien priorizó los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 para el sector industrial de producción, procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos. Según los resultados obtenidos, se concluyó que, de los veinte parámetros indicados en el reglamento, los de mayor representatividad y prioridad para su constante monitoreo son once, quedando excluidos los metales pesados y el cianuro total. Además se determinó que, dentro de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, el 76,92 % de las industrias del sector cárnico aplica únicamente un pretratamiento conformado por la separación de sólidos gruesos y de grasas y aceites.



## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Monitoreo de la calidad del agua

“La toma de muestras de agua y los aforos constituyen uno de los aspectos fundamentales de todo análisis de calidad del agua”<sup>1</sup>. Los resultados de un programa de muestreo o monitoreo sirven para actividades como:

- Los muestreos son la base para el diseño y operación de las plantas de tratamiento de aguas potables y residuales.
- El montaje de los modelos matemáticos que simulan el comportamiento de las corrientes y sistemas de distribución de agua.
- Se usan para elaborar diagnósticos, programas de control y evaluar las medidas de mitigación en proyectos de recuperación, mantenimiento, etc., de recursos hídricos.

Programas de muestreo mal elaborados producen resultados incoherentes que llevan a diseños errados o toma de decisiones equivocadas. Los aspectos básicos que debe cumplir un programa de muestreo son:

- Asegurar que la muestra de agua sea representativa del agua residual o la corriente que se desea monitorear.

---

<sup>1</sup> SIERRA RAMÍREZ, Carlos Alberto. *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. p. 217.

- Utilizar las técnicas de muestreo recomendadas por la literatura especializada en la materia.
- Preservar las muestras, si es que se requiere, antes de ser analizadas en el laboratorio.
- Analizar correctamente los resultados obtenidos.

### **2.1.1. Técnicas de muestreo apropiadas**

Una técnica de muestreo apropiada no implica sofisticación, en muchos casos el empleo de equipos complejos solo mejora en un bajo porcentaje la precisión de los resultados. El éxito de un programa de muestreo dependerá del conocimiento de los equipos de muestreo disponibles y la manipulación de estos, y la forma de tomar las muestras complementada con un sitio apropiado de muestreo.

### **2.1.2. Preservación de la muestra**

Cuando transcurre mucho tiempo entre la toma de la muestra y el análisis en el laboratorio, pueden ocurrir reacciones químicas, físicas o biológicas que alteran los resultados o valores de ciertos parámetros. Para evitar estas reacciones se deben preservar las muestras refrigerando los recipientes en neveras portátiles o con hielo, añadiendo soluciones ácidas, etc.

La forma o procedimiento para preservar las muestras depende de varios factores, entre ellos el tipo de parámetro por analizar, el tiempo entre la toma de la muestra y el análisis en el laboratorio, las características del agua, etc.

### **2.1.3. Análisis de datos**

El análisis de los resultados de un programa de muestreo es parte fundamental de las decisiones que se tomen. Existen dos tipos de análisis de datos que debe tener en cuenta el ingeniero: 1) El chequeo de incongruencias en el reporte del laboratorio, y 2) El análisis estadístico de los resultados.

Para chequear que no existan incongruencias en los reportes de laboratorio, se deben comparar los resultados desde sus etapas preliminares. Se debe verificar que los valores reportados correspondan a situaciones que estén de acuerdo con la muestra analizada.

### **2.1.4. Tipos de muestras**

Los tipos más comunes de muestras son las instantáneas, las compuestas (alícuotas) y las integradas. Los diferentes tipos de muestras pueden tomarse manual o automáticamente (clases de muestreo).

#### **2.1.4.1. Muestra instantánea**

Una muestra instantánea representa las condiciones de una corriente o de un agua residual en el momento en que esta se recolecta. Se recomienda tomar este tipo de muestras cuando:

- Las descargas de aguas residuales son intermitentes. En muchos procesos industriales los desechos no fluyen continuamente, sino que son almacenados en tanques, descargados una vez se llenan los depósitos, o simplemente obedecen a cambios continuos en el proceso industrial durante el día.

- Las características del agua son constantes. En muchos casos las descargas o vertimientos de aguas residuales, y las fuentes superficiales son muy constantes en el tiempo. Cuando esta situación se presenta, una o pocas muestras serán representativas de la calidad del agua. Es importante tener en cuenta que pueden existir descargas intermitentes con características constantes, esto quiere decir que en estos casos se pueden requerir muestras simples o compuestas.
- Existen variaciones extremas en la composición del agua por muestrear. Cuando se presentan estos casos es necesario tomar muestras instantáneas porque los muestreos compuestos pueden contrarrestar los picos.
- Parámetros especiales. Existen parámetros que requieren ser evaluados con muestreos instantáneos, entre ellos los más comunes son: OD, temperatura, cloro residual y otros gases disueltos.

#### **2.1.4.2. Muestra compuesta**

Cuando la composición del agua por muestrear presenta cierta variabilidad se aconseja tomar muestras compuestas o alícuotas. Una muestra compuesta consta de muestras pequeñas individuales, que se toman ya sea proporcionales al tiempo o al flujo, o se mezclan para formar una muestra total, que es la que se somete al análisis en el laboratorio.

- Según el flujo: tomando muestras de igual volumen, pero a intervalos de tiempo que son inversamente proporcionales al caudal de la corriente, es decir que, a mayor caudal de la corriente, menores los intervalos de tiempo de muestreo y viceversa.

- Según el tiempo: se toman las muestras a intervalos de tiempo constantes, pero el volumen de la muestra es proporcional al caudal de la corriente.

En ambos casos la cantidad de muestra por tomar depende del número y tipo de análisis que se va a realizar; el volumen mínimo es de 2 litros y las muestras individuales deben ser aproximadamente de 200 mL, si son tomadas con intervalos de una hora. Cuando los intervalos son muy pequeños, de tres a cinco minutos, la cantidad mínima debe ser mayor o igual a 25 mL.

El intervalo dependerá de la variabilidad de la calidad del agua con respecto al tiempo. En la caracterización de desechos industriales es común tomar muestras compuestas durante 24 horas para conocer la descarga diaria; sin embargo, de acuerdo con el horario de funcionamiento de las operaciones que se realicen en la industria a la cual se le va a hacer la caracterización de aguas residuales, se pueden tomar muestras de 2, 4, 8, 16 ó 24 horas, pero debe tenerse en cuenta que algunas sustancias biodegradables no se prestan para muestras compuestas de largo tiempo (más de 24 horas).

#### **2.1.4.3. Muestra integrada**

Muestra integrada es aquella que se forma por la mezcla de muestras puntuales tomadas de diferentes puntos simultáneamente, o lo más cerca posible.

## **2.1.5. Clases de muestreo**

### **2.1.5.1. Muestreo manual**

El muestreo manual es recomendable cuando se tienen sitios de difícil acceso. Estos sitios sólo se identifican después de que se ha hecho un recorrido de campo haciendo el reconocimiento de los puntos de descarga, las secciones o sitios donde hay cambios importantes en la geometría de la corriente. El muestreo manual tiene como ventaja permitir a la persona que recolecta la muestra tomar nota de cualquier característica especial de esta o corregir inmediatamente fallas que se puedan presentar. Es así como en un muestreo manual se facilita la apreciación de sustancias flotantes, cambios de color y olores, etc.

### **2.1.5.2. Muestreo automático**

Cuando se toman muestras compuestas que requieren varias horas para su formación, o se tienen puntos de muestreo con un acceso muy difícil, se sugiere un muestreo automático. El uso de muestreadores automáticos tiene como ventaja el ahorro de mano de obra, son más precisos, aunque requieren de revisiones continuas para prevenir atascamientos y otras fallas. Actualmente los muestreadores automáticos están asociados a estaciones de telemetría.

Este tipo de estaciones están dotadas de sensores debidamente calibrados que son capaces de detectar cuándo un parámetro sobrepasa cierto límite, activando inmediatamente una alarma para que el muestreador automáticamente tome la muestra.

## **2.2. Aguas residuales**

“Se define el agua residual como aquella que ha sido utilizada en cualquier uso benéfico. El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental para el diseño, operación y control de los sistemas de aguas residuales. Generalmente los generadores de aguas residuales se pueden agrupar en aguas residuales domésticas, industriales y comerciales”<sup>2</sup>.

### **2.2.1. Propiedades de las aguas residuales**

Metcalf & Eddy afirman que “el conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental de cara al proyecto y explotación de las infraestructuras tanto de recogida como de tratamiento y evacuación de las aguas residuales, así como para la gestión de la calidad medioambiental”<sup>3</sup>. En la naturaleza el agua entra en contacto con el suelo y la atmósfera y adquiere elementos o sustancias que alteran su composición original. El agua, cualquiera que sea su estado, está caracterizada por ciertas propiedades que la distinguen de los demás líquidos y su calidad se determina analizando en el laboratorio varios parámetros físicos, químicos y biológicos. Para saber qué tan pura o qué tan contaminada está el agua es necesario medir ciertos parámetros. Los parámetros de calidad del agua están clasificados en físicos, químicos y microbiológicos.

### **2.2.2. Propiedades físicas**

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta.

---

<sup>2</sup> SIERRA RAMÍREZ, Carlos Alberto. *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. p. 50.

<sup>3</sup> METCALF & EDDY, Inc. *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. p. 53.

Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.

#### **2.2.2.1. Sólidos totales**

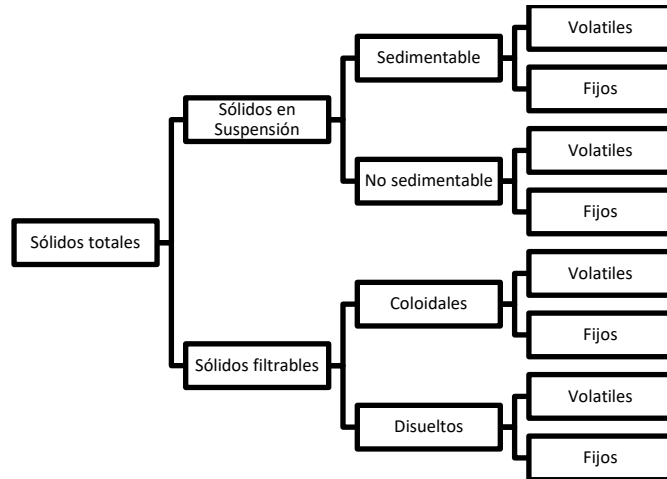
Analíticamente, se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a un proceso de evaporación a entre 103 °C y 105 °C. Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica en el transcurso de un período de 60 minutos. Los sólidos totales, o residuo de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro. La fracción filtrable de los sólidos corresponde a sólidos disueltos y coloidales.

Los sólidos en suspensión se determinan restando los sólidos filtrables de los sólidos totales. Asimismo, los sólidos en suspensión son de gran importancia de determinar en los estudios de calidad del agua en el medio local, principalmente porque se utilizan para el cobro de las tasas retributivas y el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Los sólidos en suspensión y filtrables, a su vez, se dividen en función de su volatilidad a  $500 \pm 50$  °C. A esta temperatura la fracción orgánica se oxidará y desaparecerá en forma de gas, quedando la fracción inorgánica en forma de cenizas. De ahí que se empleen los términos sólidos volátiles y sólidos fijos, para hacer referencia, respectivamente, a los componentes orgánicos e inorgánicos de los sólidos en suspensión y filtrables. En análisis de sólidos volátiles se emplea habitualmente para determinar la estabilidad biológica de lodos de aguas residuales.



Figura 1. **Clasificación de los sólidos presentes en aguas residuales**



Fuente: METCALF & EDDY, Inc. *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. p. 64.

#### 2.2.2.2. Olores

Normalmente, los olores se deben a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento.

Tabla I. **Compuestos olorosos asociados al agua residual bruta**

Compuestos olorosos	Fórmula química	Calidad del olor
Aminas	$\text{CH}_3\text{NH}_2$ , $(\text{CH}_3)_3\text{H}$	A pescado
Amoníaco	$\text{NH}_3$	Amoniacal
Diaminas	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$ , $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_5\text{NH}_2$	Carne descompuesta
Sulfuro de hidrógeno	$\text{H}_2\text{S}$	Huevos podridos

Continuación tabla I.

Mercaptanos(p.e metilo y etilo)	$\text{CH}_3\text{SH}$ , $\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{SH}$	Coles descompuestas
Mercaptanos(p.ebutilo y crotilo)	$(\text{CH}_3)_3\text{CSH}$ , $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{SH}$	Mofeta
Sulfuros orgánicos	$(\text{CH}_3)_2\text{S}$ , $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{S}$	Coles podridas
Eskatol	$\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$	Material fecal

Fuente: METCALF & EDDY, Inc. *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. p. 65.

### 2.2.2.3. Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser más elevada que la del agua de suministros, principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de los diferentes usos industriales. La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles.

### 2.2.2.4. Densidad

Se define la densidad del agua residual como su masa por unidad de volumen, expresada en  $\text{kg/m}^3$ . Es una característica física importante del agua residual, dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en lodos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento.

#### **2.2.2.5. Color**

Aunque está íntimamente ligado a la turbiedad, el color en el agua puede considerarse como una característica independiente. Mientras que la turbiedad se considera ocasionada por partículas de gran tamaño (diámetros  $> 10^{-3}$  mm), el color se considera generado por sustancias disueltas y por los coloides. El color es producido, a excepción del ocasionado por las descargas industriales, por la descomposición natural de la materia vegetal de las plantas y por la disolución de ciertos minerales presentes en el subsuelo.

El color está clasificado como color aparente y color verdadero, el primero se considera producido por el material suspendido, y el segundo permanece en el agua después de remover la turbiedad. El color es importante en el tratamiento del agua porque su presencia causa rechazo en los consumidores aunque no ocasione problemas sanitarios, como es el caso del color de origen natural. Cuando el color es debido al vertimiento de desechos industriales se asocia a la presencia de sustancias tóxicas.

#### **2.2.2.6. Turbiedad**

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.

### 2.2.3. Propiedades químicas

Los parámetros químicos del agua se dividen en dos clases:

- Indicadores
- Sustancias químicas

#### 2.2.3.1. Indicadores

Se definen como indicadores los parámetros cuyas concentraciones en el agua se deben a la presencia e interacción de varias sustancias.

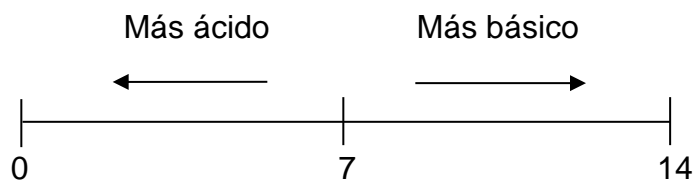
##### 2.2.3.1.1. Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es el término utilizado para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua. Por convención está definido como:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Por análisis químicos se sabe que el pH siempre se encuentra en una escala de 0 a 14.

Figura 2. Escala de pH



Fuente: SIERRA RAMÍREZ, Carlos Alberto. *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. p. 60.

Es importante aclarar que el pH mide el grado de acidez o de alcalinidad, pero no determina el valor de la acidez ni de la alcalinidad.

#### **2.2.3.1.2. Acidez**

Generalmente se considera que todas las aguas que tienen un pH inferior a 8,50 unidades tienen acidez. La acidez en las aguas naturales es ocasionada por la presencia de  $\text{CO}_2$  o la presencia de un ácido fuerte ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ). Las aguas que contienen acidez, sin importar el tipo, son corrosivas. Por lo tanto, aguas con acidez por encima de los valores permisibles deben ser tratadas.

#### **2.2.3.1.3. Alcalinidad**

La alcalinidad en el agua es entendida como la capacidad que tiene para neutralizar los ácidos. La alcalinidad puede considerarse como la presencia de sustancias básicas en el agua, principalmente sales de ácidos débiles o bases fuertes. La alcalinidad se reconoce por la presencia de los iones  $[\text{OH}^-]$ ,  $[\text{CO}_3^{2-}]$  y  $[\text{HCO}_3^-]$ . La alcalinidad es importante en la calidad del agua por diferentes razones:

- La alcalinidad controla el proceso de coagulación en el tratamiento del agua potable, y la digestión anaeróbica en el caso del tratamiento del agua residual.
- En altas concentraciones le comunica un sabor desagradable al agua.
- En presencia de iones de Ca o Mg forma precipitados que ocasionan problemas de taponamiento y obstaculizan el flujo en las tuberías.

#### 2.2.3.1.4. Dureza

La dureza del agua se define como la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes (iones de calcio, estroncio, bario y magnesio en forma de carbonatos o bicarbonatos), se expresa en equivalentes de carbonato de calcio y constituye un parámetro muy significativo en la calidad del agua. Esta cantidad de sales afecta la capacidad de formación de espuma de detergentes en contacto con agua y representa una serie de problemas de incrustación en equipo industrial y doméstico, además de resultar nociva para el consumo humano.

Tabla II. **Clasificación del agua según su dureza**

Tipo de agua	Límite inferior (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Límite superior (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )
Blanda	0	75
Moderadamente dura	75	150
Dura	150	300
Muy dura	300	> 300

Fuente: SIERRA RAMÍREZ, Carlos Alberto. *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. p. 65.

#### 2.2.3.1.5. Conductividad

La conductividad es un indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones, especialmente de calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), fósforo (P), bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), cloruros (Cl<sup>-</sup>) y sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Además, la conductividad representa una medida indirecta de los sólidos disueltos.

### **2.2.3.2. Sustancias químicas**

El agua, por ser considerada el solvente universal, tiene la posibilidad de que una gran cantidad de elementos y compuestos químicos estén presentes en ella. Sin embargo, muchos de estos compuestos no tienen importancia en su calidad.

#### **2.2.3.2.1. Grasas y aceites**

El término grasa se aplica a una amplia variedad de sustancias orgánicas que se extraen de soluciones acuosas o en suspensión. Al aceite y la grasa se les concede especial atención por su escasa solubilidad en el agua y su tendencia a separarse de la fase acuosa.

A pesar de que estas características son una ventaja para facilitar la separación del aceite y la grasa mediante la diferencia de densidades, su presencia complica el transporte de los residuos por las tuberías, su eliminación en unidades de tratamiento biológico y su disposición en las aguas receptoras. Partiendo de lo anterior, es importante diferenciar las grasas de los aceites; las grasas son consideradas desechos sólidos mientras que los aceites son desechos líquidos. Las grasas son generadas por actividades antrópicas, y su presencia y medición están relacionadas principalmente con actividades que tienen que ver con el manejo de aguas residuales.

#### **2.2.3.2.2. Agentes tensoactivos**

Los agentes tensoactivos están formados por moléculas de gran tamaño, ligeramente solubles en agua y que son responsables de la aparición de espumas en las plantas de tratamiento.

Tienden a concentrarse en la interfase aire-agua. Durante el proceso de aireación del agua residual se concentran en la superficie de las burbujas de aire, creando una espuma muy estable. La determinación de la presencia de elementos tensoactivos se realiza analizando el cambio de color de una muestra normalizada de azul de metileno.

#### **2.2.3.2.3. Nitrógeno**

Los elementos de nitrógeno son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. El contenido total en nitrógeno está compuesto por nitrógeno orgánico, amoniacal, nitrito y nitrato. El contenido en nitrógeno orgánico se determina con el método Kjeldahl. Se hierve una muestra acuosa con el objetivo de eliminar el amoniacal, para dar paso al proceso de digestión en el que el nitrógeno orgánico se convierte en amoniacal.

El nitrógeno Kjeldahl total se determina del mismo modo que el nitrógeno orgánico, con la diferencia de que no se elimina el amoniacal presente antes del proceso de digestión. Por lo tanto, el nitrógeno Kjeldahl total incluye ambas formas de nitrógeno, el orgánico y el amoniacal.

El nitrógeno del nitrito, cuya determinación se realiza colorimétricamente, es relativamente inestable y fácilmente oxidable a la forma de nitrato. La concentración de nitritos raramente excede la cantidad de 1 mg/L en las aguas residuales y de 0,10 mg/L en el caso de las aguas superficiales y subterráneas. A pesar de que su presencia suele darse en concentraciones pequeñas, los nitritos tienen gran importancia en los estudios de aguas, dada su gran toxicidad para gran parte de la fauna piscícola y demás especies acuáticas.



El nitrógeno del nitrato es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en las aguas residuales. Cuando un efluente secundario deba ser recuperado para la recarga de agua subterránea, la concentración del nitrato es importante.

#### **2.2.3.2.4. Fósforo**

El fósforo es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos, debido a que en aguas superficiales tienen lugar nocivas proliferaciones incontroladas de algas. Es importante limitar la cantidad de los compuestos de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertidos de aguas residuales domésticas, industriales y a través de escorrentías naturales. Las formas más frecuentes en las que se presenta el fósforo en soluciones acuosas incluyen el ortofosfato, el polifosfato y los fosfatos orgánicos.

El fósforo orgánico es de poca importancia en la mayor parte de los residuos domésticos, pero puede ser un constituyente importante en los vertidos industriales y lodos de aguas residuales domésticas. Los ortofosfatos son la forma más importante de fósforo en el agua, debido a que se encuentran disueltos en ella, y de esta manera son aprovechados por las plantas.

#### **2.2.3.2.5. Metales pesados**

Como constituyentes importantes de muchas aguas, también se encuentran cantidades, a nivel de traza, de muchos metales. Entre ellos se pueden destacar el níquel (Ni), manganeso (Mn), plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd), cinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), arsénico (As) y mercurio (Hg).

Algunos de ellos son imprescindibles para el normal desarrollo de la vida biológica, y la ausencia de cantidades suficientes de ellos podría limitar el crecimiento de algas y organismos biológicos. Debido a su toxicidad, la presencia de cualquiera de ellos en cantidades excesivas interferirá con gran número de los usos del agua.

#### **2.2.3.2.6. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

El parámetro más ampliamente utilizado para determinar el contenido de materia orgánica de una muestra de agua es la demanda bioquímica de oxígeno. La DBO se mide determinando la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar, oxidar y estabilizar la materia orgánica.

Para la medición se incuba la muestra de agua a condiciones de 20 °C, y al cabo de cinco días se mide el consumo de oxígeno por parte de los microorganismos, y los resultados se reportan en mg/L de oxígeno consumido, esta prueba recibe el nombre de DBO<sub>5</sub>. La demanda bioquímica de oxígeno se utiliza para:

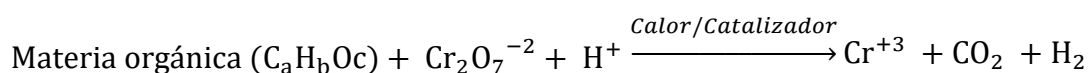
- Determinar la cantidad de oxígeno requerida para biológicamente estabilizar la materia orgánica. Con este dato se diseñan los equipos de aireación de los procesos de lodos activados.
- Dimensionar las unidades de tratamiento de agua.
- Medir la eficiencia de algunos de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

### 2.2.3.2.7. Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO es una prueba ampliamente utilizada para determinar el contenido de materia orgánica de una muestra de agua. A diferencia de la DBO, en esta prueba la materia orgánica es oxidada utilizando una sustancia química y no microorganismos.

El dicromato de potasio constituye actualmente el mejor agente oxidante para la determinación de la DQO. Este compuesto tiene la capacidad de oxidar la gran mayoría de sustancias orgánicas, además, es fácil de determinar su concentración antes y después de la prueba, lo cual hace que se pueda calcular el oxígeno consumido. Otra de las ventajas de la DQO es el poco tiempo de duración de la prueba; mientras un análisis de DBO tarda 5 días, uno de DQO demora 3 horas.

La reacción química que ocurre durante la determinación es:



Los valores de DQO son mayores que los de la DBO y la diferencia aumenta con la presencia de sustancias tóxicas que hagan la muestra de agua biológicamente resistente a la degradación.

### 2.2.4. Propiedades biológicas

Las aguas crudas pueden tener una gran variedad de microorganismos. Los microorganismos en el agua pueden ser patógenos o no patógenos.

Por patógenos se entienden aquellos organismos que causan enfermedad a los seres vivos, mientras que por no patógenos se entiende lo contrario. Los microorganismos más importantes que se encuentran en el agua y pueden producir enfermedades son las bacterias, los virus, las algas, los hongos y algunos protozoos.

El indicador de la calidad bacteriológica del agua es el grupo de bacterias coliforme. Este grupo coliforme está definido como todas las bacterias aeróbicas y anaeróbicas facultativas, Gram negativas, no formadoras de esporas y de forma redonda que fermentan la lactosa formando gas en 48 horas y a 35 °C.

### **2.3. Tratamiento de aguas residuales**

“El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua el efluente de aguas residuales”<sup>4</sup>.

El tren de tratamiento de aguas comprende cuatro etapas:

- Pretratamiento de aguas residuales
- Tratamiento primario de aguas residuales
- Tratamiento secundario de aguas residuales
- Tratamiento terciario de aguas residuales: tratamiento avanzado

---

<sup>4</sup> METCALF & EDDY, Inc. *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. p. 143.

Figura 3. **Tren de tratamiento de aguas residuales**



Fuente: elaboración propia, a partir de las etapas del tren de tratamiento de aguas residuales.

### **2.3.1. Pretratamiento de aguas residuales**

El pretratamiento de las aguas residuales se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales, cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. El pretratamiento contempla la eliminación de sólidos gruesos y trapos, la flotación para la eliminación de grasas y aceites, y el desarenado para la eliminación de la materia en suspensión gruesa, que pueda causar obstrucciones en los equipos y un desgaste excesivo de los mismos.

### **2.3.2. Tratamiento primario de las aguas residuales**

En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Esta eliminación suele llevarse a cabo mediante operaciones físicas tales como el tamizado y la sedimentación. El efluente del tratamiento primario suele contener una cantidad considerable de materia orgánica y una DBO alta. Solo en casos especiales se empleará los tratamientos primarios como único método de tratamiento. El principal papel del tratamiento primario continuará siendo el previo al tratamiento secundario.

### **2.3.3. Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario de las aguas residuales está principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables, aunque a menudo se incluye la desinfección como parte del tratamiento secundario. Se define el tratamiento secundario convencional como la combinación de diferentes procesos normalmente empleados para la eliminación de estos constituyentes, e incluye el tratamiento biológico con lodos activados, reactores de lecho fijo, sistemas de lagunaje y la sedimentación.

### **2.3.4. Tratamiento terciario**

Tratamiento necesario, más allá del tratamiento secundario convencional, para la eliminación de constituyentes de las aguas residuales que merecen especial atención, como los nutrientes, los compuestos tóxicos y los excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión.

Además de los procesos de eliminación de nutrientes, otros procesos u operaciones unitarias habitualmente empleadas en los tratamientos avanzados son la coagulación química, floculación y sedimentación seguida de filtración y carbono activado. Para la eliminación de iones específicos y para la reducción de sólidos disueltos se emplean métodos menos comunes, como el intercambio iónico o la osmosis inversa. También se emplea el tratamiento avanzado para diversas posibilidades de reutilización de las aguas residuales, para las cuales es preciso conseguir efluentes de alta calidad, como puede ser el caso del agua empleada para refrigeración industrial o para la recarga de aguas subterráneas.

## **2.4. Industria farmacéutica**

Ramos Alvariño afirma que “la industria farmacéutica comprende la fabricación de materias primas de uso farmacéutico y de especialidades farmacéuticas (medicamentos, preparados para uso terapéutico o profiláctico, etc.). Varios son los puntos a tener en cuenta respecto al medio ambiente por la industria farmacéutica, si bien son aplicables a cualquier otro tipo de industria. En primer lugar, debe perseguirse el objetivo de elaborar productos lo más compatibles que sea posible con el medio ambiente. Por lo tanto, los procesos de producción, almacenamiento y transportación deben llevarse a cabo de acuerdo con la premisa anterior”<sup>5</sup>.

### **2.4.1. Contaminación acuosa**

En la industria farmacéutica se utiliza el agua para muchos fines distintos: medio de limpieza, como disolvente, para refrigerar, como producto de reacción y para uso general. Entre estas aguas hay que distinguir las que se encuentran limpias y las que no. De esta forma, solo las últimas habrían de ser tratadas.

---

<sup>5</sup> RAMOS ALVARIÑO, Caridad. *Los residuos en la industria farmacéutica*. p. 26.

La generación de residuos líquidos constituye un problema ambiental importante de la industria farmacéutica, por la toxicidad de algunas de las sustancias contenidas en ellos. Las etapas en las que se produce una mayor generación de residuos son las de aislamiento y purificación del producto y las de limpieza de los equipos. La composición de los vertimientos varía mucho en función de los procesos de obtención. En general, contienen restos de disolventes orgánicos, de materias primas y auxiliares y de principios activos. Las causas principales de la presencia de principios activos en los residuos líquidos suelen estar en las separaciones sólido-líquido y líquido-líquido, durante su purificación y aislamiento, y en las operaciones de limpieza.

Tabla III. **Vertimientos, contaminantes y origen de los residuos generados en la industria farmacéutica**

<b>Vertimiento</b>	<b>Contaminantes</b>	<b>Origen</b>
Aguas de procesos químicos con gran carga contaminante	Disolventes y sustancias poco biodegradables, cianuros, metales pesados, ácidos o bases	Aguas madre de síntesis química
Aguas de procesos con carga de materia orgánica biológica	Materia orgánica biodegradable, disolventes no biodegradables, ácidos o bases	Aguas madre de extracción natural. Caldos de fermentación



Continuación tabla III.

Aguas poco contaminadas	Materia orgánica, disolventes y sustancias poco biodegradables, cianuros, metales pesados , ácidos o bases	Aguas de lavado de procesos, de limpieza, aguas contaminadas accidentalmente por fugas y derrames, etc.
Aguas similares a las urbanas	Materia orgánica biodegradable, sólidos en suspensión	Sanitarias, de refrigeración indirecta, de lluvia , etc.

Fuente: RAMOS ALVARIÑO, Caridad. *Los residuos en la industria farmacéutica*. p. 28

Así, las propias industrias farmacéuticas están obligadas a realizar el tratamiento de sus aguas residuales. Entre las operaciones que se suelen llevar a cabo con ese fin se encuentran las separaciones mecánicas (precipitación, floculación, flotación o filtración) y las separaciones por adsorción química, adsorción biológica, destilación, extracción, neutralización, oxidación, etcétera.



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

A continuación se muestra el análisis de las variables presentes en el desarrollo del estudio:

##### 3.1.1. Propiedades físicas

Tabla IV. Propiedades físicas

Parámetro	Unidades de medida	Descripción
Temperatura	°C	Temperatura del efluente de aguas residuales
Sólidos suspendidos totales	mg/L	Cantidad de materia no disuelta en el efluente de aguas residuales
Color	Unidades platino cobalto	Color del efluente de aguas residuales
Materia flotante	Ausencia / Presencia	Materia flotante presente en el efluente de aguas residuales
Caudal	L/día	Flujo del efluente de aguas residuales

Fuente: elaboración propia a partir del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*

### 3.1.2. Propiedades químicas

Tabla V. Propiedades químicas

Parámetro	Unidades de medida	Descripción
pH	Adimensional	Potencial de hidrógeno del efluente de aguas residuales
DBO	mg/L	Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica
DQO	mg/L	Cantidad de materia orgánica contenida en las aguas residuales
Grasas y aceites	mg/L	Cantidad de grasas y aceites presente en el efluente de aguas residuales
Nitrógeno total	mg/L	Concentración de nitratos en el fluyente de aguas residuales
Fósforo total	mg/L	Concentración de fosfatos en el efluente de aguas residuales
Cianuro total	mg/L	Concentración de cianuros en el efluente de aguas residuales

Fuente: elaboración propia a partir del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*

### 3.1.3. Propiedades biológicas

Tabla VI. Propiedades biológicas

Parámetro	Unidades de medida	Descripción
Coliformes fecales	NMP en 100 mL	Cantidad de coliformes presentes en el efluente de aguas residuales

Fuente: elaboración propia a partir del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*

### 3.1.4. Dependencia e independencia

Tabla VII. Variables dependientes, independientes, monitoreables y no monitoreables a tomar en cuenta en el estudio

Variabl e	Unidad	Dependien te	Independie nte	Monitorea ble	No monitoreable
Caudal	L/día		✓	✓	
T	°C		✓	✓	
SST	mg/L		✓	✓	
Color	Pt-Co		✓	✓	
MF	Ausencia / Presencia		✓	✓	
pH	Adimensio nal		✓	✓	
DBO	mg/L		✓	✓	
DQO	mg/L		✓	✓	

Continuación de la tabla VII.

G y A	mg/L		✓	✓	
N <sub>T</sub>	mg/L		✓	✓	
P <sub>T</sub>	mg/L		✓	✓	
CN <sub>T</sub>	mg/L		✓	✓	
CF	NPM/100mL		✓	✓	

Fuente: elaboración propia a partir del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*

### 3.2. Delimitación del campo de estudio

El estudio se limitó al desarrollo de una propuesta de un plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de una industria manufacturera farmacéutica, mediante la caracterización retrospectiva del efluente total de aguas residuales en el punto de unificación de caudales. La propuesta se rigió por las normas establecidas en el *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*

### 3.3. Recurso humano disponible

- Investigador: Sergio Alejandro de la Cruz Padilla  
Estudiante de Ingeniería química
- Asesor: Jorge Mario Estrada Asturias  
Ingeniero químico
- Supervisor del proyecto: Donald Rodríguez  
Ingeniero mecánico

### 3.4. Recurso material disponible

A continuación se presenta el material que se utilizó para el desarrollo de la etapa experimental:

Tabla VIII. **Equipo disponible**

<b>Equipo</b>	<b>Descripción</b>
Protección ocular	Resistentes a impactos y con protección lateral
Casco protector	Resistente a impactos
Botas industriales	Resistentes al agua con suela antiderrapante
Guantes de neopreno	Resistentes a sustancias químicas
Cronómetro digital	Resistente al agua
Cubeta	Resistente a sustancias químicas
Máscara	Protección contra gases y vapores tóxicos

Fuente: elaboración propia a partir del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*

La cristalería que se utilizó se describe en la siguiente tabla:

Tabla IX. **Cristalería**

<b>Cristalería</b>	<b>Descripción</b>
Termómetro	Termómetro de mercurio
Tubos de ensayo	Completamente esterilizados
Frascos de vidrio	Completamente esterilizados
Recipientes de plástico de 1 galón	Resistente a sustancias químicas

Fuente: elaboración propia a partir del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*

### **3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa**

El estudio es de carácter cuantitativo y midió parámetros físicos y químicos, así como parámetros biológicos, de las aguas residuales provenientes de una industria manufacturera farmacéutica. Con el análisis e interpretación de los resultados obtenidos se propuso un plan de gestión para el tratamiento y disposición del efluente de aguas residuales.

### **3.6. Recolección y ordenamiento de la información**

La metodología experimental del plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de una industria manufacturera farmacéutica comprendió 7 fases, las cuales se describen a continuación.

#### **3.6.1. Fase de reconocimiento del área y de localización de los puntos generadores de caudales residuales**

Se localizaron los puntos de generación de caudales de aguas residuales de todas las áreas operativas, así como los de la planta de producción de una industria manufacturera farmacéutica.

#### **3.6.2. Fase de medición de caudales**

Se midió el caudal general del efluente de aguas residuales en el punto de unificación de caudales previo a la descarga en el alcantarillado, para la determinación de la carga orgánica total.



### **3.6.3. Fase de ubicación de los puntos de muestreo**

Se seleccionó como sitio de muestreo el punto de unificación de caudales de aguas residuales previo a la descarga en el alcantarillado.

### **3.6.4. Fase de muestreo**

Se tomó una muestra semanal durante 3 semanas, las cuales fueron analizadas en el Laboratorio Ecológico y Químico, Ecoquimsa, ubicado en la colonia Alvarado, zona 2 de Mixco, Guatemala.

### **3.6.5. Fase de análisis de las muestras**

Para la determinación de los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, el laboratorio Ecoquimsa utilizó una metodología certificada<sup>6</sup>.

### **3.6.6. Fase de comparación de los resultados obtenidos de las muestras analizadas**

Se realizó una comparación de los parámetros físicos, químicos y biológicos del efluente total de aguas residuales, identificando los parámetros críticos que necesitan de un tratamiento de forma inmediata, de conformidad con los límites máximos regulados en el artículo 28 del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

---

<sup>6</sup> Acuerdo Gubernativo 236-2006. Artículo 54.

### 3.6.7. Fase de desarrollo del plan de gestión

Se desarrolló una propuesta de un plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de una industria manufacturera farmacéutica, con base en los parámetros críticos identificados.

### 3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Los resultados de los parámetros evaluados en las 3 muestras tomadas se presentaron en informes individuales por muestra, elaborados por el laboratorio ecológico y químico Ecoquimsa. Posteriormente, los datos se tabularon para realizar la comparación con los límites máximos permitidos estipulados en el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Los formatos utilizados para la tabulación y el ordenamiento de los datos se describen a continuación. El ordenamiento de los parámetros obtenidos se hace acorde a su característica física, química o biológica.

Tabla X. Tabulación de propiedades físicas

Parámetro	Unidades	Muestreo	Muestreo	Muestreo	Límites máximos permisibles <sup>7</sup>
		No. 1	No. 2	No. 3	
		dd/mm/aa	dd/mm/aa	dd/mm/aa	
Temperatura	°C	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	< 40
Sólidos suspendidos totales	mg/L	SST <sub>1</sub>	SST <sub>2</sub>	SST <sub>3</sub>	200

<sup>7</sup> Acuerdo Gubernativo 236-2006. Artículo 28.

Continuación tabla X.

Sólidos sedimentables	mg/L	SSD <sub>1</sub>	SSD <sub>2</sub>	SSD <sub>3</sub>	-
Color	Unidades Pt - Co	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	500
Materia flotante	Ausencia/Presencia	MF <sub>1</sub>	MF <sub>2</sub>	MF <sub>3</sub>	Ausente

Fuente: elaboración propia a partir del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*

Tabla XI. **Tabulación de propiedades químicas**

Parámetro	Unidades	Muestra o No. 1	Muestra o No. 2	Muestra o No. 3	Límites máximos permisibles <sup>8</sup>
		dd/mm/a	dd/mm/a	dd/mm/a	
pH	Adimensional	pH <sub>1</sub>	pH <sub>2</sub>	pH <sub>3</sub>	6 a 9
DBO	mg/L	DBO <sub>1</sub>	DBO <sub>2</sub>	DBO <sub>3</sub>	200
DQO	mg/L	DQO <sub>1</sub>	DQO <sub>2</sub>	DQO <sub>3</sub>	-
Grasas y aceites	mg/L	GyA <sub>1</sub>	GyA <sub>2</sub>	GyA <sub>3</sub>	2,50
Nitrógeno	mg/L	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	60
Fósforo	mg/L	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	40
Cianuro total	mg/L	CN <sub>1</sub>	CN <sub>2</sub>	CN <sub>3</sub>	10

Fuente: elaboración propia a partir del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*

<sup>8</sup> Acuerdo Gubernativo 236-200. Artículo 28.

Tabla XII. **Tabulación de propiedades biológicas**

Parámetro	Unidades	Muestreo	Muestreo	Muestreo	Límites máximos permisibles <sup>9</sup>
		No. 1	No. 2	No. 3	
		dd/mm/aa	dd/mm/aa	dd/mm/aa	
Coliformes fecales	NMP en 100 mL	CF <sub>1</sub>	CF <sub>2</sub>	CF <sub>3</sub>	1,00E+04

Fuente: elaboración propia a partir del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*

### 3.8. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se hizo uso de la estadística descriptiva.

#### 3.8.1. Tamaño de la muestra

El número de repeticiones en las mediciones experimentales se realiza con el objetivo de disminuir los errores aleatorios y empíricos; esto permite que las mediciones sean más precisas. Para determinar el número de corridas se tomará un valor de confiabilidad del 90 %, con una probabilidad de fracaso del 10 %, que implica un valor de  $\alpha=0,10$ . El valor  $Z_{\alpha/2} = 1,65$  se obtiene de la distribución normal. El error estimado para las mediciones es de 0,30.<sup>10</sup>

$$\eta = \frac{Z_{\alpha/2}^2 * p * q}{E^2} \text{ [ ecuación 1]}$$

<sup>9</sup> Acuerdo Gubernativo 236-2006. Artículo 28.

<sup>10</sup> TRIOLA, Mario F. *Estadística*. p. 328.

Donde:

$\eta$  = número de corridas experimentales

$Z_{\alpha/2}$  = nivel de confianza deseado en las mediciones

$p$  = probabilidad de éxito

$q$  = probabilidad de fracaso

$E$  = error experimental estimado

Sustituyendo los datos en la ecuación No. 1:

$$\eta = \frac{1,65^2 * 0,90 * 0,10}{0,30^2} = 2,72$$
$$\eta \approx 3$$

El número de repeticiones es de  $n = 3$ , indicando que se deben realizar 3 corridas, para poder cumplir con una confiabilidad de 90 %, y estimando un error del 0,30, lo que conlleva que los resultados del experimento sean precisos. Por lo tanto, para el presente estudio se realizó la toma de 3 muestras del efluente de aguas residuales de una industria manufacturera farmacéutica para su caracterización.

### **3.8.2. Medidas de tendencia central**

Una medida de tendencia central es un valor que se encuentra en el centro o a la mitad de un conjunto de datos.<sup>11</sup>

A continuación se describen las medidas de tendencia central que se utilizarán para el desarrollo del presente estudio.

---

<sup>11</sup> TRIOLA, Mario F. *Estadística*. p. 76.

### 3.8.2.1. Media aritmética

La media aritmética de un conjunto de valores es la medida de tendencia central que se calcula al sumar los valores y dividir el total entre el número de valores:

$$\bar{X} = \frac{\Sigma x}{n} \text{ [ ecuación 2]}$$

$\Sigma$  : representa la suma de un conjunto de valores.

$x$  : es la variable que generalmente se usa para representar los datos individuales.

$n$  : representa el número de valores en una muestra.

### 3.8.3. Medidas de variación

Las medidas de variación permiten identificar qué tan dispersos o concentrados se encuentran los datos respecto a una medida de tendencia central.<sup>12</sup> A continuación se describen las medidas de variación que se utilizarán para el desarrollo del presente estudio.

#### 3.8.3.1. Varianza

La varianza de un conjunto de valores es una medida de variación igual al cuadrado de la desviación estándar:

$$S^2 = \frac{\Sigma(x-\bar{X})^2}{n-1} \text{ [ ecuación 3]}$$

---

<sup>12</sup> TRIOLA, Mario F. *Estadística*. p. 92.

### 3.8.3.2. Desviación estándar

La desviación estándar de un conjunto de valores muestrales es la medida de variación de los valores con respecto a la media. Es un tipo de desviación promedio de los valores con respecto a la media:

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma(x - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{S^2} \text{ [ ecuación 4]}$$

### 3.9. Plan de análisis de los resultados

El análisis de los resultados contempló el uso de herramientas gráficas. Por lo tanto, la representación gráfica de los resultados cuantificables de los análisis de laboratorio obtenidos de cada muestra, contra el tiempo, permitió determinar los valores máximos medidos de cada uno de los parámetros, y posteriormente la comparación con los límites máximos permitidos establecidos en el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. A partir de estos resultados se identificaron los parámetros prioritarios y se propuso un plan de gestión para el tratamiento y disposición final de los efluentes finales.

### **3.10. Programas a utilizar para el análisis de datos**

Para el análisis de los parámetros obtenidos se utilizaron los siguientes programas:

- Microsoft Word: redacción del informe del estudio y de los resultados.
- Microsoft Excel: tabulación de resultados, análisis estadístico y creación de gráficos.



## 4. RESULTADOS

A continuación se presentan los puntos de generación de caudales de aguas residuales de todas las áreas operativas de una industria farmacéutica.

Tabla XIII. **Localización de los puntos de generación de caudales de aguas residuales**

No.	Área/Proceso	Punto de contaminación
1	Laboratorio fisicoquímico	Sí
2	Laboratorio microbiológico	Sí
3	Granulación seca	Sí
4	Mezclado	Sí
5	Granulación húmeda 1	Sí
6	Granulación húmeda 2	Sí
7	Fabricación de líquidos 1	Sí
8	Fabricación de líquidos 2	Sí
9	Llenado de líquidos 1	Sí
10	Llenado de líquidos 2	Sí
11	Lavado de frascos	Sí
12	Área de lavado	Sí
13	Materiales de limpieza	Sí
14	Preparación de cremas y ungüentos	Sí
15	Baño de hombres	Sí
16	Baños de mujeres	Sí

Fuente: elaboración propia con base en el anexo 4.

A continuación se presenta el caudal del efluente total de aguas residuales en la planta de producción de una industria manufacturera farmacéutica y la carga de DBO.

Tabla XIV. **Caudal del efluente total de aguas residuales previo a la descarga en el alcantarillado público y cargas de DBO**

Parámetro	Unidades	Valor
Caudal	L/día	3 384,00
Carga de DBO	kg DBO/ día	0,94
Carga de DBO permitida	kg DBO/ día	3 000< Carga DBO<4 000

Fuente: elaboración propia, con base en el artículo 26 del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y disposición de lodos*.

A continuación se presentan los resultados del análisis físico, químico y biológico de las muestras tomadas en el efluente total de aguas residuales de la industria manufacturera farmacéutica.

Tabla XV. **Resultados de las propiedades físicas de las muestras tomadas del efluente total de aguas residuales con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006**

Parámetro	Unidades	Muestr eo No.1	Muestr eo No.2	Muestre o No. 3	Límites máximos permisibles
		29/01/2 016	08/07/2 016	24/03/2 017	
Temperatura	°C	23,50	26,20	22,50	< 40,00
Sólidos suspendidos totales	mg/L	84,00	66,00	64,00	200,00
Sólidos sedimentables	mg/L	0,01	0,10	0,01	-
Color	Unidades Platino - Cobalto	<b>533,00</b>	489,00	112,00	500,00
Materia flotante	Ausencia/ Presencia	<b>Presente</b>	Ausente	Ausente	Ausente

Fuente: elaboración propia, con base en los anexos 5, 6 y 7.

Tabla XVI. **Resultados de las propiedades químicas de las muestras tomadas del efluente total de aguas residuales con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006**

Parámetro	Unidades	Muestra	Muestra	Muestra	Límites máximos permisibles
		o No.1	o No.2	o No. 3	
		29/01/20	08/07/20	24/03/20	
		16	16	17	
pH	Adimensional	6,40	6,26	6,82	6 a 9
DBO	mg/L	<b>340,00</b>	<b>323,00</b>	174,00	200,00
DQO	mg/L	615,00	517,00	279,00	-
Relación DQO/DBO	Adimensional	1,80	1,60	1,60	2,50
Grasas y aceites	mg/L	17,00	19,00	17,00	60,00
Nitrógeno total	mg/L	15,00	26,90	<b>47,00</b>	40,00
Fósforo total	mg/L	6,20	5,36	4,95	10,00
Cianuro total	mg/L	-	-	0,001	1,00

Fuente: elaboración propia, con base en los anexos 5, 6 y 7.

Tabla XVII. **Resultados de las propiedades biológicas de las muestras tomadas del efluente total de aguas residuales con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006**

Parámetro	Unidades	Muestra o No.1	Muestra o No.2	Muestreo No. 3	Límites máximos permisibles
		29/01/20 16	08/07/20 16	24/03/201 7	
Coliformes fecales	NMP/ 100 mL	<b>2,40E+06</b>	<b>1,30E+06</b>	<b>2,40E+06</b>	1,00E+04

Fuente: elaboración propia, con base en los anexos 5, 6 y 7.

A continuación se presentan los promedios de los resultados del análisis físico, químico y biológico de las muestras tomadas en el efluente total de aguas residuales de la industria manufacturera farmacéutica.

Tabla XVIII. **Resultados promedio de las propiedades físicas de las muestras tomadas del efluente total de aguas residuales con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006**

Parámetro	Unidades	Promedio	Desviación estándar	Límites máximos permisibles
Temperatura	°C	24,06	1,91	< 40,00

Continuación tabla XVIII.

Sólidos suspendidos totales	mg/L	71,33	11,01	200,00
Sólidos sedimentables	mg/L	0,04	0,05	-
Color	Unidades Platino - Cobalto	378,00	231,41	500,00
Materia flotante	Ausencia/Presencia	-	-	Ausente

Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XV.

Tabla XIX. **Resultados promedio de las propiedades químicas de las muestras tomadas del efluente total de aguas residuales con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006**

Parámetro	Unidades	Promedio	Desviación estándar	Límites máximos permisibles
pH	Adimensional	6,49	0,29	6 a 9
DBO	mg/L	<b>279,00</b>	91,32	200,00
DQO	mg/L	470,33	172,79	-

Continuación tabla XIX.

Relación DQO/DBO	Adimensional	1,66	0,11	2,50
Grasas y aceites	mg/L	17,66	1,15	60,00
Nitrógeno total	mg/L	29,63	16,17	40,00
Fósforo total	mg/L	5,50	0,63	10,00
Cianuro total	mg/L	-	-	1,00

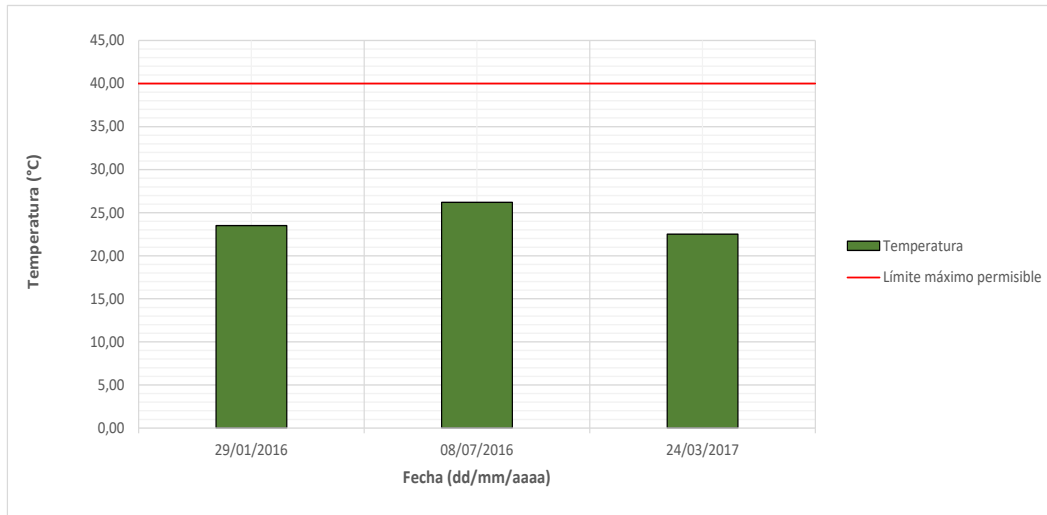
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XVI.

Tabla XX. **Resultados promedio de las propiedades biológicas de las muestras tomadas del efluente total de aguas residuales con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006**

Parámetro	Unidades	Promedio	Desviación estándar	Límites máximos permisibles
Coliformes fecales	NMP/100 mL	<b>2,03E+06</b>	6,35E+05	1,00E+04

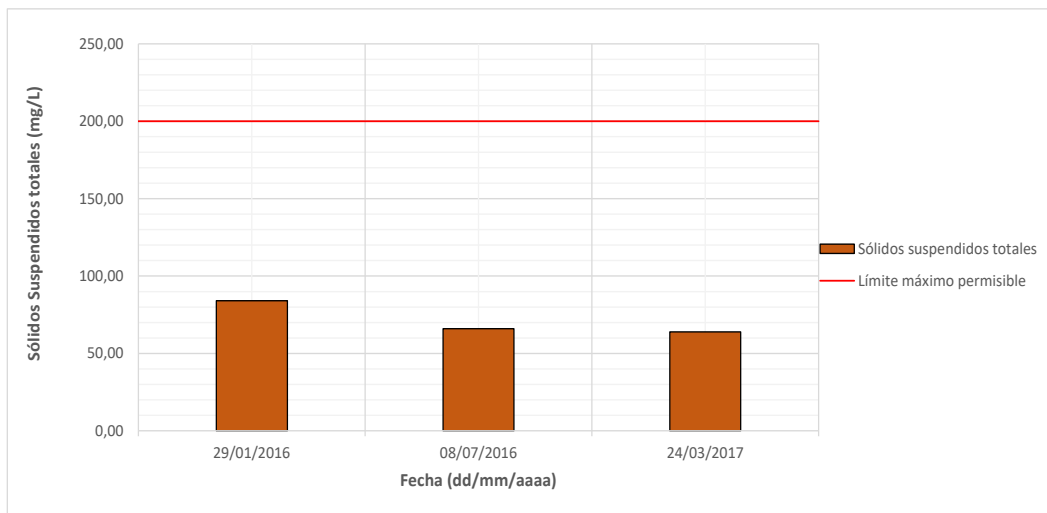
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XVII.

Figura 4. **Resultados del análisis de temperatura en función de la fecha de toma de muestra**



Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XVIII.

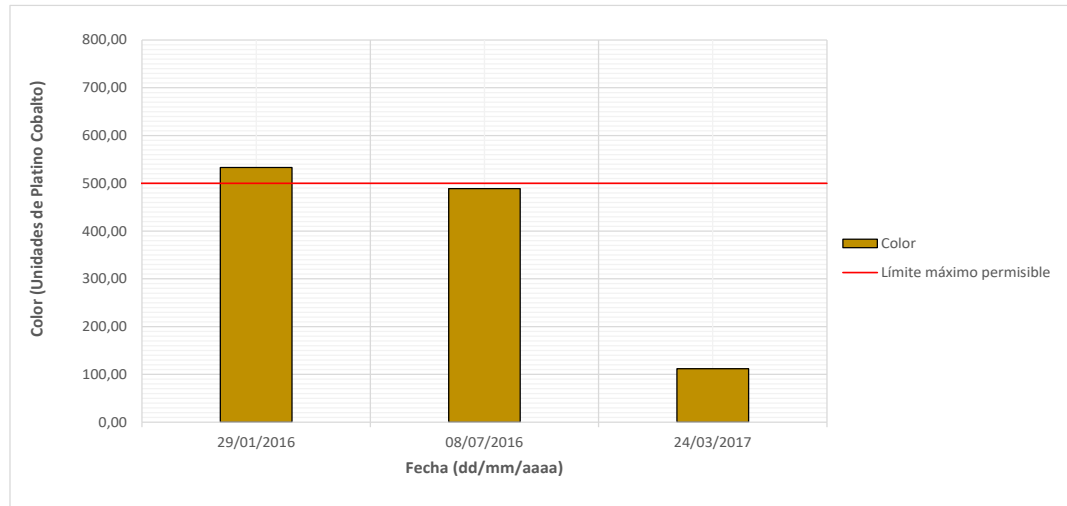
Figura 5. **Resultados del análisis de sólidos suspendidos en función de la fecha de toma de muestra**



Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XVIII.

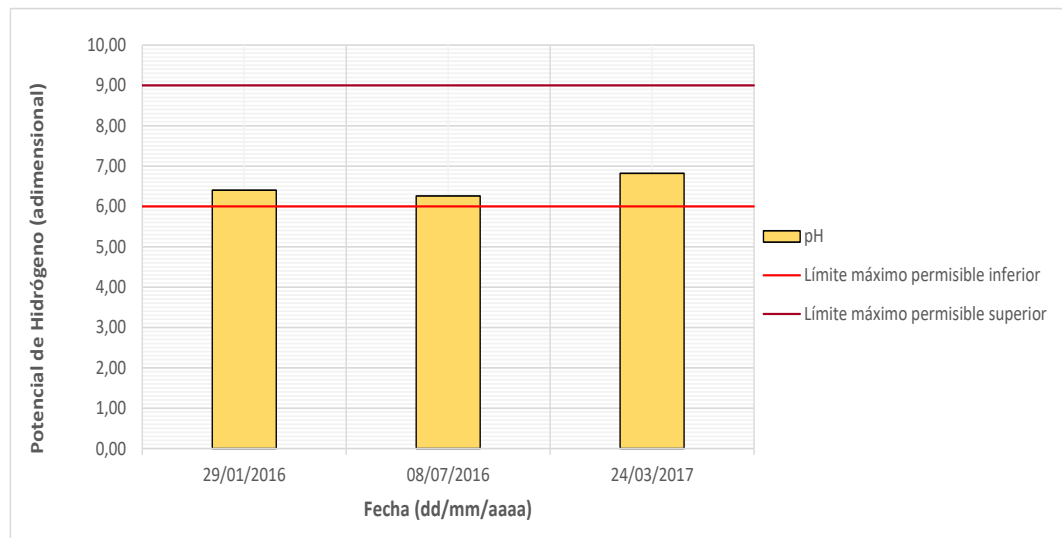


Figura 6. **Resultados del análisis de color en función de la fecha de toma de muestra**



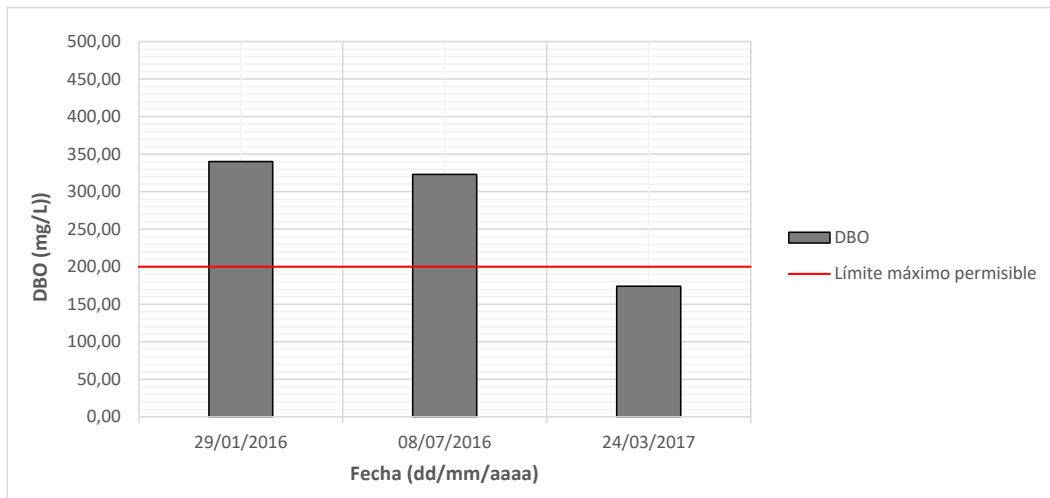
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XVIII.

Figura 7. **Resultados del análisis del pH en función de la fecha de toma de muestra**



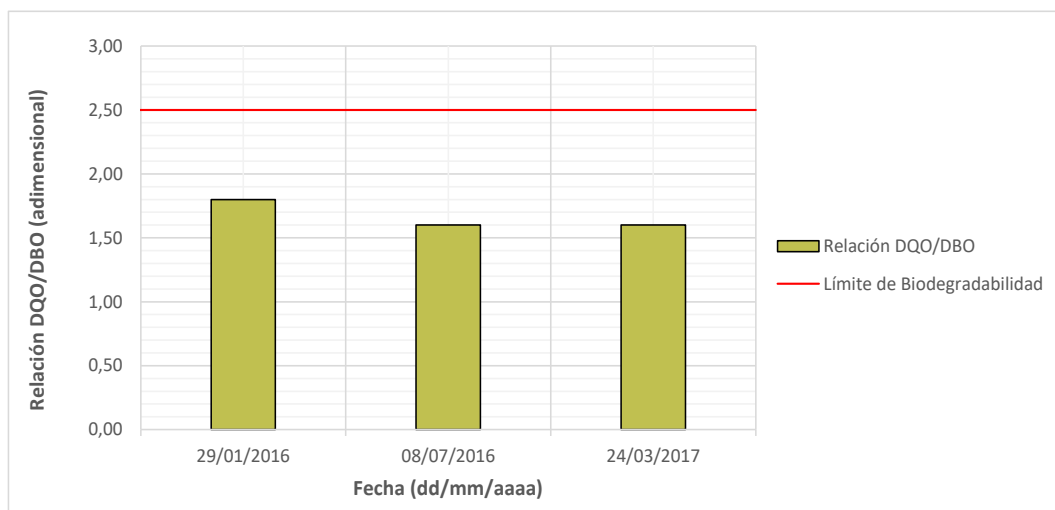
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XIX.

Figura 8. **Resultados del análisis de DBO en función de la fecha de toma de muestra**



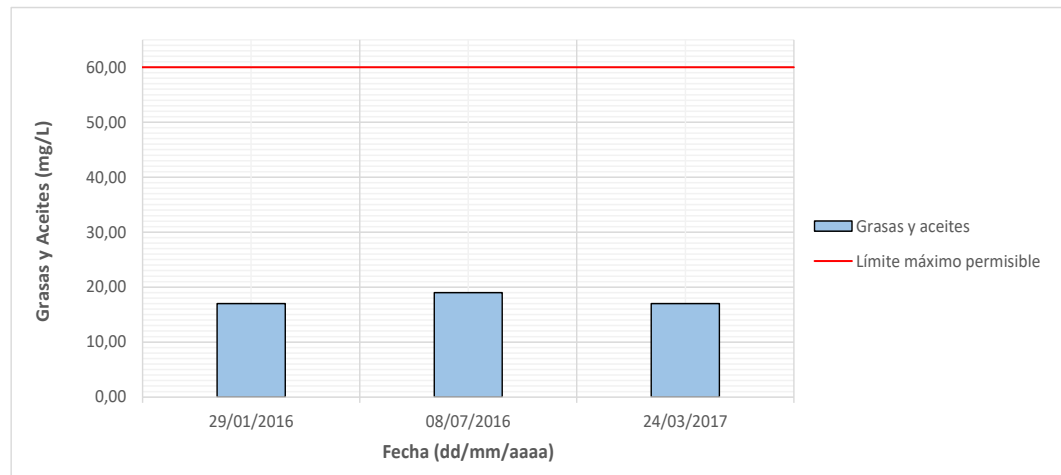
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XIX.

Figura 9. **Índice de biodegradabilidad (DQO/DBO) en función de la fecha de toma de muestra**



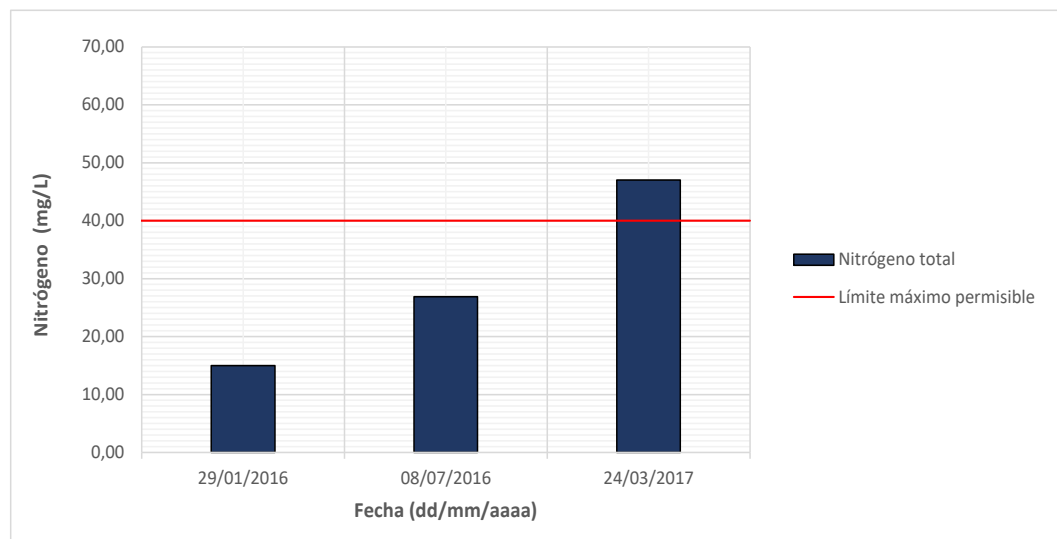
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XIX.

Figura 10. **Resultados del análisis de grasas y aceites en función de la fecha de toma de muestra**



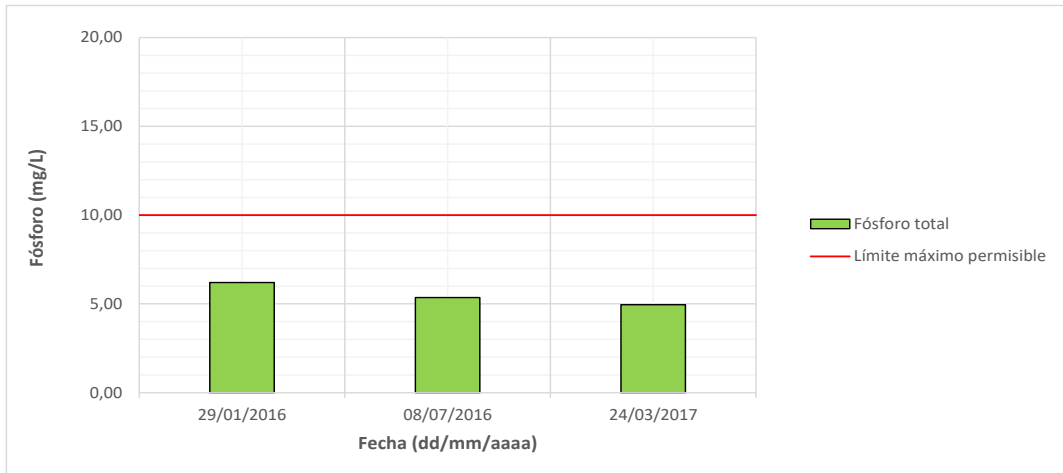
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XIX.

Figura 11. **Resultados del análisis de nitrógeno en función de la fecha de toma de muestra**



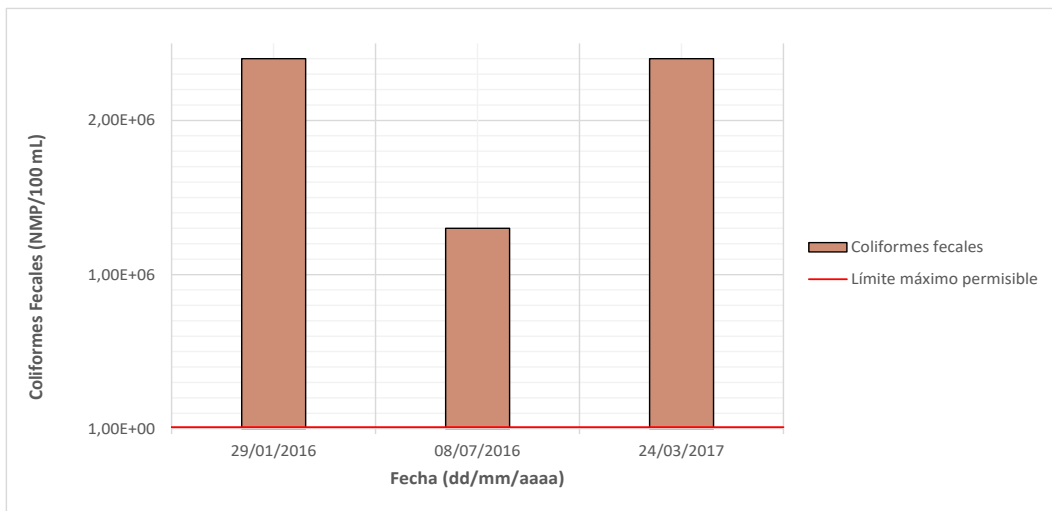
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XIX.

Figura 12. **Resultados del análisis de fósforo en función de la fecha de toma de muestra**



Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XIX.

Figura 13. **Resultados del análisis de coliformes fecales en función de la fecha de toma de muestra**



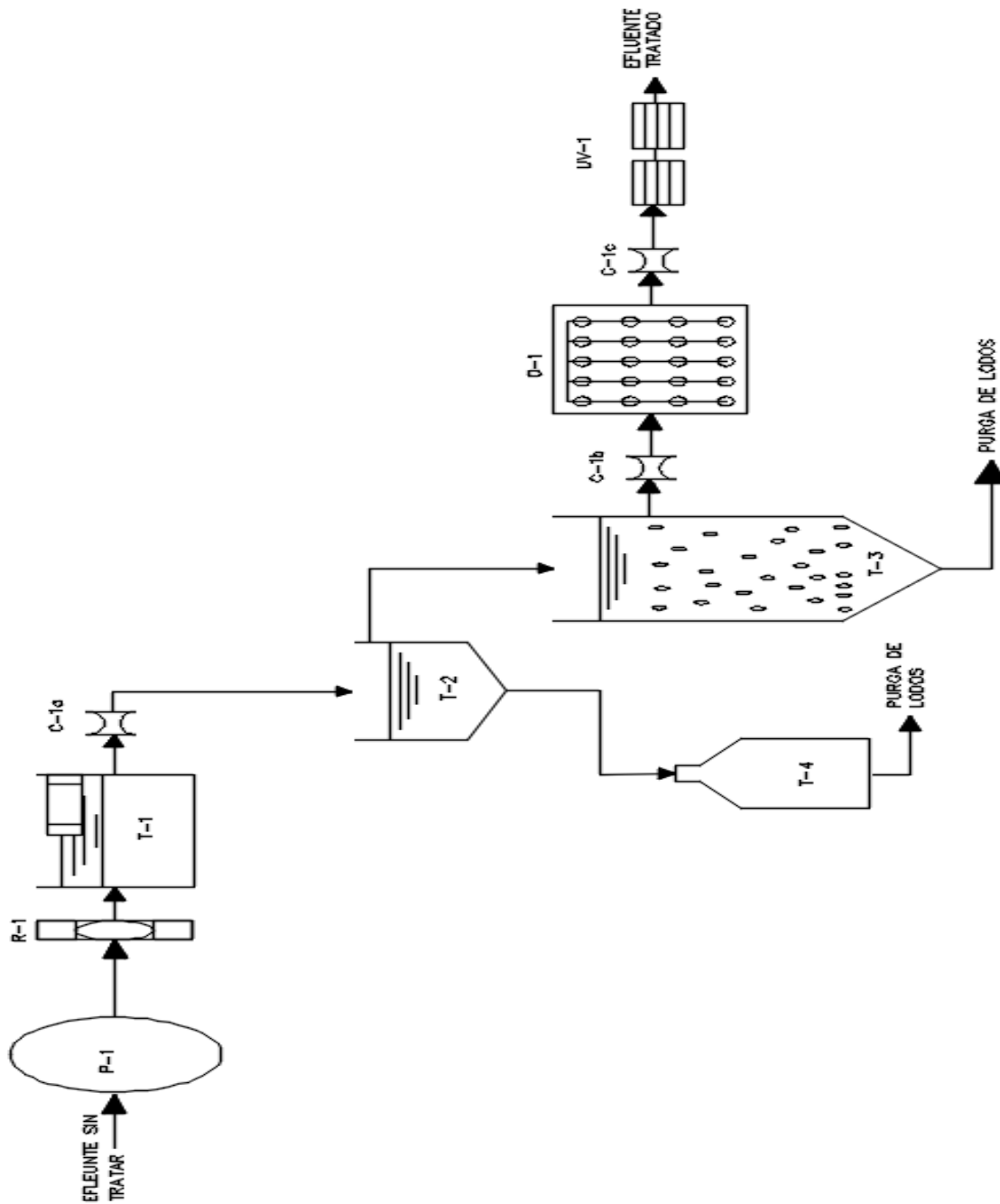
Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XX.

Tabla XXI. **Tren de tratamiento propuesto para el efluente total de aguas residuales**

<b>Pretratamiento</b>	Reja de desbaste
	Desarenador
<b>Tratamiento primario</b>	Sedimentador
<b>Tratamiento secundario</b>	Reactor de flujo discontinuo secuencial (SBR)
<b>Tratamiento terciario</b>	Ozono
	Radiación UV

Fuente: elaboración propia, con base en las tablas XIX y XX.

Figura 14. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento del efluente total de aguas residuales de una industria manufacturera farmacéutica



Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XXI.

Tabla XXII. **Código de equipo empleado en la figura 14**

<b>Código</b>	<b>Significado</b>
P-1	Punto de unificación de caudales
R-1	Reja de desbaste
T-1	Tanque desarenador
T-2	Tanque sedimentador
T-3	Reactor de flujo discontinuo secuencial (SBR)
T-4	Tanque recolector de lodos
O-1	Cámara de contacto con ozono
UV-1	Cámara de contacto con luz UV
C-1	Caudalímetro

Fuente: elaboración propia, con base en la figura 14.





## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se localizaron 16 puntos de generación de caudales residuales dentro de todas las áreas operativas, así como las de la planta de producción de una industria manufacturera farmacéutica. Con base en la caracterización retrospectiva del efluente total de aguas residuales se identificó que son los servicios sanitarios y los sitios de lavado las áreas que más contaminan (véase tabla XIII).

Respecto al caudal del efluente total de aguas residuales descargado en el alcantarillado público, y a la carga de la demanda bioquímica de oxígeno diaria, expuestos en la tabla XIV, se observa que la industria manufacturera farmacéutica registra un caudal relativamente bajo, representado por 3 384 L/día, razón por la cual la demanda bioquímica de oxígeno diaria también es baja en comparación con la carga de la demanda bioquímica de oxígeno permitida. Consecuentemente, se cumple con el modelo de reducción progresiva de cargas de la demanda bioquímica de oxígeno para descargas al alcantarillado público estipulado en el artículo 26 del *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y disposición de lodos*.

Con el objetivo de obtener la caracterización retrospectiva del efluente total de aguas residuales en el punto de unificación de caudales, previo a la descarga en el alcantarillado de una empresa manufacturera farmacéutica, de enero de 2016 a marzo de 2017 se realizaron tres muestreos del efluente total de aguas residuales, para posteriormente determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos, los cuales se llevaron a cabo con una frecuencia estimada de entre 6

y 8 meses, y los resultados se presentan de la tabla XV a la tabla XVII respectivamente.

Considerando que los análisis de las distintas muestras son una aproximación a lo que realmente ocurre en el efluente total de aguas residuales, se procedió a comparar los análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos obtenidos del efluente total de aguas residuales, cuyos resultados se detallan en las tablas XVIII, IX y XX, respectivamente.

Lo anterior permitió identificar como parámetros críticos a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), cuyo promedio es de 279 mg/L, y las coliformes fecales, cuyo promedio es de 2,03E+06 NMP/100mL. Dichos parámetros necesitan de un tratamiento de forma inmediata, en virtud que sobrepasan notoriamente los límites máximos permisibles regulados en el artículo 27 y 28 del *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y disposición de lodos*.

Con respecto a las propiedades físicas, se obtuvieron resultados de los análisis de tres parámetros. El primero se relaciona con las mediciones del parámetro de la temperatura del efluente total de aguas residuales, y en su representación gráfica de las mediciones realizadas se observó un comportamiento estable del nivel de temperatura y muy por debajo del límite máximo permisible estipulado en el *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y disposición de lodos*, situándose en promedio en 24,07 °C (véase figura 4). Consecuentemente, no se debe aplicar acciones correctivas, sino únicamente monitorear la temperatura mensualmente con el objetivo de llevar un control y un registro de este parámetro.

En el análisis de la concentración de sólidos suspendidos, los resultados muestran un comportamiento estable, siendo más notorio en las dos últimas mediciones, en las que sus resultados variaron muy levemente, registrando un promedio de 71,33 mg/L (véase figura 5); no obstante que aún hay un margen con el límite máximo permitido, se considera que el nivel actual de los sólidos suspendidos es significativo para provocar turbidez en el efluente total de aguas residuales.

Tomando en cuenta el comportamiento mencionado, se recomienda que la concentración de sólidos suspendidos en el efluente total de aguas residuales sea la más baja posible, del tal forma que este parámetro se reducirá mediante la propuesta del plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales para la industria manufacturera farmacéutica en cuestión.

En lo que respecta al análisis de la propiedad física referida al color, se observa un primer escenario, en el que dos muestras presentaron resultados críticos, una que sobrepasa el valor máximo permisible y otra muy próxima a alcanzar ese límite. Esto debido a la alta cantidad de materia orgánica presente en el efluente total de aguas residuales, hecho que se demuestra en la figura 8, correspondiente a la demanda bioquímica de oxígeno, que es una medida indirecta de la cantidad de materia orgánica biodegradable. Por esta razón el efluente total de aguas residuales presenta un color entre gris y marrón. Por otro lado, se observa un segundo escenario en el análisis de la muestra realizada en marzo de 2017, el que registró un valor extremo sustancialmente distante del límite permisible, situación que hace aconsejable una intervención, ya sea para una posible reducción en el color de los efluentes finales o bien para su revisión (véase figura 6).

Así pues, es conveniente que el color del efluente total de aguas residuales esté muy por debajo de los límites máximos permisibles, de tal forma que este parámetro se reducirá mediante la propuesta del plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales para la industria manufacturera farmacéutica en cuestión.

En el campo de las propiedades químicas, los resultados de las mediciones del potencial de hidrógeno observables en la figura 7 indican una regularidad en el comportamiento del parámetro mencionado. Considerando que los valores obtenidos se encuentran en el rango de los límites máximos permisibles, de 6 a 9, únicamente se debe realizar un monitoreo mensualmente con el objetivo de llevar un control y un registro de este parámetro.

De los resultados obtenidos de la demanda bioquímica de oxígeno presentados en la figura 8, no obstante que observan una tendencia decreciente, los valores aún son muy elevados, con el agravante que el resultado de los análisis de las dos primeras muestras sobrepasó considerablemente el límite máximo permisible, y el último valor, aunque presenta una disminución, sigue siendo aún un valor representativo, pues se encuentra cerca del límite máximo permisible. Cabe resaltar que en promedio la DBO presentó un valor de 279 mg/L, siendo este un 40 % superior al límite máximo permisible equivalente a 200 mg/L.

Consiguientemente, se establece que la demanda bioquímica de oxígeno es un parámetro crítico y es necesario disminuirlo con prioridad. Por esta razón, la propuesta del plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales para la industria manufacturera farmacéutica en cuestión se enfocará en la reducción considerable de la demanda bioquímica de oxígeno.

En la figura 9 se presentan los valores de la relación DQO/DBO, conocida también como índice de biodegradabilidad, los que se encuentran por debajo del límite máximo del índice correspondiente a 2,50. Cabe indicar que este parámetro permite determinar si para el efluente total de aguas residuales es posible aplicar un tratamiento biológico que disminuya la cantidad de materia orgánica presente en dicho efluente y, con base en los resultados del gráfico, se afirma que sí es posible aplicar un tratamiento biológico para biodegradar la materia orgánica.

En la figura 10 se presentan los valores de la concentración de las grasas y aceites. Los valores de estos parámetros presentaron una evidente regularidad en su comportamiento, registrando un promedio de 17,66 mg/L; además, están por debajo del límite máximo permisible. Por lo tanto, no se debe aplicar acciones correctivas, sino únicamente monitorear la concentración de grasas y aceites como mínimo dos veces al año, con el objetivo de llevar un control y un registro de este parámetro.

En la figura 11 y 12 se presentan los valores de la concentración de nitrógeno y fósforo respectivamente, para lo cual se observa que únicamente los resultados del parámetro nitrógeno registraron una tendencia al alza, llamando la atención que el último valor excedió el límite máximo permisible. Por lo anterior se debe intervenir este parámetro para reducir estos valores, esto mediante la propuesta del plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales para la industria manufacturera farmacéutica en cuestión.

La figura 13 presenta los resultados de la medición de los valores de las coliformes fecales, a partir de los cuales se puede observar que la totalidad de las mediciones realizadas sobrepasaron notoriamente el límite máximo permisible. Consecuentemente, es necesario aplicar una medida correctiva con prioridad.

Además, en promedio el parámetro biológico de coliformes fecales presentó un valor de  $2,03E+6$  NMP/100mL, sobrepasando así en dos órdenes de magnitud el límite máximo permisible equivalente a  $1,00E+4$  NMP/100mL.

Por consiguiente, se establece que el parámetro biológico de coliformes fecales es un parámetro crítico y es necesario disminuirlo con prioridad. Por esta razón la propuesta del plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales se enfocará en su reducción considerable.

Con base en lo expuesto anteriormente, se justifica la necesidad de desarrollar una propuesta de un plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de una industria manufacturera farmacéutica, tomando como punto de referencia, principalmente, los parámetros críticos previamente identificados, siendo estos la demanda bioquímica de oxígeno y las coliformes fecales. Dicho plan de gestión se expone a detalle en el apéndice 1 del presente trabajo de graduación.

Además, como parte fundamental de un plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales, es necesario plantear un tren de tratamiento para que el efluente total de aguas residuales sea compatible con las disposiciones del *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. El tren de tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar o reducir a niveles aceptables los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el efluente total de aguas residuales.

En ese mismo sentido el tren de tratamiento de aguas comprenderá las siguientes cuatro etapas: 1) Pretratamiento de aguas residuales (reja de desbaste y desarenador), 2) Tratamiento primario de aguas residuales

(sedimentador), 3) Tratamiento secundario de aguas residuales (reactor de flujo discontinuo secuencial), y 4) Tratamiento terciario de aguas residuales (ozono y radiación UV).

Como se indicó, la etapa de pretratamiento se compone de una reja de desbaste y un tanque desarenador. En esta etapa el objetivo es eliminar los constituyentes del efluente total de aguas residuales cuya presencia pueda causar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares, tal es el caso de la materia flotante que se presentó durante los análisis físicos realizados del efluente total de aguas residuales.

Posteriormente, la etapa del tratamiento primario se compone de un sedimentador, mediante el cual, según Metcalf & Eddy, “se busca eliminar una fracción de los sólidos suspendidos (50 %-70 %) y de la materia orgánica (25 %-40 %) del efluente total de aguas residuales”<sup>13</sup>. Esto mediante el principio de sedimentación de partículas discretas y de sedimentación por floculación.

En ese orden, la sedimentación de partículas discretas se refiere a la eliminación de arenas del agua residual; y la sedimentación por floculación se refiere a la eliminación de una fracción de los sólidos en suspensión y materia orgánica a causa de la adición de un agente floculante. Además, se pretende eliminar la concentración de fósforo presente en el efluente total de aguas residuales, esto a través de la adición de una solución de cal o de cloruro férrico, para así precipitar los fosfatos, quedando sedimentados en los residuos o lodos de este tratamiento.

---

<sup>13</sup> METCALF & EDDY, Inc. *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. p. 539.

Seguidamente, el tratamiento secundario se compone de un reactor de flujo discontinuo secuencial (SBR), que básicamente es un sistema de tratamiento de fangos activados cuyo funcionamiento se basa en la secuencia de ciclos de llenado, reacción, sedimentación y evacuación; consecuentemente, requiere de poco espacio debido a que se necesita un solo tanque para realizar todo el proceso.

La circunstancia anterior facilita su implementación en la industria manufacturera farmacéutica, ya que prevalece la limitación de espacio para instalar equipos de grandes dimensiones. Además de que el reactor termina de remover los sólidos suspendidos remanentes mediante el proceso de sedimentación, Metcalf & Eddy afirman que “este equipo posee una eficiencia de eliminación de DBO de 85 %-95 % y de nitrógeno > 75 %”<sup>14</sup>, por lo tanto, es ideal para eliminar los valores del parámetro crítico identificado de la demanda bioquímica de oxígeno, y para reducir a niveles aceptables la concentración de nitrógeno en el efluente total de aguas residuales.

Por último, el tratamiento terciario se plantea como una etapa de desinfección para la eliminación del parámetro crítico de coliformes fecales del efluente total de aguas residuales; este proceso se realiza mediante la inyección de ozono y la radiación UV, con los cuales se asegura una desinfección total. Cabe mencionar que se justifica el uso de la radiación UV debido a que en este sistema de desinfección no se emplea ningún agente químico, catalogándolo como el sistema de desinfección más seguro. Por otro lado, el ozono es un agente oxidante extremadamente reactivo y es altamente efectivo ante la destrucción de bacterias y virus; asimismo, se entiende que su efectividad es superior a la del cloro.

---

<sup>14</sup> METCALF & EDDY, Inc. *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. p. 624.



La ozonización no produce sólidos disueltos ni se ve afectada por la presencia del ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) ni por el pH del agua que entra en el proceso de desinfección. Por estas razones se considera la ozonización como una alternativa viable a la cloración. Sumado a lo anterior, se prescinde del uso de cloro como agente desinfectante, debido a que su contacto con el nitrógeno remanente en el efluente total de aguas residuales produce compuestos altamente tóxicos y cancerígenos.

Así pues, un adecuado tren de tratamiento de aguas residuales implica el hecho de que las cuatro etapas antes mencionadas se complementen entre sí, y no se puede obviar ninguna de estas, ya que cada una de estas etapas tiene un objetivo específico que facilita la tarea de la siguiente etapa. Con lo ya expuesto se pretende establecer las bases para que, a partir de este trabajo de graduación, se proceda a realizar la implementación del tren de tratamiento propuesto, así como a diseñar los equipos y reducir los parámetros físicos, químicos y biológicos analizados, para cumplir con los límites máximos permitidos, establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.



## CONCLUSIONES

1. Se localizaron 16 puntos de generación de caudales residuales dentro de todas las áreas operativas, así como las de la planta de producción de una industria manufacturera farmacéutica, siendo los servicios sanitarios y las áreas de lavado las que más contaminan.
2. El caudal del efluente total de aguas residuales presenta cargas de DBO diarias compatibles con la cuarta etapa del modelo de reducción progresiva de cargas de demanda bioquímica de oxígeno para descargas al alcantarillado público, estipulado en el artículo 26 del Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y disposición de lodos.
3. La calidad del efluente total de aguas residuales previo a su descarga en el alcantarillado no cumple con la cuarta etapa del artículo 28 del Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y disposición de lodos.
4. Con base en la caracterización retrospectiva del efluente total de aguas residuales, se identificó la demanda bioquímica de oxígeno y coliformes fecales como parámetros críticos que necesitan de un tratamiento de forma inmediata, para cumplir con la cuarta etapa del artículo 28 del Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y disposición de lodos.



## RECOMENDACIONES

1. Prevenir la contaminación de residuos en el origen, además de ser la mejor forma de prevenir la contaminación, también genera un ahorro de recursos económicos, comparado con el reciclaje y el tratamiento y disposición de las aguas residuales, que conllevan un incremento de costos y pueden causar contaminación.
2. Promover el compromiso desde la dirección general, de tal forma que todos los empleados y trabajadores de la industria farmacéutica estén a favor de mejoras en la calidad y reducciones de la cantidad de residuos generados. Se percibe que el interés de las entidades ambientales por preservar y mejorar el medio ambiente favorece la búsqueda de nuevos métodos para disminuir los residuos generados.
3. No se debe permitir la acumulación de materiales desechados. Estos deben ser recolectados en recipientes adecuados para su traslado a los puntos de retiro fuera de las plantas industriales, y deben ser eliminados en forma inocua y sanitaria, a intervalos regulares y frecuentes.
4. Evitar el uso de detergentes que contengan fosfatos, óxido y/o cloro para las actividades de limpieza y mantenimiento de las instalaciones industriales. Preferir el consumo de productos de limpieza biodegradables.

5. Minimizar el consumo de agua en las operaciones de lavado de equipos, plantas e instalaciones industriales, en virtud de que dicha actividad conlleva la generación de abundante residuo líquido.
6. El ente generador de residuos debe incluir, en el presupuesto, los costos fijos de promoción de la campaña educativa y de concientización a la comunidad, para propiciar el uso racionalizado y eficiente del recurso hídrico.
7. Proponer a las autoridades del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, la revisión el Artículo 26 del Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y disposición de lodos, aprobado mediante el Acuerdo Gubernativo 236-2006. La revisión se orienta a la reducción de los valores para el cumplimiento en la etapa cuatro, ya que, al haberse establecido límites máximos extremadamente permisibles para la reducción progresiva de cargas de la demanda bioquímica de oxígeno para descargas al alcantarillado público, se desnaturaliza el espíritu de la normativa de controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares, y cualquier otra causa o fuente de contaminación hídrica que genere un impacto adverso en el ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

1. GEANKOPLIS, Christie J. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 3a ed. Nueva Jersey, Estados Unidos: Prentice Hall International, 1993. 928 p.
2. KEMMER, Frank.; McCALLION, John. *Manual del agua: su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. Tomo I. 1a ed. México, D.F: McGraw-Hill, 1989. 237 p.
3. MARTZ, Manfred. *Effective wastewater treatment in the pharmaceutical industry*. Maryland, 2012. [en línea]. <[http://www.ispe.com/pharmaceutical\\_engineering/12nd-martz.pdf](http://www.ispe.com/pharmaceutical_engineering/12nd-martz.pdf)>. [Consulta: 20 de junio de 2017].
4. METCALF & EDDY, INC. *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. Volumen I. 3a ed. Madrid, España: McGraw-Hill , 1995. 505 p.
5. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). *Acuerdo Gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reuso de las aguas residuales y de la disposición de lodos*. Guatemala, 2006. 24 p.

6. NEMEROW, Nelson L. *Aguas residuales industriales: teorías, aplicaciones y tratamiento*. 1a ed. Madrid, España: Hermann Blume Ediciones, 1977. 572 p.
7. PERRY, Robert H.; GREEN, Don W. *Manual del ingeniero químico*. 8a ed. México, D.F: McGraw-Hill ,1992. 2704 p.
8. RAMOS ALVARIÑO, Caridad. *Los residuos en la industria farmacéutica*. [en línea]. <<http://revista.cnic.edu.cu/revistaCB/sites/default/files/articulos/CB-2006-1-025-031.pdf>>. [Consulta: 10 de febrero de 2017].
9. SIERRA RAMÍREZ, Carlos Alberto. *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. 1a ed. Medellín, Colombia: Ediciones de la U, 2011. 457 p.
10. TRIOLA, Mario F. *Estadística*. 10a ed. México, D.F: Pearson Educación, 2009. 904 p.
11. VALENCIA MONTOYA, Guillermo. *Características de aguas residuales*. [en línea]. <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/05862/05862-01.pdf>>. [Consulta: 10 de febrero de 2017].



## **APÉNDICES**

### **Apéndice 1. Plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de una industria manufacturera farmacéutica**

#### **A. Introducción**

La descarga de aguas residuales industriales en las corrientes y cuerpos superficiales de agua, conduce al deterioro de la calidad de dichas aguas superficiales, además de alterar y perturbar el equilibrio ecológico del medio en general. Las aguas residuales contienen en solución una serie de compuestos orgánicos e inorgánicos, algunos de los cuales pueden sufrir transformaciones en el medio acuático debido a la acción bioquímica de microorganismos o bien por reacciones químicas.

Para evitar el escenario anterior, es preciso proceder a modificar las características físicas, químicas y biológicas del agua residual, antes de verterla al cuerpo receptor. El ingeniero de diseño utiliza para ello un sistema de tratamiento que reduce efectivamente las concentraciones de las sustancias presentes en el agua residual.

La decisión sobre cuál sistema de tratamiento debe utilizarse se basa, entre otras consideraciones, en las características físicas, químicas y biológicas que presente el agua residual a tratar. Es por ello que, como etapa preliminar en todo estudio de control de contaminación de corrientes y de desarrollo de planes de tratamiento y disposición de aguas residuales, se realiza una caracterización de las aguas residuales que se van a verter en el cuerpo receptor.

## Continuación apéndice 1

Actualmente, la mayoría de las industrias que involucran procesos de manufactura en Guatemala enfrentan problemas en el control de efluentes de aguas residuales. Estos inconvenientes se agravan si no se obtienen los resultados apropiados en el análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas del caudal de aguas residuales, ya que los procedimientos usuales involucrarían una elevada inversión económica y un alto consumo energético.

Así pues, el mayor impacto ambiental de la industria farmacéutica tiene lugar sobre el medio acuoso, debido a que se utiliza el agua para diversos fines: medio de limpieza, como disolvente, para refrigerar, como producto de reacción y para uso general, entre otros. Consecuentemente, la composición de los vertimientos varía mucho en función de los procesos de obtención; en general, contienen restos de disolventes orgánicos, de materias primas y auxiliares y de principios activos.

Por lo tanto, el desarrollo de una propuesta de un plan de gestión de aguas residuales debe comprender una síntesis de acciones que establezcan, para uso del ente generador o persona que descarga al alcantarillado público, una base técnica-científica indispensable que le permita inducir su desempeño ambiental, y pueda así definir las medidas preventivas y correctivas necesarias para cumplir con los límites máximos permisibles y las metas que el reglamento estipula.

Continuación apéndice 1

## **B. Objetivos**

### **General**

Desarrollar un plan de gestión para que el tratamiento y disposición de las aguas residuales de una industria manufacturera farmacéutica sea compatible con las disposiciones del *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y disposición de lodos*, establecidas en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

### **Específicos**

1. Localizar los puntos de generación de caudales de aguas residuales de todas las áreas operativas, así como las de la planta de producción de una industria manufacturera farmacéutica.
2. Medir el caudal del efluente total de aguas residuales en la planta de producción de una industria manufacturera farmacéutica para calcular la carga orgánica total.
3. Caracterizar retrospectivamente el efluente total de aguas residuales en el punto de unificación de caudales previo a la descarga en el alcantarillado, para verificar el cumplimiento de los parámetros establecidos en el artículo 28 del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

Continuación apéndice 1

4. Comparar los parámetros físicos, químicos y biológicos del efluente total de aguas residuales, identificando los parámetros críticos que necesitan de un tratamiento de forma inmediata, de conformidad con los límites máximos regulados en el artículo 28 del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

Continuación apéndice 1

### **C. Metodología**

La metodología del plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de una industria manufacturera farmacéutica comprendió 7 fases, las cuales se describen a continuación:

1. Fase de reconocimiento del área y de localización de los puntos generadores de caudales residuales.
2. Fase de medición de caudales.
3. Fase de ubicación de los puntos de muestreo.
4. Fase de muestreo.
5. Fase de análisis de las muestras.
6. Fase de comparación de los parámetros físicos, químicos y biológicos del efluente total de aguas residuales.
7. Fase de desarrollo de la propuesta del plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de una industria manufacturera farmacéutica, con base en los parámetros críticos identificados.

Continuación apéndice 1

## **D. Vigencia**

La vigencia del presente plan de gestión es de 2 años, a partir de su fecha de emisión: 2018. Al vencimiento de la vigencia, el plan podrá ser sujeto a revisiones por profesionales responsables de la industria manufacturera farmacéutica.

## **E. Identificación del ente generador**

### **E.1. Generalidades**

El mayor impacto ambiental de la industria farmacéutica tiene lugar sobre el medio acuoso, debido a que se utiliza el agua para diversos fines: medio de limpieza, como disolvente, para refrigerar, como producto de reacción y para uso general, entre otros. Consecuentemente, la composición de los vertimientos varía mucho en función de los procesos de obtención; en general, contienen restos de disolventes orgánicos y de materias primas.

### **E.2. Identificación de procesos**

En la industria manufacturera farmacéutica se llevan a cabo los siguientes procesos:

1. Pesaje de materiales
2. Fabricación de tabletas
3. Fabricación de capsulas
4. Fabricación de líquidos

Continuación apéndice 1

5. Fabricación de cremas y ungüentos
6. Fabricación de ampollas
7. Lavado de equipo y utensilios
8. Laboratorio fisicoquímico y laboratorio microbiológico
9. Empaque

Apéndice 1e. **Uso del recurso hídrico**

<b>Recurso</b>	<b>Procedencia de la contaminación</b>		<b>Sistema de tratamiento</b>	<b>Disposición final</b>
Agua	Áreas de producción		Fosa séptica	Alcantarillado público
	Área de lavado de equipo y utensilios		Fosa séptica	Alcantarillado público
	Análisis de calidad	Laboratorio fisicoquímico	Fosa séptica	Alcantarillado publico
		Laboratorio microbiológico	Fosa séptica	Alcantarillado publico
	Servicios sanitarios		Fosa séptica	Alcantarillado público
	Agua pluvial		Fosa séptica	Alcantarillado público

Fuente: elaboración propia.

Continuación apéndice 1

Apéndice 2e. **Localización de los puntos de generación de caudales de aguas residuales de todas las áreas operativas, así como las de la planta de producción de una industria manufacturera farmacéutica**

No.	Área/Proceso	Punto de contaminación
1	Laboratorio fisicoquímico	Sí
2	Laboratorio microbiológico	Sí
3	Granulación seca	Sí
4	Mezclado	Sí
5	Granulación húmeda 1	Sí
6	Granulación húmeda 2	Sí
7	Fabricación de líquidos 1	Sí
8	Fabricación de líquidos 2	Sí
9	Llenado de líquidos 1	Sí
10	Llenado de líquidos 2	Sí
11	Lavado de frascos	Sí
12	Área de lavado	Sí
13	Materiales de limpieza	Sí
14	Preparación de cremas y ungüentos	Sí
15	Baño de hombres	Sí
16	Baños de mujeres	Sí

Fuente: elaboración propia con base en el anexo 2.



Continuación apéndice 1

Apéndice 3e. **Punto de unificación de caudales de aguas residuales previo a la descarga en el alcantarillado**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4e. **Servicio sanitario de hombres**



Fuente: elaboración propia.

Continuación apéndice 1

## F. Caracterización del efluente total de aguas residuales

Apéndice 1f. **Comparación de los resultados de las propiedades físicas, químicas y biológicas de las muestras tomadas del efluente total de aguas residuales con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006**

Parámetro	Unidades	Muestreo No.1	Muestreo No.2	Muestreo No. 3	LMP
		29/01/2016	08/07/2016	24/03/2017	
<b>Propiedades físicas</b>					
Temperatura	°C	23,50	26,20	22,50	< 40,00
Sólidos suspendidos	mg/L	84,00	66,00	64,00	200,00
Sólidos sedimentables	mg/L	0,01	0,10	0,01	-
Color	Unidades Pt-Co	<b>533,00</b>	489,00	112,00	500,00
Materia flotante	Ausencia/Presencia	<b>Presente</b>	Ausente	Ausente	Ausente
<b>Propiedades químicas</b>					
pH	Adimensional	6,40	6,26	6,82	6 a 9
DBO	mg/L	<b>340,00</b>	<b>323,00</b>	174,00	200,00
DQO	mg/L	615,00	517,00	279,00	-
Relación DQO/DBO	Adimensional	1,80	1,60	1,60	2,50
Grasas y aceites	mg/L	17,00	19,00	17,00	60,00
Nitrógeno total	mg/L	15,00	26,90	<b>47,00</b>	40,00
Fósforo total	mg/L	6,20	5,36	4,95	10,00
Cianuro total	mg/L	-	-	0,001	1,00
<b>Propiedades biológicas</b>					
Coliformes fecales	NMP/100 mL	<b>2,40E+06</b>	<b>1,30E+06</b>	<b>2,40E+06</b>	1,00E+04

Fuente: elaboración propia, con base en las tablas XV, XVI y XVII.

Continuación apéndice 1

Apéndice 2f. **Caudal del efluente total de aguas residuales previo a la descarga en el alcantarillado público y cargas de DBO**

Parámetro	Unidades	Valor
Caudal	L/día	3 384,00
Carga de DBO	kg DBO/ día	0,94
Carga de DBO permitida	kg DBO/ día	3 000< Carga DBO<4 000

Fuente: elaboración propia, con base en el artículo 26 del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y disposición de lodos.*

### **G. Plan de gestión**

Después de la evaluación y análisis de las aguas descargadas al alcantarillado y de las actividades que las generan, se establece el siguiente como el Plan de Gestión de las aguas residuales y lodos de la industria manufacturera farmacéutica.

Continuación apéndice 1

Apéndice 1g. **Acciones previas**

<b>Objetivo</b>	
Reducir de forma significativa los parámetros físicos, químicos y biológicos del efluente total de aguas residuales, previo al planteamiento de un plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales de una industria manufacturera farmacéutica.	
<b>Fecha de implementación</b>	Permanente
<b>Responsabilidad</b>	Dirección general, jefes de área y operarios
<b>Desarrollo</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Prevenir la contaminación en el origen: la minimización de residuos en el origen no es solo la mejor forma de prevenir la contaminación, sino también la más rentable.</li> <li>2. Reducir cantidad de residuos: la cantidad de residuos se puede reducir.</li> <li>3. Identificar la causa de la producción de residuos</li> <li>4. Controlar el proceso para controlar los residuos: una vez que la causa de la producción de residuos ha sido identificada, una mejora en el control del proceso puede a menudo reducirla.</li> <li>5. El compromiso de la dirección general: todos los empleados están a favor de la reducción de la cantidad de residuos generados.</li> </ol>	
<b>Revisión</b>	Cada 2 años

Fuente: elaboración propia.

Continuación apéndice 1

Apéndice 2g. **Estudio técnico**

<b>Objetivo</b>	
<p>Evaluar la calidad del efluente total de aguas residuales, cotejando la situación existente del ente generador o la persona que descarga al alcantarillado público, con la condición ideal de los parámetros y valores establecidos en las etapas de reducción que contempla el Reglamento.</p>	
<b>Fecha de implementación</b>	Semestral
<b>Responsabilidad</b>	Jefe de mantenimiento
<b>Desarrollo</b>	
<p>1. Caracterización: con base en la caracterización retrospectiva del efluente total de aguas residuales, se identifica los parámetros críticos que necesitan de un tratamiento de forma inmediata para cumplir con la cuarta etapa del artículo 28 del Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y disposición de lodos.</p> <p>2. Medición caudal: mediante la medición del caudal del efluente total de aguas residuales en el punto de unificación de caudales residuales se determina la carga orgánica total y se verifica si el ente generador cumple con la carga orgánica total diaria permitida, establecida en el artículo 26 del Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y disposición de lodos.</p>	
<b>Revisión</b>	Cada 2 años

Fuente: elaboración propia.

Continuación apéndice 1

Apéndice 3g. **Tratamiento y disposición**

<b>Objetivo</b>	
Eliminar y/o reducir a niveles aceptables los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el efluente total de aguas residuales.	
<b>Fecha de implementación</b>	2018
<b>Responsabilidad</b>	Dirección general y jefe de mantenimiento
<b>Desarrollo</b>	
<p>1. Con base en los parámetros críticos identificados se debe plantear un tren de tratamiento para que el efluente total de aguas residuales sea compatible con las disposiciones del <i>Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos</i>.</p> <p>2. La limpieza y mantenimiento del equipo debe realizarse de acuerdo a procedimientos establecidos según el fabricante y/o diseñador, conservando el registro de los mismos.</p> <p>3. El diseño, construcción, ubicación y mantenimiento de los equipos destinados al tratamiento del efluente total de aguas residuales deben realizarse de tal forma que dichos equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sean apropiados para el uso al que están destinados.</li> <li>• Permitan una operación eficiente y, si corresponde, comprobada y confiable.</li> </ul>	
<b>Revisión</b>	Cada 2 años

Fuente: elaboración propia.

Continuación apéndice 1

Apéndice 4g. **Buenas prácticas de manufactura (BPM)**

<b>Objetivo</b>	
Fortalecer el manejo sustentable de los residuos sólidos y líquidos en una industria manufacturera farmacéutica, mediante la implementación de las BPM, que favorezca el manejo adecuado de los residuos sólidos y líquidos.	
<b>Fecha de implementación</b>	Permanente
<b>Responsabilidad</b>	Dirección general, jefe de mantenimiento, jefe de producción y operarios.
<b>Desarrollo</b>	
1. Toda persona que labore en la industria farmacéutica debe tener preparación académica, capacitación y experiencia o una combinación de esas condiciones, para ocupar el puesto al que se le asigne.	
2. No se debe permitir la acumulación de materiales desechados. Deben ser recolectados en receptáculos adecuados para su traslado a los puntos de retiro fuera de los edificios, y deben ser eliminados en forma inocua y sanitaria, a intervalos regulares y frecuentes.	
3. Deben adoptarse las medidas necesarias para el almacenamiento apropiado y seguro de los materiales desechados hasta ser eliminados. Las sustancias tóxicas y los materiales inflamables deben almacenarse en contenedores de adecuado diseño, separados y cerrados, de conformidad con la legislación existente al respecto.	

## Continuación apéndice 1

4. Para derrames de aceite en el piso, limpiar el aceite y transferirlo a un recipiente para su reciclaje o limpiar con absorbente tela oleofílica. La tela oleofílica sirve para usar varias veces y puede recuperar el solvente.
5. Para derrames de solventes, limpiar en seco preferiblemente; emplear materiales absorbentes (tierra, diatomita, arcillas, arena), y no usar aserrín de madera.
6. Se debe contar con programas escritos de saneamiento. Estos deben incluir procedimientos comprobados de limpieza de las instalaciones y los equipos, normas de calidad para el agua, instrucciones referentes a la higiene en la fabricación y manipulación de productos, e instrucciones relacionadas con la salud, prácticas higiénicas, vestimenta del personal y procedimientos de disposición de materiales desechados y residuos no utilizables.
7. Las instalaciones para el lavado de utensilios y drenajes son prohibidos en las áreas utilizadas para la fabricación aséptica. Cuando sea necesario instalarlas, debe diseñarse, ubicarse y mantenerse de tal manera que se reduzca al mínimo el riesgo de contaminación microbiana. Deben contar con drenajes y tapas tipo sanitario.
8. Evitar adquirir para actividades de limpieza y mantenimiento de las instalaciones, detergentes que contengan fosfatos.
9. Elegir productos de limpieza biodegradables, es decir, que no contengan fosfatos, cloro y/o óxido de cloro.



Continuación apéndice 1

10. Emplear desinfectantes efectivos y al mismo tiempo no contaminantes.
11. Instruir al personal para que utilice solo pequeñas cantidades de productos de limpieza o agua para limpiar recipientes y envases.
12. El lavado de equipos, plantas e instalaciones conlleva a la generación de mucho residuo líquido, razón por la cual se debe minimizar el consumo de agua para estas operaciones.
13. Los drenajes deben ser de tamaño adecuado y no deben permitir la contracorriente. En lo posible se debe tratar de evitar la instalación de canales abiertos.
14. Siempre que sea posible se debe evitar la instalación de sumideros y drenajes, o bien excluirlos de las áreas donde se efectúan operaciones asépticas. Donde haya necesidad de instalarlos, deben diseñarse, ubicarse y mantenerse de tal manera que se reduzca al mínimo el riesgo de contaminación microbiana; deben contar con trampas con cierres de aire que sean eficientes y fáciles de limpiar, con el fin de prevenir el sobreflujo. Todo canal ubicado sobre el piso debe ser de tipo abierto y de fácil limpieza, y estar conectado con drenajes que estén fuera del área, para impedir el ingreso de contaminantes microbianos.
15. Cuando en la producción se emplean materiales secos, deben tomarse precauciones especiales para prevenir la generación de polvo y su diseminación.

Continuación apéndice 1

16. Las entidades usuarias deberán incluir en su presupuesto los costos de las campañas educativas y de concientización a la comunidad para el uso racionalizado y eficiente del recurso hídrico.	
17. Los laboratorios de control de calidad deben estar separados de las áreas de producción. A su vez, las áreas donde se emplean métodos de prueba biológicos, microbiológicos o por radioisótopos, deben estar separadas entre sí.	
<b>Revisión</b>	Cada 2 años

Fuente: elaboración propia.

## H. Tratamiento del efluente de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar y/o reducir los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el efluente total de aguas residuales, y así cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 28 del Acuerdo Gubernativo 236-2006: *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*

### H.1. Tren de tratamiento

Como parte fundamental de un plan de gestión para el tratamiento y disposición de las aguas residuales, es necesario plantear un tren de tratamiento para que el efluente total de aguas residuales sea compatible con las disposiciones del *Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*

Continuación apéndice 1

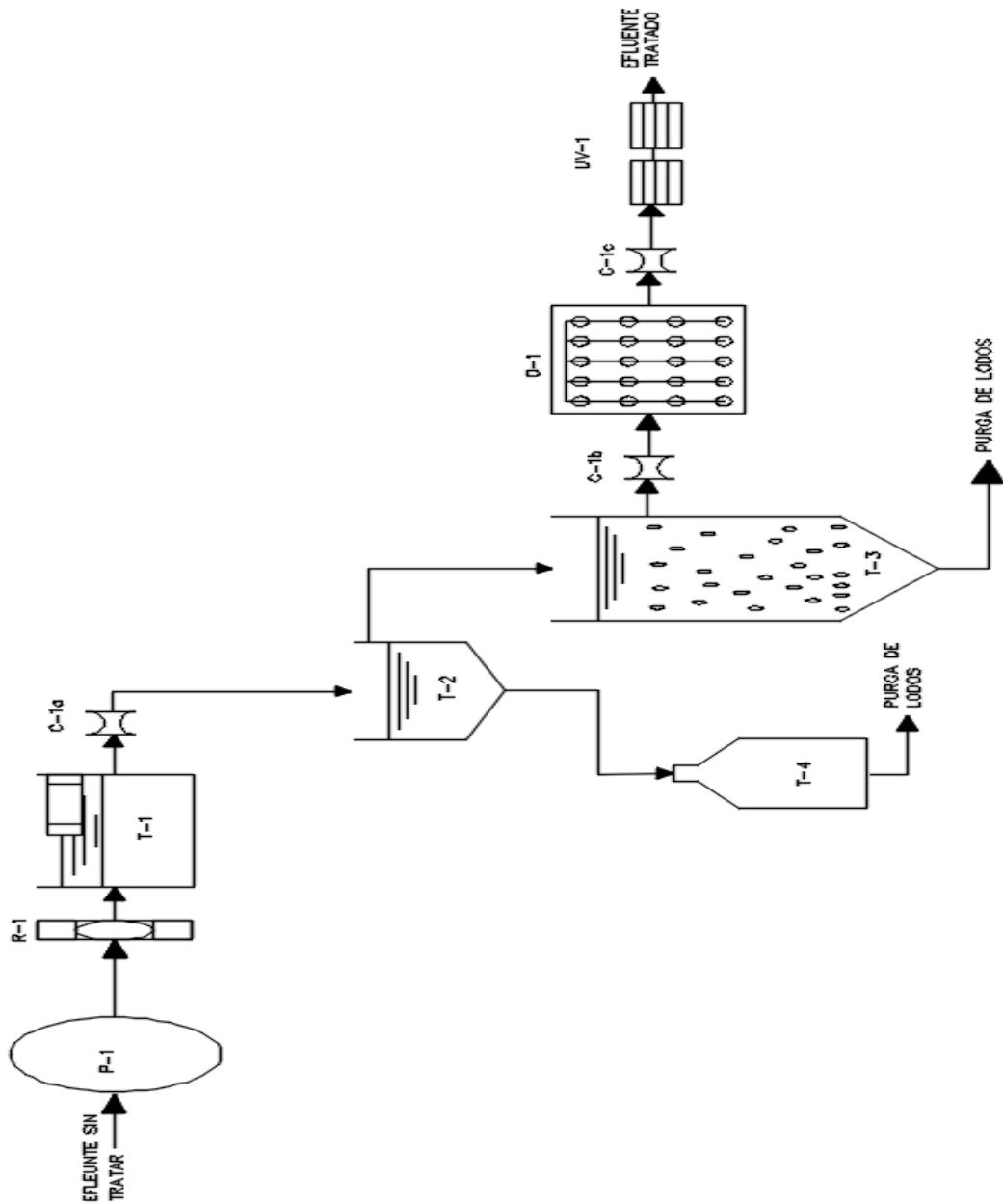
Apéndice 1h. **Tren de tratamiento del efluente total de aguas residuales  
propuesto**

<b>Pretratamiento</b>	Reja de desbaste
	Desarenador
<b>Tratamiento primario</b>	Sedimentador
<b>Tratamiento secundario</b>	Reactor de flujo discontinuo secuencial (SBR)
<b>Tratamiento terciario</b>	Ozono
	Radiación UV

Fuente: elaboración propia, con base en las tablas XIX y XX.

Continuación apéndice 1

Apéndice 2h. **Diagrama de flujo del tratamiento del efluente total de aguas residuales**



Fuente: elaboración propia, con base en la tabla XXI.

Continuación apéndice 1

Apéndice 3h. **Código de equipo empleado en el apéndice 2h**

<b>Código</b>	<b>Significado</b>
P-1	Punto de unificación de caudales
R-1	Reja de desbaste
T-1	Tanque desarenador
T-2	Tanque sedimentador
T-3	Reactor de flujo discontinuo secuencial (SBR)
T-4	Tanque recolector de lodos
O-1	Cámara de contacto con ozono
UV-1	Cámara de contacto con luz UV
C-1	Caudalímetro

Fuente: elaboración propia, con base en la figura 14.

### **H.1.1. Pretratamiento**

La etapa de pretratamiento se compone de una reja de desbaste y un tanque desarenador. En esta etapa el objetivo es eliminar los constituyentes del efluente total de aguas residuales cuya presencia pueda causar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares.

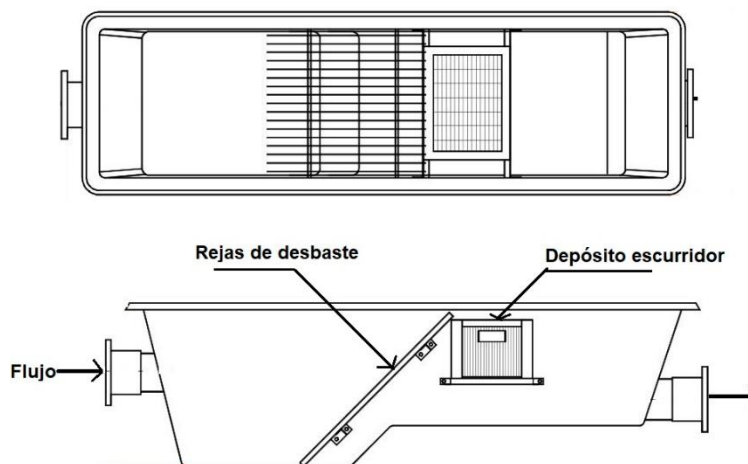
Continuación apéndice 1

#### H.1.1.1. Rejas de desbaste

La función que desempeñan las rejas se conoce con el nombre de desbaste, y el material separado en esta operación recibe el nombre de residuos de desbaste.

Generalmente, las rejas tienen aberturas (separación entre las barras) superiores a 15 mm. En los procesos de tratamiento del agua residual, las rejas se utilizan para proteger bombas, válvulas, conducciones y otros elementos contra los posibles daños y obturaciones provocados por la presencia de trapos y de objetos de gran tamaño.

#### Apéndice 4h. Rejas de desbaste



Fuente: *Direct Industry*. <http://www.directindustry.es/prod/toro-equipment/product-102939-1493543.html>. Consulta: 2017.

Continuación apéndice 1

#### **H.1.1.2. Desarenador**

Los desarenadores se instalan para: 1) Proteger los elementos mecánicos móviles de la abrasión y el excesivo desgaste; 2) Reducción de la formación de depósitos pesados en el interior de las tuberías, canales y conducciones, y 3) Reducción de la frecuencia de limpieza de los sedimentadores provocada por la excesiva acumulación de arenas.

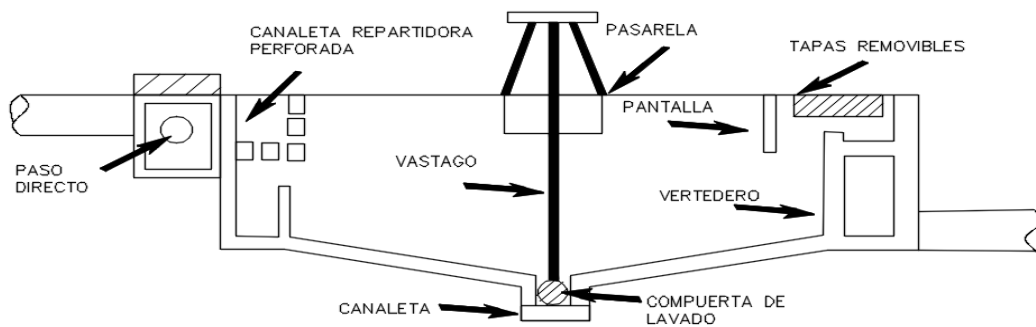
En el desarenador de flujo horizontal, el agua circula a través del elemento en dirección horizontal y la velocidad de circulación se controla por la propia geometría de la unidad, con compuertas de distribución especiales, y mediante la adopción de vertederos de secciones especiales a la salida del canal. Estas unidades se proyectan de modo que se mantenga una velocidad lo más cercana posible a 0,30 m/s, y que proporcione suficiente tiempo como para que sedimenten en el fondo del canal las partículas de arena. La velocidad de diseño indicada permite la circulación a través de la unidad de la mayor parte de la materia orgánica y la puesta en suspensión de todas aquellas partículas orgánicas que hayan sedimentado, pero permite la sedimentación de la arena pesada.

La longitud del canal vendrá dada por la profundidad que requiere la velocidad de sedimentación y la sección de control, y el área de la sección transversal vendrá impuesta por el caudal y el número de canales. Deberá preverse cierta longitud adicional para tener en cuenta la turbulencia que se produce a la entrada y a la salida del canal, para lo cual se recomienda un incremento mínimo del 50 por 100 de la longitud teórica prevista.

## Continuación apéndice 1

La extracción de las arenas de los desarenadores de flujo horizontal se suele llevar a cabo mediante un mecanismo transportador dotado de rasquetas o cangilones. La elevación de las arenas para su posterior lavado y eliminación se realiza mediante tornillos o elevadores de cangilones. En ocasiones, en plantas de pequeño tamaño, el lavado de las arenas se realiza manualmente.

### Apéndice 5h. Tanque desarenador



Fuente: Metcalf & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. p. 520.

### H.1.2. Tratamiento primario

La etapa del tratamiento primario se compone de un sedimentador, mediante el cual, según Metcalf & Eddy, “se busca eliminar una fracción de los sólidos suspendidos (50 %-70 %) y de la materia orgánica (25 %-40 %) del efluente total de aguas residuales”<sup>15</sup>. Esto mediante el principio de sedimentación de partículas discretas y de sedimentación por floculación.

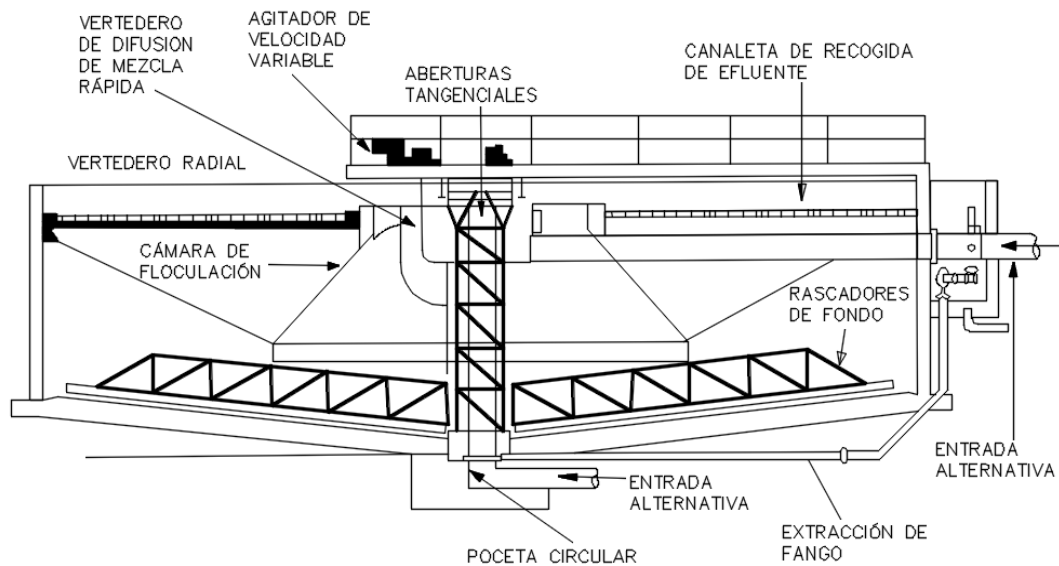
<sup>15</sup> METCALF & EDDY, Inc. *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. p. 539.



## Continuación apéndice 1

En ese orden, la sedimentación de partículas discretas se refiere a la eliminación de arenas del agua residual, y la sedimentación por floculación se refiere a la eliminación de una fracción de los sólidos en suspensión y materia orgánica a causa de la adición de un agente floculante. Además, se pretende eliminar la concentración de fósforo presente en el efluente total de aguas residuales, esto a través de la adición de una solución de cal o de cloruro férrico, para así precipitar los fosfatos, quedando sedimentados en los residuos o lodos de este tratamiento.

### Apéndice 6h. **Sedimentador-floculador típico empleado en el tratamiento del agua residual**



Fuente: Metcalf & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. p. 539.

Continuación apéndice 1

### **H.1.3. Tratamiento secundario**

La etapa del tratamiento secundario se compone de un reactor de flujo discontinuo secuencial (SBR), que básicamente es un sistema de tratamiento de fangos activados cuyo funcionamiento se basa en la secuencia de ciclos de llenado, reacción, sedimentación y evacuación; consecuentemente, requiere de poco espacio debido a que se necesita un solo tanque para realizar todo el proceso.

La circunstancia anterior facilita su implementación en la industria manufacturera farmacéutica en cuestión, ya que prevalece la limitación de espacio para instalar equipos de grandes dimensiones.

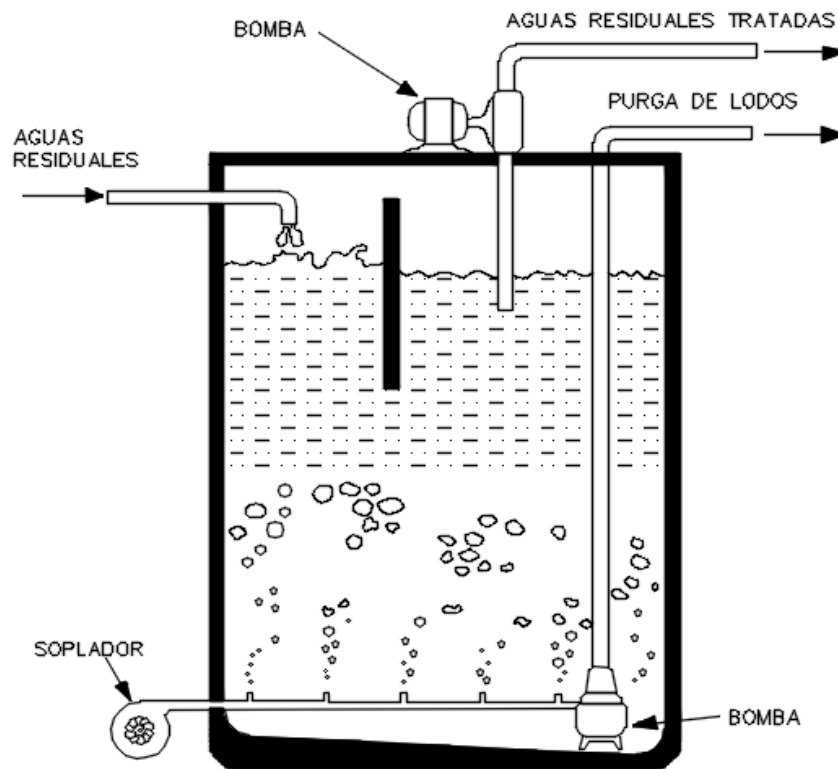
Además de que el reactor termina de remover los sólidos suspendidos remanentes mediante el proceso de sedimentación, Metcalf & Eddy afirman que “este equipo posee una eficiencia de eliminación de DBO de 85 %-95 % y de nitrógeno > 75 %”<sup>16</sup>, por lo tanto, es ideal para eliminar los valores del parámetro crítico identificado de la demanda bioquímica de oxígeno y reducir a niveles aceptables la concentración de nitrógeno en el efluente total de aguas residuales.

---

<sup>16</sup> METCALF & EDDY, Inc. *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. p. 624.

Continuación apéndice 1

#### Apéndice 7h. Reactor discontinuo de flujo secuencial



Fuente: *The water treatment plant*. <http://www.thewatertreatmentplant.com/gifs/mechanism1.gif>. Consulta: 2017.

#### H.1.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario se plantea como una etapa de desinfección para la eliminación del parámetro crítico de coliformes fecales del efluente total de aguas residuales; este proceso se realiza mediante la inyección de ozono y la radiación UV con los cuales se asegura una desinfección total.

Continuación apéndice 1

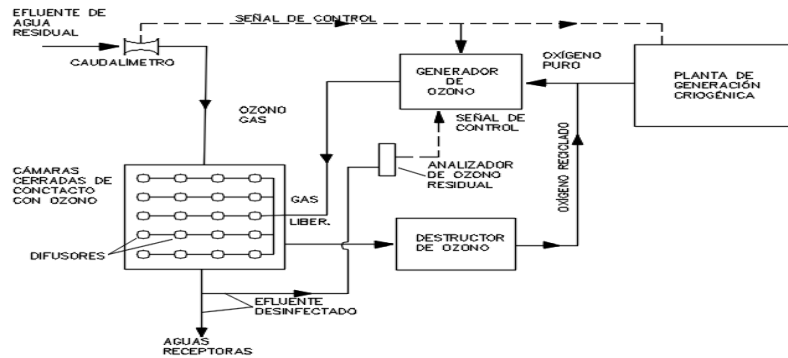
#### **H.1.4.1. Desinfección con ozono**

El ozono es un agente oxidante extremadamente reactivo y es altamente efectivo ante la destrucción de bacterias y virus; asimismo, se entiende que su efectividad es superior a la del cloro. La ozonización no produce sólidos disueltos ni se ve afectada por la presencia del ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) ni por el pH del agua que entra en el proceso de desinfección. Por estas razones se considera la ozonización como una alternativa viable a la cloración. Sumado a lo anterior, se prescinde del uso de cloro como agente desinfectante, debido a que su contacto con el nitrógeno remanente en el efluente total de aguas residuales produce compuestos altamente tóxicos y cancerígenos.

El ozono se difunde desde el fondo de un tanque en forma de finas burbujas que proporcionan un mezclado del agua residual, además de conseguir una transferencia y utilización del ozono máximas. Un sistema de difusores bien dimensionado deberá ser capaz de conseguir normalmente porcentajes de transferencia de ozono del orden del 90 por 100. Los gases liberados en la cámara de contacto se deben tratar para destruir el ozono residual, ya que se trata de un gas irritante. El producto generado en la destrucción del ozono es oxígeno puro, que puede ser reutilizado si se emplea el oxígeno puro como fuente para la generación de ozono.

Continuación apéndice 1

### Apéndice 8h. Diagrama de flujo del proceso de desinfección con ozono

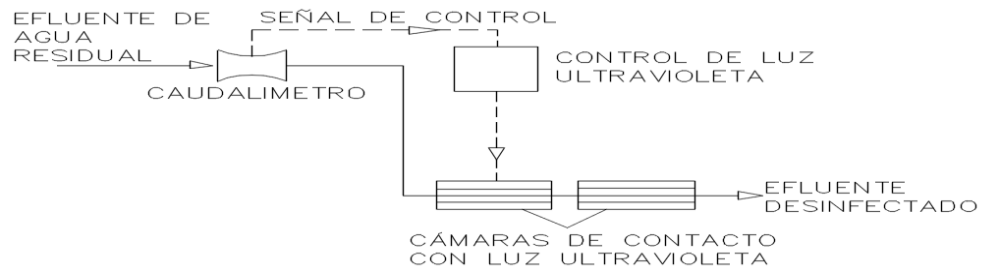


Fuente: Metcalf & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización.* p. 579.

### H.1.4.2. Desinfección con radiación UV

Se justifica el uso de la radiación UV debido a que en este sistema de desinfección no se emplea ningún agente químico, catalogándolo como el sistema de desinfección más seguro.

### Apéndice 9h. Diagrama de flujo del proceso de desinfección por radiación UV



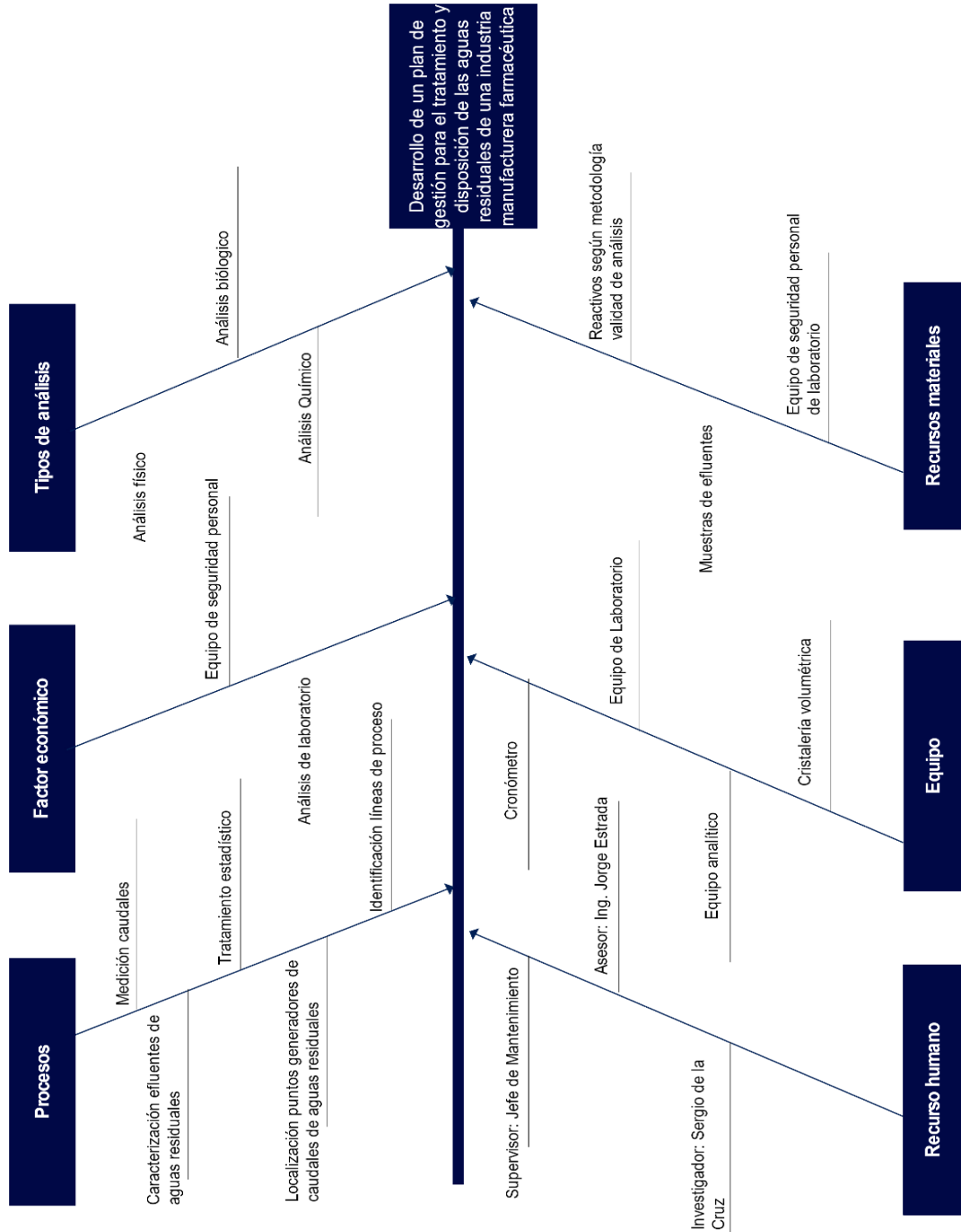
Fuente: Metcalf & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización.* p. 589.

Apéndice 2. **Tabla de requisitos académicos**

Carrera	Campo de conocimiento	Área	Curso	Tema específico
Ingeniería Química	Ingeniería y tecnología	Química	Química 3	Metrología
			Química 4	Estado líquido
			Análisis Cualitativo	Química del agua residual
			Análisis Cuantitativo	Métodos volumétricos o fisicoquímicos para el análisis del agua residual
			Química Ambiental	Legislaciones ambientales en Guatemala
			Control de Contaminantes industriales	Tratamiento de aguas residuales
		Fisicoquímica	Calidad del Agua	Contaminantes del agua
		Operaciones Unitarias	Flujo de Fluidos (IQ-2)	Transferencia de momento
		Especialización	Microbiología	Microbiología del agua
			Procesos Químicos Industriales	Tratamiento del Agua
		Ciencias básicas y Complementarias	Estadística 1	Estadística descriptiva

Fuente: elaboración propia a partir del *pensum* de estudios vigente de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

### Apéndice 3. Diagrama de Ishikawa y/o árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

#### Apéndice 4. Presupuesto

Inversión	Cantidad	Precio por unidad (Q)	Precio total(Q)
<b>Recolección de datos</b>			
Gafas protectoras	1	35,00	35,00
Guantes de látex	100	1,00	100,00
Guantes de neopreno	1	40,00	40,00
Cubeta	1	30,00	30,00
Cronómetro digital	1	100,00	100,00
Casco protector	1	60,00	60,00
<b>Análisis de laboratorio</b>			
Caracterización del efluente de aguas residuales <sup>17</sup>	3	7 800,00	23 400,00
<b>Informe</b>			
Impresiones	6	Q 40,00	240,00
CD	2	Q 4,00	8,00
Encuadernado	6	Q 30,00	180,00
<b>Honorarios por servicio profesional</b>			
Investigador	-	-	Q 10 000,00
Asesor	-	-	Q3 000,00
Total			Q 37 193,00

Fuente: elaboración propia.

<sup>17</sup> Acuerdo Gubernativo 236-2006. Artículo 16.



## **ANEXOS**

- Anexo 1. **Acuerdo Gubernativo No. 236-2006: Reglamento de las descargas y de reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos**

**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 AFLUENTE 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:

<b>Etap</b> a	<b>Uno</b>				
<b>Fecha máxima de cumplimiento</b>	Dos de mayo de dos mil once				
<b>Duración, años</b>	5				
<b>Carga, kilogramos por día</b>	3000≤EG<6000	6000≤EG<12000	12000≤EG<25000	25000≤EG<50000	50000≤EG<250000
<b>Reducción porcentual</b>	10	20	30	35	50
<b>Etap</b> a	<b>Dos</b>				
<b>Duración, años</b>	4				
<b>Fecha máxima de cumplimiento</b>	Dos de mayo de dos mil quince				
<b>Carga, kilogramos por día</b>	3000≤EG<5500	5500≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<50000	50000≤EG<125000
<b>Reducción porcentual</b>	10	20	40	45	50
<b>Etap</b> a	<b>Tres</b>				
<b>Fecha máxima de cumplimiento</b>	Dos de mayo de dos mil veinte				
<b>Duración, años</b>	5				

Carga, kilogramos por día	$3000 \leq EG < 5000$	$5000 \leq EG < 10000$	$10000 \leq EG < 30000$	$30000 \leq EG < 65000$
Reducción porcentual	50	70	85	90
Etapa	<b>Cuatro</b>			
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veinticuatro			
Duración, años	4			
Carga, kilogramos por día	$3000 < EG < 4000$		$4000 \leq EG < 7000$	
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	1 500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3 500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1 400	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	< 1x10 <sup>8</sup>	< 1x10 <sup>6</sup>	< 1x10 <sup>5</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>
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	1 500	1 300	1 000	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:

<b>Parámetros</b>	<b>Dimensionales</b>	<b>Límites máximos permisibles</b>
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	$< 1 \times 10^4$
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:

			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			
Parámetro	Dimensional	Valor inicial	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:

			<b>Fecha máxima de cumplimiento</b>			
			<b>Dos de mayo de dos mil quince</b>	<b>Dos de mayo de mil veinte</b>	<b>Dos de mayo de dos mil veinticuatro</b>	<b>Dos de mayo de dos mil veintinueve</b>
			<b>Etapa</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Dimensionales</b>	<b>Valores iniciales</b>	<b>Uno</b>	<b>Dos</b>	<b>Tres</b>	<b>Cuatro</b>
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	1 500	1 000	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:

<b>Etapas</b>	<b>Uno</b>				
<b>Fecha máxima de cumplimiento</b>	Dos de mayo de dos mil once				
<b>Duración, años</b>	5				
<b>Carga, kilogramos por día</b>	3000≤EG<6000	6000≤EG<12000 0	12000≤EG<25000	25000≤EG<50000	50000≤EG<250000 0
<b>Reducción porcentual</b>	10	20	30	35	50
<b>Etapas</b>	<b>Dos</b>				
<b>Duración, años</b>	4				
<b>Fecha máxima de cumplimiento</b>	Dos de mayo de dos mil quince				
<b>Carga, kilogramos por día</b>	3000≤EG<5500	5500≤EG<10000	10000≤EG<30000 0	30000≤EG<50000 0	50000≤EG<125000

Reducción porcentual	10	20	40	45	50
<b>Etapa</b>	<b>Tres</b>				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veinte				
Duración, años	5				
Carga, kilogramos por día	$3000 \leq EG < 5000$	$5000 \leq EG < 10000$	$10000 \leq EG < 30000$	$30000 \leq EG < 65000$	
Reducción porcentual	50	70	85	90	
<b>Etapa</b>	<b>Cuatro</b>				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veinticuatro				
Duración, años	4				
Carga, kilogramos por día	$3000 < EG < 4000$		$4000 \leq EG < 7000$		
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 OXÍGENO.** 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	3 500	1 500	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:

			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	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1 500	200	100	60	60
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3 500	1 500	700	400	200
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1 400	180	150	80	40
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	40	20	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 <sup>8</sup>	< 1x10 <sup>6</sup>	< 1x10 <sup>5</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>
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	1 500	1 300	1 000	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	$< 1 \times 10^4$
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:

<b>Tipo de reuso</b>	<b>Demanda bioquímica de oxígeno, miligramos por litro</b>	<b>Coliformes fecales, número más probable por cien mililitros</b>
Tipo I	No aplica	No aplica
Tipo II	No aplica	$< 2 \times 10^2$

Tipo III	200	No aplica
Tipo IV	No aplica	< 1x10 <sup>3</sup>
Tipo V	200	< 1x10 <sup>3</sup>

**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 aquéllos 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:

<b>Disposición Final</b>	<b>Dimensionales</b>	<b>Aplicación al suelo</b>	<b>Disposición en rellenos sanitarios</b>	<b>Confinamiento o aislamiento</b>
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	1 500	3 000	> 3 000
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	1 000	> 1 000

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:

<b>Peso promedio de lodos producidos</b>	<b>Periodicidad</b>
Entre 0 y 1 500 kilogramos diarios	Trimestral
Entre 1 501 y 3 000 kilogramos diarios	Bimensual
Más de 3 000 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:

<b>Número de muestras simples para conformar una muestra compuesta e intervalos por muestreo</b>		
<b>Horas por día que opera la actividad que genera la descarga de aguas residuales</b>	<b>Número mínimo de muestras simples para conformar una muestra compuesta</b>	<b>Intervalo mínimo en horas entre toma de muestras simples</b>
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. EPIGRAFES.** 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:

Toma de muestras de aguas residuales, aguas para reuso y lodos.

- a) Cálculo de cargas.
- b) Aplicación del modelo de reducción progresiva de cargas.
- c) 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**

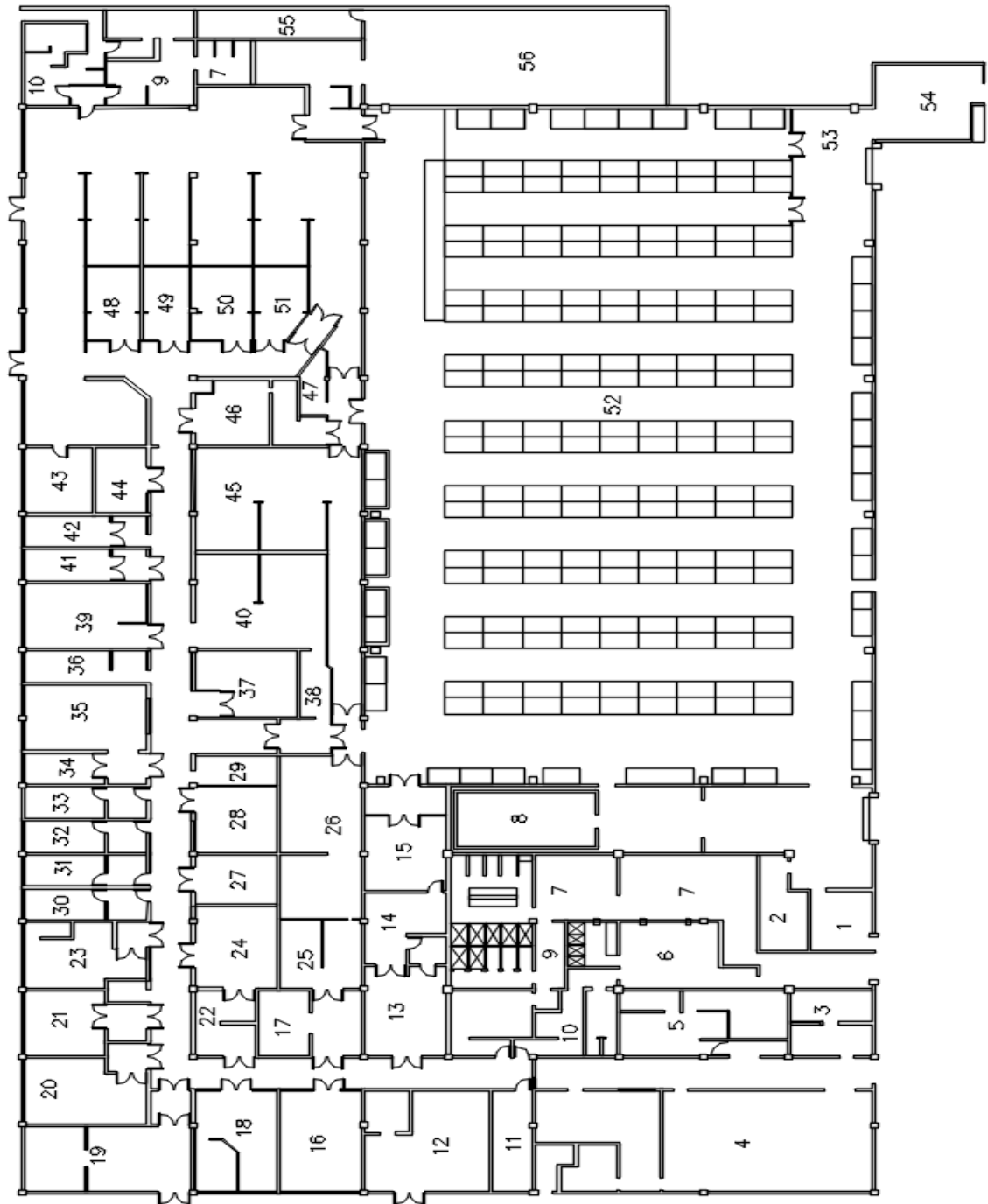
**JUAN MARIO DARY FUENTES**

**JORGE RAÚL ARROYAVE REYES**

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala.



Anexo 2. **Planta de producción y áreas operativas de una industria manufacturera farmacéutica**



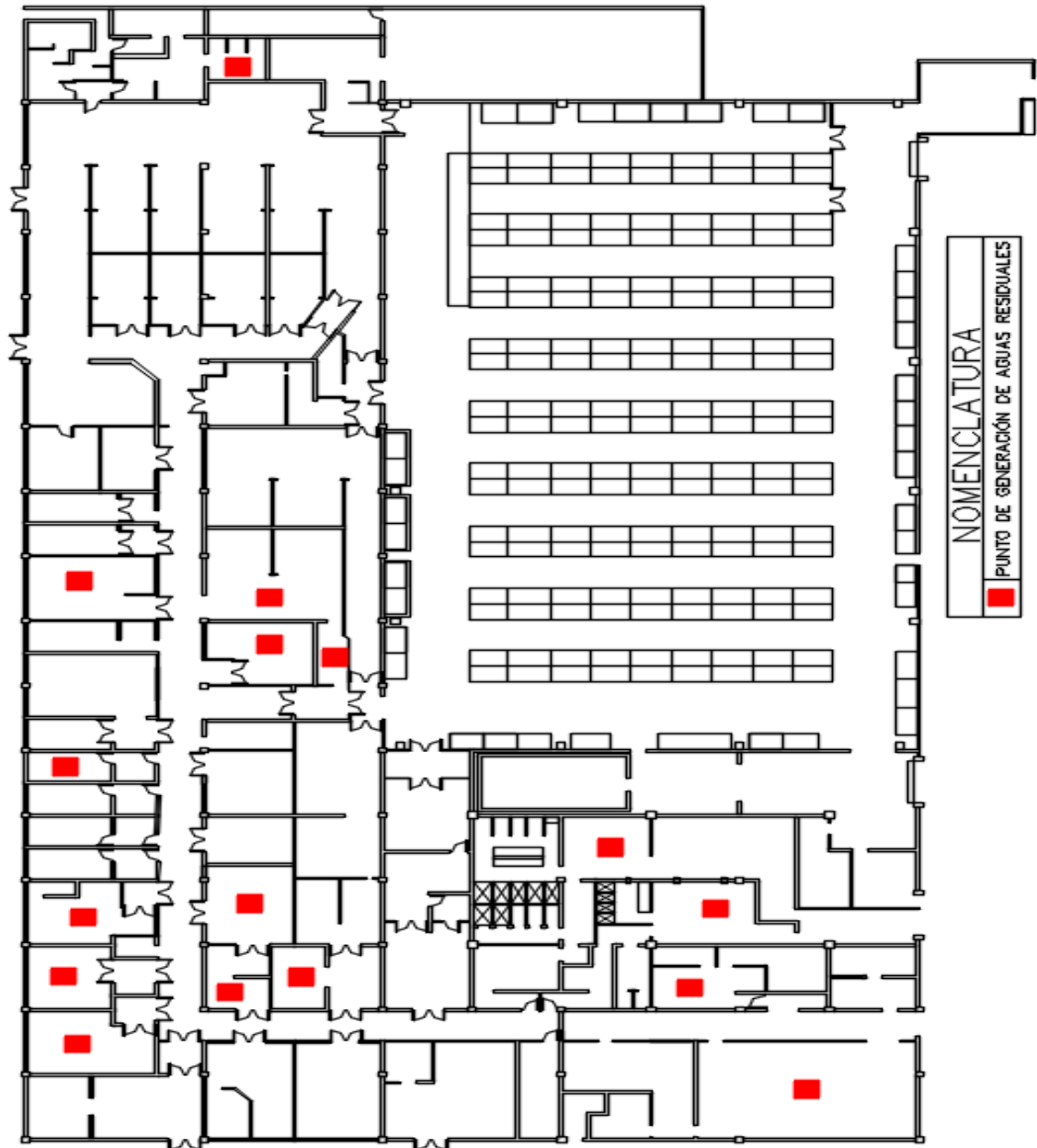
Fuente: área de mantenimiento de la industria manufacturera farmacéutica.

### Anexo 3. Distribución de las áreas

DISTRIBUCIÓN DE ÁREAS DE TRABAJO	
1	OFICINA BODEGA
2	BANO BODEGA
3	BODEGA
4	LABORATORIO AREA FISICOQUIMICO
5	AREA MICROBIOLOGIA
6	BANO HOMBRES
7	BANO MUJERES
8	CUARTO FRIO
9	VESTIDOR DE MUJERES
10	VESTIDOR DE HOMBRES
11	CUARTO DE PUNZONES
12	CUARTO DE MAQUINA
13	MATERIALES PESADOS
14	PESADO DE MATERIALES
15	MATERIALES POR PESAR
16	BODEGA DE EQUIPO
17	PREPARACIÓN DE CREMAS Y UNGUENTOS
18	OFICINA DE PRODUCCIÓN
19	GERENCIA DE PLANTA
20	GRANULACIÓN SECA
21	MEZCLADO
22	MATERIALES DE LIMPIEZA
23	GRANULACIÓN HÚMEDA 1
24	ÁREA DE LAVADO
25	LÍQUIDOS
26	ACONDICIONAMIENTOS DIVERSOS
27	ÁREA DE GRANELES
28	LLENADO DE AMPOLLAS
29	LLENADO DE CREMAS
30	TABLETAS 1
31	TABLETAS 2
32	CÁPSULAS 2
33	GRANULACIÓN HÚMEDA 2
34	RECUBRIMIENTO
35	GRAGEADO
36	CÁPSULAS 1
37	FABRICACIÓN DE LÍQUIDOS 1
38	LAVADO DE FRASCOS
39	FABRICACIÓN DE LÍQUIDOS 2
40	LLENADO DE LÍQUIDOS 1 Y 2
41	TABLETAS 3
42	TABLETAS 4
43	ETIQUETADO DE AMPOLLAS
44	CUARTO DE ENCELOFANADO
45	ACONDICIONAMIENTO DE LÍQUIDOS
46	BLISTER UPS 200
47	IMPRESORA DE FOIL
48	BLISTER HONG-A
49	BLISTER UHLMANN 563
50	BLISTER UHLMANN 300
51	BLISTER NDACK 760
52	ÁREA DE BODEGA
53	ÁREA DE CARGA Y DESCARGA
54	ÁREA DE CARGA MONTACARGA
55	ÁREA DE CODIFICACIÓN
56	BODEGA DE MATERIALES Y PRODUCTOS EN PROCESO

Fuente: área de mantenimiento de la industria manufacturera farmacéutica.

Anexo 4. **Localización de los puntos de generación de caudales de aguas residuales**



Fuente: área de mantenimiento de la industria manufacturera farmacéutica.

## Anexo 5. Informe de resultados de análisis físico, químico y biológico del efluente total de aguas residuales de una industria manufacturera farmacéutica



9ª. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala  
 E-mail: [informacion@ecoquimsa.com.gt](mailto:informacion@ecoquimsa.com.gt)  
 Página Web: [ecoquimsa.com](http://ecoquimsa.com)  
 PBX: (502) 2322 3600

### INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

#### Datos de la muestra

Referencia cliente:	Agua residual	Muestra simple o compuesta:	Compuesta
Fecha de monitoreo:	29 de enero de 2016	Responsable del muestreo:	CLIENTE
Hora de monitoreo:	07:00 a 16:00	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Tipo de muestra:	Agua residual especial	Recipiente utilizado:	Plástico, vidrio y bolsa estéril
		Método de preservación:	INS04-MUE

#### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio:	29 de enero de 2016
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio:	16:18
Fecha de informe:	17 de febrero de 2016

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados
Color	u Pt-Co	1	533
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L - O <sub>2</sub>	10	340
Demanda Química de Oxígeno	mg/L - O <sub>2</sub>	5	615
Relación DQO/DBO	---	---	1.8
Fósforo Total	mg/L - P	0.075	6.20
Grasas y Aceites	mg/L	5	17
Materia Flotante	---	Presente/Ausente	Presente
Nitrógeno Total	mg/L - N	0.50	15.00
pH (in-situ)	---	0.01	6.40
Sólidos Sedimentables	mL/L	0.1	< 0.1
Sólidos Suspendedos	mg/L	10	84
Temperatura (in-situ)	°C	0.1	23.5
Coliformes fecales	NMP/100mL	1.8	2,400,000

(1) mg/L = ppm; u Pt-Co = Unidades platino cobalto; NMP/100 mL = número más probable por 100 mililitros.  
 Nota: Datos in-situ proporcionados por el cliente.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.  
 Metodología utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.

Inga, Bárbara Pinto Classon  
 Ingeniera Química  
 Colegiado No. 1714

1/1

Fuente: Laboratorio Ecológico y Químico Ecoquimsa.

Anexo 6. **Informe de resultados de análisis físico, químico y biológico del efluente total de aguas residuales de una industria manufacturera farmacéutica**



9ª. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala  
 E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt  
 Página Web: ecoquimsa.com  
 PBX: [502] 2322 3600

**INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS**

**Datos de la muestra**

Referencia cliente:	Salida de PTAR	Muestra simple o compuesta:	Compuesta
Fecha de monitoreo:	08 de julio de 2016	Responsable del muestreo:	CLIENTE
Hora de monitoreo:	07:00 a 16:00	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Tipo de muestra:	Agua residual especial	Recipiente utilizado:	Plástico, vidrio y bolsa estéril
		Método de preservación:	INS04-MUE

**Datos de Laboratorio**

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio:	08 de julio de 2016
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio:	16:45
Fecha de informe:	21 de julio de 2016

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados
Color	u Pt-Co	1	489
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L - O <sub>2</sub>	10	323
Demanda Química de Oxígeno	mg/L - O <sub>2</sub>	5	517
Relación DQO/DBO	---	---	1.6
Fósforo Total	mg/L - P	0.070	5.36
Grasas y Aceites	mg/L	5	19
Materia Flotante	---	Presente/Ausente	Ausente
Nitrógeno Total	mg/L - N	0.45	26.90
pH promedio (in-situ)	---	0.01	6.26
Sólidos Sedimentables	mL/L	0.1	0.1
Sólidos Suspendedos	mg/L	10	66
Temperatura (in-situ)	°C	0.1	26.2
Coliformes fecales	NMP/100mL	1.8	1,300,000

(1) mg/L = ppm; u Pt-Co = Unidades platino cobalto; NMP/100 mL = número más probable por 100 mililitros.  
 Nota: Datos in-situ proporcionados por el cliente.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.  
 Metodología utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.

Laboratorio ECOQUIMSA  
 LABORATORIO ECOLÓGICO Y QUÍMICO FARMACÉUTICO  
 COLEGIADO N.º 2355

## Anexo 7. Informe de resultados de análisis físico, químico y biológico del efluente total de aguas residuales de una industria manufacturera farmacéutica



9ª. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala  
 E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt  
 Página Web: ecoquimsa.com  
 PBX: [502] 2322 3600

### INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

#### Datos de la muestra

Referencia cliente:	Fosa séptica frente a garita lado dentro	Muestra simple o compuesta:	Compuesta
Fecha de monitoreo:	23 al 24 de marzo de 2017	Responsable del muestreo:	FRANCISCO CARIÁS
Hora de monitoreo:	07:45 a 08:30	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Tipo de muestra:	Agua residual especial	Recipiente utilizado:	Plástico, vidrio y bolsa estéril
		Método de muestreo:	PRO19-MUE
		Método de preservación:	INS04-MUE

#### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 24 de marzo de 2017  
 Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 14:45  
 Fecha de informe: 03 de abril de 2017

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados
Cianuro	mg/L - CN <sup>-</sup>	0.010	< 0.010
Color	u Pt-Co	1	112
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L - O <sub>2</sub>	10	174
Demanda Química de Oxígeno <sup>(2)</sup>	mg/L - O <sub>2</sub>	10	279
Relación DQO/DBO	---	---	1.6
Fósforo Total	mg/L - P	0.060	4.95
Grasas y Aceites	mg/L	5	17
Materia Flotante	---	Presente/Ausente	Ausente
Nitrógeno Total	mg/L - N	0.50	47.00
pH (in-situ)	---	0.01	6.82
Sólidos Sedimentables	mL/L	0.1	< 0.1
Sólidos Suspendedos	mg/L	10	64
Temperatura promedio (in-situ)	°C	0.1	22.5
Coliformes fecales	NMP/100mL	1.8	2,400,000

(1) mg/L = ppm; u Pt-Co = Unidades platino cobalto; NMP/100 mL = número más probable por 100 mililitros.

(2) El análisis de DQO (Método: Ogasator NGO 29 014 H8) es acreditado COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2005 según OGA-LE-051-13

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.  
 Metodología utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.

  
 Laboratorio ECOQUIMSA  
 Lic. Edgar del Pozo  
 Químico  
 Colegiado No. 4943