



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

**PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN, CONTROL Y REDUCCIÓN  
DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA DE  
FABRICACIÓN DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS**

**Estefany Mishel Morales García**

Asesorada por la Inga. Claudia Calderón Aguilar

Guatemala, enero de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN, CONTROL Y REDUCCIÓN  
DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA DE  
FABRICACIÓN DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ESTEFANY MISHEL MORALES GARCÍA**  
ASESORADA POR LA INGA. CLAUDIA CALDERÓN AGUILAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, ENERO DE 2017

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	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Sergio Alejandro Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADORA	Inga. Adela María Marroquín González
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN, CONTROL Y REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha de 30 de abril de 2015.

**Estefany Mishel Morales García**

Villa Nueva, 16 de agosto de 2016

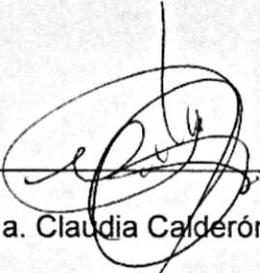
Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
Director de Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable Ing. Wong.

De manera muy atenta me dirijo a usted para informarle que ha sido aprobado el informe final del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) de la estudiante **Estefany Mishel Morales García** quien se identifica con carné universitario 201020703 de la Facultad de Ingeniería de la carrera Ingeniería Química, que tiene como título **“Propuesta para la evaluación, control y reducción de contaminantes en aguas residuales de una planta de fabricación de productos farmacéuticos”**.

Sin otro particular por el momento reciba un cordial saludo.

Atentamente,



Inga. Claudia Calderón Aguilar

Gerente de Manufactura

*Claudia Leonela Calderón Aguilar*  
INGENIERA QUIMICA  
COLEGIADO 1,811

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 05 de septiembre de 2016.  
Ref.EPS.DOC.609.09.16.

Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Usac.

Inga. Classon de Pinto:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria Estefany Mishel Morales García de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. 201020703, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN, CONTROL Y REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS"**.

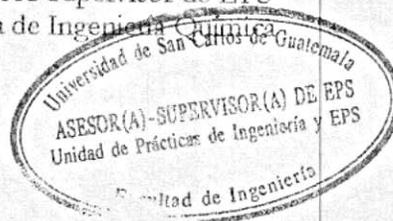
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Sergio Alejandro Recinos  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Química



c.c. Archivo  
SAR/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 05 de septiembre de 2016.  
Ref.EPS.D.359.09.16.

Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Wong Davi.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN, CONTROL Y REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria Estefany Mishel Morales García, quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ingeniero Sergio Alejandro Recinos.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto  
Directora Unidad de EPS



CdRCdP/ra



Guatemala, 18 de noviembre de 2016.  
Ref. EIQ.TG-IF.065.2016.

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 EIQ-PRO-REG-007 correlativo **068-2015** 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 Ejercicio Profesional Supervisado-**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Estefany Mishel Morales García**.  
Identificada con número de carné: **2010-20703**.  
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

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:

**PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN, CONTROL Y REDUCCIÓN DE  
CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA DE  
FABRICACIÓN DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniera Química: **Claudia Leonela Calderón Aguilar**.

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"

Ing. Jorge Mario Estrada Asturias  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.002.2017

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 Ejercicio Profesional Supervisado (**EPS final**) de la **carrera de Ingeniería Química** de la estudiante **ESTEFANY MISHEL MORALES GARCÍA** titulado: **"PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN, CONTROL Y REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS"** 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, enero de 2017

Cc: Archivo  
CSWD/ale



Universidad de San Carlos  
De Guatemala

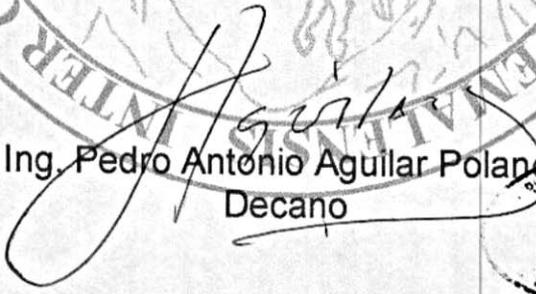


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.062-2017

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: **PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN, CONTROL Y REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS**, presentado por la estudiante universitaria: **Estefany Mishel Morales García**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, enero de 2017  
/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por protegerme durante todo mi camino y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.
- Verónica García** Mi madre, por apoyar y motivar mi formación académica, por creer en mí, le dedico todo mi esfuerzo y trabajo.
- Pablo Morales** Mi padre, por ser un apoyo en mi carrera, y porque aun estando lejos, lo llevo siempre en mi mente y en mi corazón.
- Freddy Morales** Por apoyarme siempre en mi carrera, tanto emocional como económicamente, le dedico este logro con todo mi corazón, más que mi hermano es mi mejor amigo.
- Mis hermanos** Anthony, Jonathan y Keven, porque fueron mi motivación para seguir adelante y cumplir esta meta.
- Benjamín López** Mi tío, por ser una importante influencia en mi decisión por iniciar esta carrera profesional.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por haberme dado la oportunidad de estudiar una carrera universitaria.
<b>Mis compañeros</b>	Andrea, Jacky, Joana, Lourdes, Jim y Fernando, por todo su apoyo y por compartir tantos momentos agradables.
<b>Gerencia Pharmalat</b>	Por haberme dado la oportunidad de realizar el presente trabajo en su empresa y apoyarme económicamente.
<b>Mi asesora</b>	Claudia Calderón, por brindarme su ayuda en la realización de este trabajo y compartir sus conocimientos desinteresadamente.
<b>Mi revisor</b>	Jorge Mario Estrada, por su ayuda en la realización del presente trabajo y por el tiempo dedicado en la revisión del mismo.
<b>Angélica García</b>	Por alentarme a culminar mi carrera y por estar siempre al pendiente de mis avances académicos.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
Hipótesis .....	XVIII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1.    ANTECEDENTES GENERALES .....	1
2.    MARCO TEÓRICO.....	3
2.1.    Aguas residuales .....	3
2.1.1.    Aguas residuales domésticas .....	4
2.1.2.    Aguas residuales industriales .....	4
2.1.3.    Aguas residuales urbanas .....	5
2.1.4.    Aguas residuales agrícolas.....	5
2.2.    Características importantes de las aguas residuales .....	5
2.2.1.    Características físicas.....	6
2.2.1.1.    Temperatura .....	6
2.2.1.2.    Sólidos.....	6
2.2.1.3.    Material flotante .....	7
2.2.1.4.    Color .....	8
2.2.2.    Características químicas .....	8
2.2.2.1.    Compuestos inorgánicos .....	8
2.2.2.2.    Compuestos orgánicos .....	11

	2.2.2.3.	Potencial de hidrógeno.....	12
	2.2.2.4.	Grasas y aceites.....	13
	2.2.3.	Características biológicas.....	13
2.3.		Muestreo de aguas residuales .....	14
	2.3.1.	Muestra .....	14
	2.3.2.	Medición de caudal .....	15
	2.3.3.	Tipos de métodos de recolección.....	15
	2.3.3.1.	Muestreo manual.....	16
	2.3.3.2.	Muestreo automático.....	17
2.4.		Tratamiento de aguas residuales .....	18
	2.4.1.	Tratamientos preliminares .....	18
	2.4.1.1.	Cribado.....	19
	2.4.1.2.	Desbaste .....	20
	2.4.1.3.	Tamizado.....	20
	2.4.1.4.	Desarenado.....	20
	2.4.1.5.	Desaceitado-desengrasado.....	21
	2.4.2.	Tratamiento primario .....	21
	2.4.2.1.	Sedimentación.....	21
	2.4.2.2.	Flotación.....	22
	2.4.2.3.	Coagulación-floculación .....	23
	2.4.3.	Tratamiento secundario.....	25
	2.4.3.1.	Tratamiento anaerobio .....	27
	2.4.3.2.	Tratamiento aerobio .....	30
	2.4.3.2.1.	Lodos activados .....	30
	2.4.3.2.2.	Filtros percoladores.....	31
	2.4.3.2.3.	Discos biológicos .....	31
	2.4.3.2.4.	Reactor SBR .....	32
	2.4.3.3.	Comparación del tratamiento aerobio y anaerobio.....	35

2.4.4.	Tratamiento terciario o avanzado .....	36
2.4.4.1.	Ósmosis inversa .....	37
2.4.4.2.	Destilación .....	37
2.4.4.3.	Electrodialisis.....	37
2.4.4.4.	Adsorción.....	38
2.4.4.5.	Cloración.....	39
2.5.	Estudio técnico .....	40
3.	METODOLOGÍA.....	43
3.1.	Variables.....	43
3.2.	Delimitación de campo de estudio.....	45
3.2.1.	Obtención de las muestras de análisis .....	45
3.2.2.	Análisis instrumental.....	45
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	45
3.4.	Recursos materiales disponibles .....	45
3.5.	Técnica cualitativa y cuantitativa .....	46
3.5.1.	Cualitativa.....	46
3.5.2.	Cuantitativa.....	47
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información .....	48
3.6.1.	Técnica de recolección de la información.....	48
3.7.	Análisis estadístico .....	48
4.	RESULTADOS.....	53
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	69
6.	LOGROS OBTENIDOS .....	77
	CONCLUSIONES .....	79

RECOMENDACIONES .....81  
BIBLIOGRAFÍA.....83  
APÉNDICES.....87  
ANEXOS.....96

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Dimensiones de los sólidos suspendidos, coloidales y disueltos .....	7
2.	Resumen de parámetros por muestrear en aguas residuales.....	17
3.	Tamaño de la abertura de los cribadores gruesos y finos.....	19
4.	Productos finales de la digestión aerobia y anaerobia .....	26
5.	Esquema del proceso del SBR .....	33
6.	Ejemplos de SBR .....	35
7.	Monitoreo de caudal en el efluente de aguas residuales .....	56
8.	Monitoreo de temperatura en el efluente de aguas residuales.....	56
9.	Monitoreo de potencial de hidrógeno en el efluente de aguas residuales.....	57
10.	Monitoreo de demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) en el efluente de aguas residuales .....	57
11.	Monitoreo de demanda química de oxígeno (DQO) en el efluente de aguas residuales .....	58
12.	Monitoreo de sólidos suspendidos en el efluente de aguas residuales.....	58
13.	Monitoreo de grasas y aceites en el efluente de aguas residuales .....	59
14.	Monitoreo de color en el efluente de aguas residuales .....	59
15.	Monitoreo de nitrógeno total en el efluente de aguas residuales .....	60
16.	Monitoreo de fósforo en el efluente de aguas residuales .....	60
17.	Monitoreo de coliformes fecales en el efluente de aguas residuales ...	61
18.	Comparación de los parámetros críticos entre los diferentes muestreos realizados .....	64

19.	Propuesta de tratamiento de aguas residuales tipo especial de la planta .....	67
-----	---	----

## TABLAS

I.	Comparación entre el tratamiento aerobio y anaerobio .....	36
II.	Límites máximos de descargas de aguas residuales.....	42
III.	Variable de caudal del efluente de aguas residuales.....	44
IV.	Variables de parámetros microbiológicos por muestrear .....	44
V.	Variables de parámetros fisicoquímicos por muestrear .....	44
VI.	Equipos y materiales para la medición de caudal .....	46
VII.	Materiales y equipo para el muestreo .....	46
VIII.	Metodologías de análisis cualitativos y cuantitativos .....	47
IX.	Media aritmética de los parámetros de caracterización .....	49
X.	Varianza de los parámetros de caracterización .....	49
XI.	Desviación estándar de los parámetros de caracterización .....	50
XII.	Coeficiente de variación de los parámetros de caracterización .....	50
XIII.	Análisis estadístico de la relación DBO <sub>5</sub> /DQO .....	51
XIV.	Caracterización de efluente de aguas residuales tipo especial .....	53
XV.	Promedio de los parámetros muestreados de aguas residuales tipo especial.....	53
XVI.	Resultados de metales pesados en efluente de aguas residuales .....	54
XVII.	Caudal del efluente de aguas residuales tipo especial .....	54
XVIII.	Caudal mínimo, máximo y promedio del afluente de aguas residuales .....	54
XIX.	Cargas de DBO <sub>5</sub> y de DQO .....	55
XX.	Relación DBO <sub>5</sub> /DQO .....	55
XXI.	Cumplimiento del muestreo 1 con el Acuerdo Gubernativo 236-2006.....	61

XXII.	Cumplimiento del muestreo 2 con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 .....	62
XXIII.	Cumplimiento del muestreo 3 con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 .....	62
XXIV.	Cumplimiento del muestreo 4 con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 .....	63
XXV.	Cumplimiento del muestreo 5 con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 .....	63
XXVI.	I.Cumplimiento de metales pesados con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 .....	64
XXVII.	Parámetros críticos en cada muestreo realizado .....	65
XXVIII.	Valor mínimo, máximo y promedio de parámetros críticos.....	65
XXIX.	Áreas en las que se realizó limpieza los días de los muestreos .....	66
XXX.	Código de colores de las tablas .....	66
XXXI.	Nombre, simbología y codificación del sistema propuesto .....	68



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<b>C</b>	Carga
<b>C<sub>DBO</sub></b>	Carga demanda bioquímica de oxígeno
<b>Q</b>	Caudal
<b>Co</b>	Cobalto
<b>CV</b>	Coefficiente de variación
<b>S</b>	Desviación estándar
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>h</b>	Horas
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>L</b>	Litro
$\bar{x}$	Media aritmética
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>mg</b>	Miligramo
<b>mL</b>	Mililitro
<b>N</b>	Número de datos
<b>Pt</b>	Platino
<b>R<sub>DBO/DQO</sub></b>	Relación demanda bioquímica de oxígeno/demanda química de oxígeno
<b>s</b>	Segundos
$\sum x_i$	Sumatoria
<b>x<sub>i</sub></b>	Valor
<b><math>\sigma^2</math></b>	Varianza



## GLOSARIO

<b>Afluente</b>	El agua captada por un ente generador.
<b>Aguas residuales</b>	Las aguas que han recibido un uso y cuyas calidades han sido modificadas.
<b>Aguas residuales tipo especial</b>	Son las aguas generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicio, industriales, agrícolas, pecuarias y hospitalarias.
<b>Aguas residuales tipo ordinario</b>	Son las aguas residuales generadas por las actividades domésticas, tales como uso en servicios sanitarios, lavamanos, lavado de ropa y otras actividades similares.
<b>Caja de registro</b>	Construcción civil situada en el suelo donde fluyen aguas residuales de fácil acceso.
<b>Caracterización</b>	La determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales.
<b>Carga</b>	Resultado de multiplicar el caudal por la concentración determinados en un afluente y expresada en kilogramos por día.
<b>Caudal</b>	Volumen de agua por unidad de tiempo.

<b>Contaminantes</b>	Son todos los elementos, compuestos o sustancias incorporados en cierta cantidad al medio ambiente y por un determinado período de tiempo que pueden afectar negativamente o ser dañinos para la vida humana, fauna y flora.
<b>Cuerpo receptor</b>	Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxígeno.
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno.
<b>Efluente</b>	Aguas residuales descargadas por un ente generador.
<b>Insivumeh</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
<b>Límite máximo permisible</b>	El valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales.
<b>Lodo activado</b>	Masa biológica formada, durante el tratamiento de agua residual, por el crecimiento de bacterias y de otros microorganismos en presencia de oxígeno disuelto.

<b>Manto freático</b>	La capa de la roca subterránea, porosa y fisurada que actúa como reservorio de aguas que pueden ser utilizables por gravedad o por bombeo.
<b>MARN</b>	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
<b>Meta de cumplimiento</b>	La determinación numérica de los valores que deben alcanzarse en la descarga de aguas residuales al final de cada etapa de cumplimiento.
<b>Monitoreo</b>	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.
<b>NMP</b>	Número más probable.
<b>Organoléptico</b>	Propiedades que se pueden percibir por los sentidos.
<b>Parámetro</b>	La variable que identifica una característica de las aguas residuales asignándole un valor numérico.
<b>Punto de descarga</b>	El sitio en el cual el efluente de aguas residuales confluye en un cuerpo receptor o con otro efluente de aguas residuales.

**Pozo de absorción**

El pozo de absorción es un hoyo excavado en el suelo, relleno con piedras, que facilita la infiltración del agua en el suelo.

## RESUMEN

El presente proyecto consistió en evaluar la calidad del afluente de las aguas residuales tipo especial de una planta de fabricación de productos farmacéuticos y realizar una propuesta para la reducción de contaminantes según los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, que contiene el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos emitido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales el 5 de mayo de 2006.

La naturaleza de las aguas residuales tipo especial es principalmente del lavado de equipos y áreas de producción utilizados durante la fabricación de los productos farmacéuticos. En la actualidad, la empresa desecha sus aguas residuales a un pozo de absorción sin tratamiento previo. Es importante mencionar que las aguas residuales especiales están separadas de las aguas residuales ordinarias, pero estas últimas no son objeto de estudio en el presente trabajo.

Para determinar el nivel de contaminación del efluente se realizaron cinco monitoreos, que consistieron en tomar muestras en el punto de descarga, que corresponde a una caja de registro, medir el caudal y evaluar las características de las muestras por medio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

Los resultados obtenidos de la caracterización fueron comparados con los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, determinándose que el  $\text{DBO}_5$ , DQO, grasas y aceites, color, sólidos suspendidos y coliformes fecales no cumplen con la segunda etapa de

cumplimiento, que es la que se encuentra en vigencia, mientras que otros parámetros, que si se cumplen, en las siguientes etapas, ya no se encontrarán bajo los límites máximos permisibles, por lo tanto, lo ideal es cumplir con los límites máximos permisibles de la cuarta etapa de cumplimiento.

Para mitigar estos contaminantes se propone una serie de acciones preventivas y correctivas en la limpieza de áreas y equipos. Así también, se propone un sistema de tratamiento que se conforma de un tratamiento preliminar que consiste en rejillas y una trampa de grasas, un tratamiento primario para la remoción de sólidos suspendidos, un reactor secuencial biológico como tratamiento secundario y un tratamiento terciario que consiste en un filtro de carbón activado y un clorador, con el propósito de refinar la calidad de las aguas residuales.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Elaborar una propuesta para el control y reducción de contaminantes en las aguas residuales de una planta de fabricación de productos farmacéuticos para el cumplimiento de los parámetros de caracterización establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

### **Específicos**

1. Determinar el nivel de contaminación de las aguas residuales por medio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos.
2. Verificar si los parámetros de caracterización del efluente de aguas residuales cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.
3. Determinar cuáles son las etapas de los procesos de fabricación que generan valores de concentraciones de los parámetros establecidos fuera de los límites máximos permisibles.
4. Determinar un sistema ideal para el tratamiento de aguas residuales de la planta de fabricación de productos farmacéuticos.

## **Hipótesis**

Las aguas residuales especiales de la planta de fabricación de productos farmacéuticos tiene parámetros de caracterización con valores de concentraciones mayores a los límites máximos permisibles establecidos en el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos, los cuales pueden ser tratados por procesos fisicoquímicos y biológicos.

## INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los elementos más importantes para la conservación de la vida vegetal, animal y humana, razón por la cual es de suma importancia tomar responsabilidad en el proceso del cuidado y mejoramiento del recurso hídrico existente en el país.

Un estudio realizado por el Insivumeh señala que los ríos más contaminados a nivel nacional son el Motagua y Samalá, así también describe que la vertiente del Pacífico es la que más contaminada se encuentra. Y, además, está el río Villalobos que se ha convertido en río de aguas negras registrando altísimos índices de contaminación por las descargas domiciliarias e industriales de la zona metropolitana. Este río pertenece a la cuenca del lago de Amatitlán, en el cual se drena, siendo así su mayor afluente y, a la vez, foco de extrema contaminación.

Dentro de las industrias más contaminantes cabe destacar la industria química, de cloro, de plásticos, metalúrgica y papelera, ya que aportan al medio ambiente contaminantes persistentes y tóxicos. Así también, la industria farmacéutica es principal contribuyente de contaminación orgánica, porque genera una amplia variedad de compuestos orgánicos complejos muy difíciles de degradar biológicamente. Por lo tanto, se debe prevenir y controlar los niveles de contaminación de las aguas residuales que descargan en cualquier cuerpo receptor, realizando un análisis periódico de los parámetros de estudio establecidos para determinar las características de las aguas residuales y establecer medidas preventivas y correctivas para reducir de forma progresiva los contaminantes presentes y no exceder los límites máximos permisibles.



## **1. ANTECEDENTES GENERALES**

La empresa farmacéutica que es objeto de estudio para este trabajo se fundó en octubre de 1992 e inició relaciones comerciales en enero de 1993, el objeto social de la empresa es la fabricación y comercialización de productos farmacéuticos que se encuentren al alcance de la mayor parte de la población. La planta farmacéutica se construyó en 1998, realizándose un estudio de evaluación de impacto ambiental con el objetivo de identificar las principales actividades del proyecto que pudieran ocasionar impactos negativos al ambiente derivados del funcionamiento del laboratorio farmacéutico.

El estudio de impacto ambiental está basado en los contenidos de decretos y reglamentos vigentes hasta ese año incluidos la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente y el Acuerdo 60-89 Reglamento de Requisitos Mínimos y sus Límites Máximos Permisibles de Contaminación para la Descarga de Aguas Servidas. La disposición de los desechos, entre ellos las aguas residuales, es uno de los puntos de evaluación del estudio de impacto ambiental, donde se prevé sistemas de tratamientos como trampas, filtros y sistemas de tanques para el control de los contaminantes en las descargas de aguas residuales, pero estos sistemas de tratamientos no se han implementado en la planta. En 2009 se realizó una evaluación de la planta para la implementación de P + L (producción más limpia), los resultados de análisis de aguas residuales indican que no se cumple con el DBO, sólidos en suspensión, nitrógeno total, coliformes fecales y color. La persona encargada de realizar la evaluación recomendó realizar e implementar el Estudio Técnico requerido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 para evitar sanciones por el MARN.



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Aguas residuales**

Son las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas. Una de las propiedades más sorprendentes del agua es su capacidad para disolver sustancias, siendo la polaridad del agua el factor principal que determina su capacidad como solvente.

Casi todos los compuestos iónicos y moleculares se disuelven fácilmente en agua. La mayoría de los metales pesados que se encuentran en el agua están en forma iónica. Otras sustancias solubles en el agua, aunque en proporciones muy pequeñas, son los gases. Dada la capacidad del agua para disolver casi cualquier sustancia, el agua químicamente pura –sin ninguna sustancia disuelta– no existe en la naturaleza. Adicionalmente, es frecuente que el agua adquiera sustancias que resultan indeseables para un uso determinado y, por ello, se puede decir que se contamina fácilmente.

Además de las sustancias disueltas, el agua puede acarrear otras, tales como aceites, que no son miscibles con el agua y que al contacto con ella formarán una emulsión; o bien, sólidos que permanecerán en esa forma y dependiendo su tamaño y densidad se clasifican como sólidos suspendidos, materia flotante y sólidos sedimentables.

Asimismo, el agua es un medio en el cual pueden proliferar los microorganismos, tales como bacterias y protozoarios de vida libre; o bien, ser un vehículo para la transmisión de parásitos como los protozoarios patógenos y

los helmintos en su fase infectiva (huevecillos). La presencia de estas formas de vida representa un peligro para la salud pública y por ello deben controlarse.

Por otra parte, el agua es capaz de acumular y, posteriormente, liberar energía calorífica e incluso radioactividad. En el caso de la energía calorífica, se traduce en variaciones de temperatura, lo cual tiene efectos tanto en la cinética de las reacciones que ocurren en el agua, como en la cantidad de oxígeno disuelto.

Cualquier cuerpo de agua contendrá sustancias disueltas y, dependiendo de las aportaciones que reciba, puede tener materia suspendida y flotante, microorganismos y una temperatura diferente a la del ambiente. La cantidad y el tipo de sustancias que se encuentren en el agua determinan su calidad y definen su aptitud para ser aplicada en un uso específico. Los usos son muy variados, abarcan la preservación y el sustento de la vida y, prácticamente, todas las actividades humanas.

### **2.1.1. Aguas residuales domésticas**

Son las aguas residuales producidas por las actividades humanas relacionadas con el consumo de agua potable para el lavado de platos, ropa, duchas, servicios sanitarios y similares. Su calidad es muy uniforme y conocida y varía un poco con respecto al nivel socioeconómico y cultural de las poblaciones.

### **2.1.2. Aguas residuales industriales**

Son las aguas que han sido utilizadas en procesos industriales y que han recibido subproductos contaminantes como efecto de ese uso. Su calidad es

sumamente variable y prácticamente se requiere un estudio particular para cada industria.

### **2.1.3. Aguas residuales urbanas**

Son las aguas residuales domésticas o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y aguas de escorrentía pluvial.

### **2.1.4. Aguas residuales agrícolas**

Son aguas residuales que provienen de explotaciones que contienen altas cantidades de abonos y fertilizantes. Los contaminantes que contienen son materia orgánica (fertilizantes, pesticidas) y pueden contaminar aguas subterráneas, ríos, mares, embalses, etc.

Las aguas residuales también se pueden clasificar en dos grandes grupos, aguas residuales de tipo ordinario que son las aguas generadas por las actividades domésticas, tales como uso en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras actividades similares. El otro grupo es aguas residuales de tipo especial que son las generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicio, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas.

## **2.2. Características importantes de las aguas residuales**

De la misma manera que en las aguas naturales se miden las características físicas, químicas y biológicas, así también se miden en las aguas residuales para establecer, principalmente, las cargas orgánicas y las cargas de

sólidos que transportan, para determinar los efectos del vertimiento a cuerpos de agua y seleccionar las operaciones y procesos de tratamiento que resulten más eficaces.

### **2.2.1. Características físicas**

En la caracterización de aguas residuales es importante conocer la temperatura y la clase de sólidos, principalmente.

#### **2.2.1.1. Temperatura**

Varía de un lugar a otro y durante las horas del día y épocas del año. El aumento de temperatura acelera la descomposición de la materia orgánica, aumenta el consumo de oxígeno para la oxidación y disminuye la solubilidad del oxígeno y otros gases.

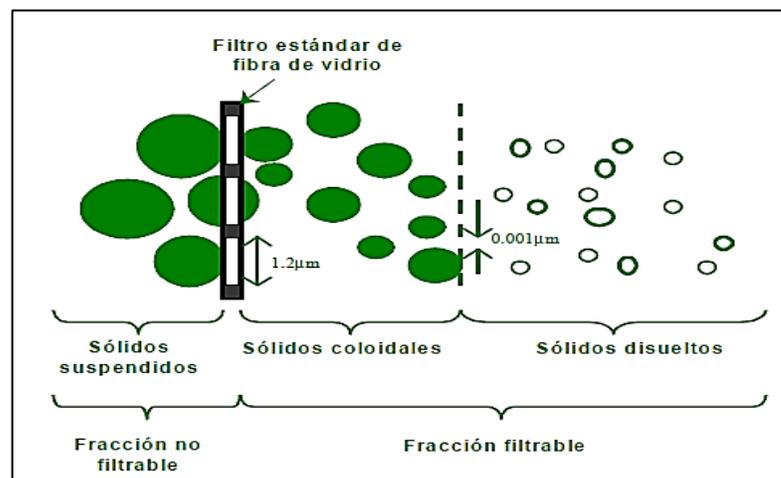
La densidad, viscosidad y tensión superficial disminuyen al aumentar la temperatura, o al contrario cuando esta disminuye, estos cambios modifican la velocidad de sedimentación de partículas en suspensión y la transferencia de oxígeno en procesos biológicos de tratamiento.

#### **2.2.1.2. Sólidos**

Se encuentran en suspensión, coloidales y disueltos. Los sólidos contenidos en aguas residuales se oxidan consumiendo oxígeno disuelto en el agua, sedimentan al fondo de los cuerpos receptores donde modifican el hábitat natural y afectan la biota acuática.

Los sólidos se clasifican por su tamaño en sólidos suspendidos, sólidos coloidales y sólidos disueltos. Los sólidos suspendidos son las partículas retenidas en un filtro estándar de fibra de vidrio con diámetro de 1,2 micras. Los sólidos coloidales y sólidos disueltos no son retenidos por el filtro debido a que tienen diámetros de 0,001 micras a 1,2 micras y diámetros menores a 0,001 micras, respectivamente.

Figura 1. **Dimensiones de los sólidos suspendidos, coloidales y disueltos**



Fuente: CALDERÓN, César. *Fundamentos técnicos para el muestreo y análisis de aguas residuales*. p 10.

### 2.2.1.3. Material flotante

El material flotante se acumula en la superficie de las aguas residuales, suele ser muy visible y es susceptible de ser transportado por el viento, puede contener bacterias patógenas o virus asociados con partículas aisladas y puede concentrar cifras elevadas de metales e hidrocarburos clorados como pesticidas.

#### **2.2.1.4. Color**

En un nivel cualitativo de las aguas residuales puede dar una idea de la edad de las mismas. Las aguas residuales de menor edad son de color grisáceo, a medida que transcurre el tiempo su color va oscureciéndose hasta volverse totalmente negras. Se determina por la comparación de la muestra con un patrón de platino y cobalto.

Respecto de este parámetro se manejan dos términos importantes, uno de ellos es el color aparente que se define como el color que produce en el agua la materia suspendida y disuelta, una vez eliminado el material suspendido, el color remanente se le conoce como color verdadero, siendo este el que se determina.

### **2.2.2. Características químicas**

Las aguas residuales reciben sales inorgánicas y materia orgánica de la preparación de alimentos y el metabolismo humano principalmente y toda clase de materiales que descartan por los desagües e imparten propiedades especiales a las aguas servidas.

Las aguas residuales de industrias reciben materiales orgánicos o inorgánicos, inclusive tóxicos, cada tipo de industria tiene características químicas diferentes.

#### **2.2.2.1. Compuestos inorgánicos**

Los compuestos inorgánicos agregados a las aguas durante su uso son principalmente: sales, nutrientes, trazas de elementos y elementos tóxicos.

- Sales: generalmente están en solución y contribuyen a aumentar la salinidad del agua. El aumento de sales disueltas durante cada uso del agua puede alcanzar a 300-350 mg/L.
- Nutrientes: el nitrógeno agregado en las proteínas, principalmente, y el fósforo en compuestos orgánicos y los detergentes son nutrientes que promueven el crecimiento de organismos productores autótrofos en aguas receptoras de desechos. Las aguas residuales domésticas y algunos desechos industriales y de actividades pecuarias son ricos en nutrientes.

Tanto en los cuerpos de agua como en las descargas, las formas de nitrógeno de mayor interés son, en orden creciente de estado de oxidación, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos. Analíticamente, el nitrógeno amoniacal y el orgánico se determinan juntos; a la prueba se le denomina nitrógeno total o nitrógeno Kjeldahl (por la técnica usada para su determinación).

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de los seres vivos ya que es un producto que interviene en la generación de energía a nivel celular. Un exceso de fósforo en cuerpos de agua puede estimular el crecimiento de macro y microorganismos fotosintéticos y provocar la eutrofización del cuerpo de agua.

- Trazas de elementos: minerales como hierro, calcio, cobre, potasio, sodio, magnesio, manganeso, etc., son esenciales a la actividad microbiana. En ocasiones, especialmente en desechos industriales, hay deficiencia de uno o más de estos elementos y la actividad

microbiológica es inhibida. En el tratamiento de desechos industriales es importante conocer cuál o cuáles microelementos son deficientes.

- Elementos tóxicos: una sustancia tóxica es aquella que al introducirse en un ser vivo le ocasiona la muerte o trastornos graves. El efecto puede ser inmediato o a largo plazo, esto estará dado por el nivel de toxicidad de la sustancia y por la facilidad con que sea desechada de los tejidos. A continuación se describen brevemente las sustancias tóxicas más comunes en aguas residuales y en cuerpos receptores de agua:
  - Una sustancia tóxica mineral es el cianuro. El cianuro es la combinación del nitrógeno elemental con carbono para formar un anión (CN<sup>-</sup>) que se combina fácilmente con metales o con hidrógeno. El cianuro llega al agua como un ion disociado o formando un complejo con metales y, dependiendo de su nueva formación y estabilidad, algunas veces llega a ser muy tóxico. Complejos débiles formados con el zinc, plomo o cadmio son extremadamente tóxicos. Los derivados del cianuro son desechos de las industrias que realizan el recubrimiento electrolítico de metales, de refinerías y de la actividad minera del carbón.
  - El arsénico es un metaloide, sin embargo, al igual que los metales pesados es bioacumulable. Las vías de acceso del arsénico al agua son las operaciones mineras, la aplicación de insecticidas que lo contienen y el uso de combustibles fósiles.
  - El cadmio proviene de fábricas de pinturas, lixiviados de baterías usadas, corrosión de tubos galvanizados y la industria metalúrgica.

- El cromo es un contaminante que se encuentra en las aguas residuales de la curtiduría de pieles, fábricas de acero y papel, el envenenamiento con este metal causa desordenes en la piel y daño hepático severo, cáncer de pulmón.
- El mercurio se encuentra en los efluentes de la producción de cloro, fabricación de plaguicidas, antisépticos, explosivos, papel y cemento, lixiviados de depósitos de desechos sólidos y tierras de cultivos.
- El níquel se encuentra en las aguas residuales de la fabricación de acero, deposición electrolítica, catalizador en la fabricación de monedas, lixiviados de baterías usadas (Cd-Ni), fabricación de vidrio y polipropileno.
- El plomo forma parte de las aguas residuales de la fabricación de baterías eléctricas, aditivos, cables con aleaciones, pigmentos, municiones, soldaduras. Es sumamente tóxico.

#### **2.2.2.2. Compuestos orgánicos**

La materia orgánica en el agua es susceptible de ser oxidada y transformada en compuestos más simples, como bióxido de carbono y agua, por acción de las bacterias. Si hay oxígeno molecular disuelto en el agua, las bacterias aerobias lo consumen para llevar a cabo dicha transformación. Es por ello que a la materia orgánica biodegradable se le clasifica en las sustancias consumidoras de oxígeno.

Dada la dificultad de hacer un análisis estequiométrico de la materia orgánica que entra en el agua residual y aprovechando su propiedad de ser oxidable, se han desarrollado métodos analíticos indirectos que miden la cantidad de oxígeno requerida para la transformación y de esta forma se conoce la cantidad de materia orgánica presente.

- Demanda química de oxígeno (DQO): es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar contaminantes (orgánicos e inorgánicos) por reacciones puramente químicas, se mide mediante análisis químicos. La DQO engloba a la  $DBO_5$  y siempre es mayor.
- Demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ): es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un período de 5 días. Es un parámetro indispensable para determinar la calidad de efluentes, cuanto mayor cantidad de materia orgánica contiene la muestra, más oxígeno necesitan los microorganismos para oxidarla.

### **2.2.2.3. Potencial de hidrógeno**

Este parámetro indica la concentración de iones de hidrógeno en el agua. El potencial de hidrógeno permite cuantificar las sustancias ácidas o alcalinas presentes en determinado cuerpo de aguas. Este dato es importante porque las sustancias ácidas presentes en el agua incrementan su corrosividad e interfieren en la capacidad de reacción de muchas sustancias y procesos al interior de los sistemas acuosos. Así la cuantificación de las sustancias ácidas permite determinar un proceso de neutralización para la adecuación.

#### **2.2.2.4. Grasas y aceites**

Por grasas se reconoce a todas aquellas grasas animales y vegetales, aceites, ceras y otros constituyentes que se encuentran en las aguas residuales. Son altamente estables y solamente se descomponen a interactuar con ácido y álcalis.

Uno de los principales problemas que producen las grasas y aceites es que forman una capa en la superficie del agua o el suelo, evitan el contacto con el aire y, por ende, con el oxígeno, y este elemento es vital para los procesos de descomposición y tratamiento.

#### **2.2.3. Características biológicas**

En aguas residuales se encuentran microorganismos saprofitos que degradan la materia orgánica en compuestos simples utilizando o no oxígeno disuelto y microorganismos patógenos agregados a las aguas que mueren rápidamente al encontrarse en un medio extraño. Los patógenos, sin embargo, sobreviven un tiempo suficientemente prolongado para infectar a otros usuarios del agua.

Una medida ampliamente reconocida de contaminación microbiológica es la concentración de bacterias coliformes, principalmente, la escherichia coli, este parámetro indica la presencia de contaminación fecal y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de seres humanos y animales de sangre caliente.

## **2.3. Muestreo de aguas residuales**

Para poder realizar un muestreo confiable es necesario desarrollar un plan de muestreo. Para ello es indispensable contar con la información sobre las características de la descarga que se va a verificar, si se trata de una descarga industrial o una descarga municipal. En el caso de que se tratara de una descarga industrial, es conveniente conocer el volumen de producción, tipo de productos que manejan, tipo de tratamiento que le dan al agua antes de descargar, ubicación de la descarga, horas de trabajo de la industria, etcétera.

Es importante la localización de la descarga para determinar las posibilidades de tomar las muestras directamente de ella o si es inaccesible. En el último caso, se tendría que localizar un punto accesible, lo más cercano posible y representativo de la descarga para tomar las muestras.

La información adquirida servirá para inferir el tipo de contaminantes que se pudieran esperar en la descarga, el tiempo de descarga, y otros datos que permitirán la selección del material, equipo de muestreo y equipo de seguridad por emplear para la toma de la muestra.

Para la toma de muestra de metales pesados, cianuros nitrógeno, fósforo, DBO, sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables, se selecciona un sitio donde el flujo sea turbulento y la materia flotante no esté atrapada en la superficie.

### **2.3.1. Muestra**

Es la parte representativa por analizar de las aguas residuales. Existen dos tipos de muestras, simple y compuesta.

La muestra simple es la recolectada en un sitio específico durante un período corto, de minutos a segundos. Representa un instante en el tiempo y un punto en el espacio del área de muestreo. Solo representa la composición del agua para ese tiempo y lugar específicos. Dicha muestra puede ser representativa de espacios y tiempos mayores si se sabe con anterioridad que la composición es constante en el tiempo y que no existen gradientes de concentración espaciales.

La muestra compuesta es la mezcla de varias muestras instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos. La mezcla se hace sin tener en cuenta el caudal en el momento de la toma.

### **2.3.2. Medición de caudal**

El caudal se mide para preparar las muestras compuestas. Las muestras compuestas tienen el fin de representar el promedio de las variaciones de los contaminantes y de esta forma obtener su concentración promedio a lo largo de un turno, un ciclo de producción o un día.

Una vez determinados el caudal de la descarga y las concentraciones de sustancias, se calcula la carga total de contaminantes, que es el resultado de multiplicar la concentración por el caudal. El efecto sobre el cuerpo receptor está más en función de la carga total que de la concentración.

### **2.3.3. Tipos de métodos de recolección**

Para realizar un muestreo de aguas residuales existen varios métodos, estos se detallan a continuación.

### **2.3.3.1. Muestreo manual**

Este método de recolección es el más simple e involucra equipamiento mínimo. Sin embargo, puede resultar laborioso en programas de muestreo extendidos en el espacio o el tiempo. Puede ser muy costoso y demorado para muestreos a gran escala.

En este tipo de muestreo se debe contar con una gran cantidad de recipientes para el muestreo y con una hielera y reactivos para la correcta preservación de las muestras. Los métodos de preservación tienen el objetivo de retardar la acción biológica, retardar la hidrólisis de compuestos y complejos químicos y reducir la volatilidad de los constituyentes. Estos métodos consisten en el control de pH, la adición de compuestos químicos y la refrigeración.

Figura 2. **Resumen de parámetros por muestrear en aguas residuales**

Parámetro	Recipiente	Enjuague antes de tomar la muestra	Volumen mínimo requerido	Tipo de muestra	Preservación	Tiempo máximo para análisis
Coliformes fecales	Bolsas o frascos esterilizados de vidrio	no	150 mL	Simple	Previamente con EDTA+Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 4°C	24 horas
Huevos de helminto	Plástico	no	5 L	Simple o Compuesta	Formol 10% y/o 4°C	6 meses
Grasas y aceites	Vidrio (boca ancha)	no	1L	Simple	HCl o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH<2, 4°C	28 días
DBO	Plástico	2 a 3 veces	1L	Compuesta	4°C	48 horas
Materia flotante	Plástico (boca ancha)	2 a 3 veces	3L	Simple		Inmediata
Sólidos sedimentables	Plástico (boca ancha)	2 a 3 veces	1L	Compuesta	4°C	24 horas
Sólidos suspendidos totales	Plástico	2 a 3 veces	1L	Compuesta	4°C	7 días
Fósforo total	Plástico	2 a 3 veces	1L	Compuesta	4°C	28 días
Nitrogeno total	Plástico	2 a 3 veces	1L	Compuesta	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH<2 4°C	28 días
Metales	Plástico	2 a 3 veces	1L	Compuesta	HNO <sub>3</sub> , pH<2 4°C	6 meses
Cianuros	Plástico	2 a 3 veces	1L	Compuesta	NaOH, pH>12 4°C	24 horas

Fuente: CALDERÓN, César. *Fundamentos técnicos para el muestreo y análisis de aguas residuales*. p 36.

### 2.3.3.2. Muestreo automático

Existen diversos sistemas automáticos de extracción de muestra. Su utilización depende de la disponibilidad de dichos sistemas y de su posible localización en el campo de manera segura. Los muestreadores automáticos pueden eliminar los errores humanos introducidos en el muestreo manual, reducir los costos, proveer un mayor número de muestreos; su uso se incrementa día a día. Se debe asegurar que el muestreador automático no contamine la muestra.

## **2.4. Tratamiento de aguas residuales**

El tratamiento del agua residual consistirá en remover, tanto como sea posible, las sustancias o condiciones que impiden su aprovechamiento. La forma en que dichos contaminantes se encuentran en el agua determina el tipo de tratamiento por utilizar. Los procesos de tratamientos de aguas residuales pueden ser clasificados en procesos físicos, químicos y biológicos.

Los procesos físicos consisten en la remoción de las sustancias físicamente separables de los líquidos o que no se encuentran disueltos. Los procesos biológicos consisten en la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual en forma coloidal y en forma disuelta. En los procesos químicos se utilizan productos químicos que son utilizados cuando los procesos físicos y biológicos no actúan eficientemente en la reducción de los contaminantes.

Aquellos métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos se conocen como operaciones unitarias, mientras que aquellos métodos en los que la eliminación de los contaminantes se realiza con base en procesos químicos o biológicos se conocen como procesos unitarios. Al referirse a operaciones y procesos unitarios es porque se agrupan entre sí para constituir los tratamientos primario, secundario y terciario.

### **2.4.1. Tratamientos preliminares**

El pretratamiento se refiere a la eliminación de materia muy voluminosa, tal como botellas, trapos, piedras o materia pesada, como grava y arena. Es necesario removerlos para evitar que interfieran con el tratamiento y para evitar que dañen los equipos.

Aunque no reflejan un proceso en sí, sirven para aumentar la efectividad de los tratamientos primarios, secundarios y terciarios. Las aguas residuales que fluyen desde los alcantarillados a las plantas de tratamiento de aguas residuales son muy variables en su flujo y contienen gran cantidad de objetos, en muchos casos voluminosos y abrasivos, que por ningún motivo deben llegar a las diferentes unidades donde se realizan los tratamientos y deben ser removidos. Para esto son utilizados los tamices, las rejas, los microfiltros, etcétera.

#### 2.4.1.1. Cribado

Consiste en rejas y rejillas, el cribado es un método que remueve del agua residual los contaminantes más voluminosos, ya sean flotantes o suspendidos. Las cribas se clasifican en función del tamaño de la partícula removida, como finas o gruesas.

Figura 3. **Tamaño de la abertura de los cribadores gruesos y finos**

TIPO DE TAMIZ	ABERTURA (mm)	OBSERVACIONES
Rejillas gruesas.	51 a 153	Su uso estará definido por la basura presente. En algunas plantas sólo se emplean las rejillas finas.
Rejillas.	19 a 51	La abertura más común es de 25 mm.
Desmenuzadores.	6 a 19	La abertura está en función de la capacidad hidráulica de la unidad. No remueven los sólidos, sino los reduce en tamaño y tienen que ser removidos por las unidades subsecuentes.
Tamiz fijo (estático).	2.3 a 6.4	Aberturas menores a 2.3 mm son usadas en el pretratamiento y/o pueden sustituir al tratamiento primario. Son muy útiles cuando se tienen limitaciones de espacio.
Tamiz ajustable.	0.02 a 0.3	Se utilizan para la remoción de sólidos muy pequeños y que no pueden ser eliminados por otros métodos, tales como la decantación o la degradación biológica.

Fuente: CALDERÓN, César. *Identificación y descripción de sistemas primarios para el tratamiento de aguas residuales.* p 14.

#### **2.4.1.2. Desbaste**

El desbaste tiene por objeto imposibilitar la llegada de grandes objetos que puedan provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación o dificultar los tratamientos restantes.

El desbaste permite separar y evacuar fácilmente las materias voluminosas arrastradas por el agua, que podrían disminuir la eficacia de los tratamientos siguientes, o complicar la realización de los mismos.

#### **2.4.1.3. Tamizado**

El tamizado consiste en una filtración sobre soporte delgado y sus objetivos son los mismos que se pretenden con el desbaste, es decir, la eliminación de materia que por su tamaño pueda interferir en los tratamientos posteriores.

El tamizado es imprescindible cuando las aguas residuales llevan cantidades excepcionales de sólidos en suspensión, flotantes o residuos.

#### **2.4.1.4. Desarenado**

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

#### **2.4.1.5. Desaceitado-desengrasado**

El objetivo en este paso es eliminar grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes más ligeros que el agua, que podrían distorsionar los procesos de tratamiento posteriores. Se efectúa mediante insuflación de aire, para desemulsionar las grasas y mejorar la flotabilidad.

#### **2.4.2. Tratamiento primario**

El tratamiento primario es el conjunto de operaciones, fundamentalmente del tipo físico o químico, cuyo objetivo principal es eliminar los sólidos en suspensión, así como metales pesados, fósforo y otros contaminantes insolubles. Con el tratamiento primario se remueven contaminantes en forma de lodos.

El tratamiento primario presenta diferentes alternativas según la configuración general y el tipo de tratamiento que se haya adoptado. Los principales procesos físico-químicos que pueden ser incluidos en el tratamiento primario son los siguientes: sedimentación, flotación, coagulación – floculación.

##### **2.4.2.1. Sedimentación**

Es un proceso físico en el cual se aprovecha la diferencia de densidad y peso entre el líquido y las partículas suspendidas. Los sólidos, más pesados que el agua, precipitan produciéndose la separación de los mismos. Está en función de la densidad del líquido, del tamaño, del peso específico y de la morfología de las partículas.

Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas por separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación, siendo el principal parámetro de diseño para estos equipos.

El objetivo fundamental de la sedimentación es eliminar los sólidos en suspensión (en un 60 %, aproximadamente) presentes en la aguas residuales y la materia orgánica (en un 30 %, aproximadamente), así también, protegen los procesos posteriores de oxidación biológica de la intrusión de fangos inertes de densidad elevada.

La forma de los equipos donde se lleva a cabo la sedimentación es variable, ya que es en función de las características de las partículas por sedimentar (tamaño, forma, concentración, densidad, etc.). Existen dos tipos básicos de sedimentadores: los circulares y los rectangulares. El principio de funcionamiento es el mismo, en ambas estructuras se crearán las condiciones de movimiento suave y lento para que las partículas puedan depositarse en el fondo.

#### **2.4.2.2. Flotación**

La flotación es un sistema de separación sólido-líquido o líquido-líquido basado en diferencia de densidades, es decir, se pretende separar aquellos elementos sólidos o líquidos que son susceptibles de flotar bajo ciertas condiciones.

La flotación permite separar la materia sólida o líquida de menor densidad que la del fluido, por ascenso de esta hasta la superficie del fluido, ya que en este caso, las fuerzas que tiran hacia arriba (rozamiento y empuje del líquido) superan a la fuerza de la gravedad. Se generan pequeñas burbujas de gas

(aire), que se asociarán a las partículas presentes en el agua y serán elevadas hasta la superficie, donde son arrastradas y sacadas del sistema.

Los sistemas de flotación se pueden clasificar en procesos de flotación natural y procesos de flotación provocada o acelerada. La flotación natural se produce cuando la densidad de los elementos sólidos o líquidos son menores que las del agua. La flotación provocada aprovecha las características que tienen ciertas partículas de unirse a burbujas de gas, normalmente aire, formando conjuntos “partículas-gas” menos densos que el agua y, de esta forma, es posible ascender a la superficie partículas de densidad mayor que la del líquido.

Las aplicaciones de la flotación, en el campo del tratamiento del agua son múltiples entre ellas se pueden mencionar la separación de grasas y aceites y separación de materias floculadas en la clarificación.

#### **2.4.2.3. Coagulación-floculación**

Las aguas residuales contienen material suspendido, sólidos que pueden sedimentar en reposo o sólidos dispersados que no sedimentan con facilidad, una parte considerable de estos sólidos pueden ser coloides, que son partículas que se encuentran estabilizadas por una serie de cargas de igual signo sobre su superficie, haciendo que se repelan dos partículas vecinas. Debido a esto se impide el choque de las partículas y que se formen así masas mayores, por lo tanto, las partículas no sedimentan.

Las operaciones de coagulación-floculación se utilizan para desestabilizar los coloides y así conseguir su sedimentación, esto se logra con la adición de agentes químicos y aplicando energía de mezclado. La adición del coagulante

al agua residual es para crear una atracción entre las partículas en suspensión y así desestabilizar la suspensión coloidal. Es importante conocer la diferencia entre los términos de coagulación y floculación:

- Coagulación: es la desestabilización de un coloide producida por la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloidales con la formación de núcleos microscópicos.
- Floculación: es la aglomeración de partículas desestabilizadas primero en microflóculos y después en aglomerados voluminosos llamados flóculos. La floculación trata la unión ente los flóculos ya formados con el fin de aumentar su volumen y peso de forma que se puedan sedimentar.

Normalmente, la coagulación se consigue añadiendo al agua un producto químico llamado coagulante usándose con mayor frecuencia sales de hierro y aluminio ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ).

Las sales de  $\text{Fe}^{3+}$  pueden ser cloruro de hierro ( $\text{Cl}_3\text{Fe}$ ) o sulfato de hierro ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ), con eficacia semejante. Se pueden utilizar, tanto en estado sólido como en disoluciones. La utilización de una u otra está en función del anión, si no se desea la presencia de cloruros o sulfatos. Las sales de  $\text{Al}^{3+}$  suelen ser sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) o policloruro de aluminio. En el primer caso es más manejable en disolución, mientras que en el segundo presenta la ventaja de mayor porcentaje en peso de aluminio por kg dosificado.

También se pueden utilizar polielectrolitos que son polímeros naturales o sintéticos, no iónicos (poliacrilamidas) aniónicos (ácidos poliacrílicos) o catiónicos (polivinilaminas). Las cantidades por dosificar son mucho menores que para las sales, pero tanto la eficacia como el coste es mucho mayor.

### **2.4.3. Tratamiento secundario**

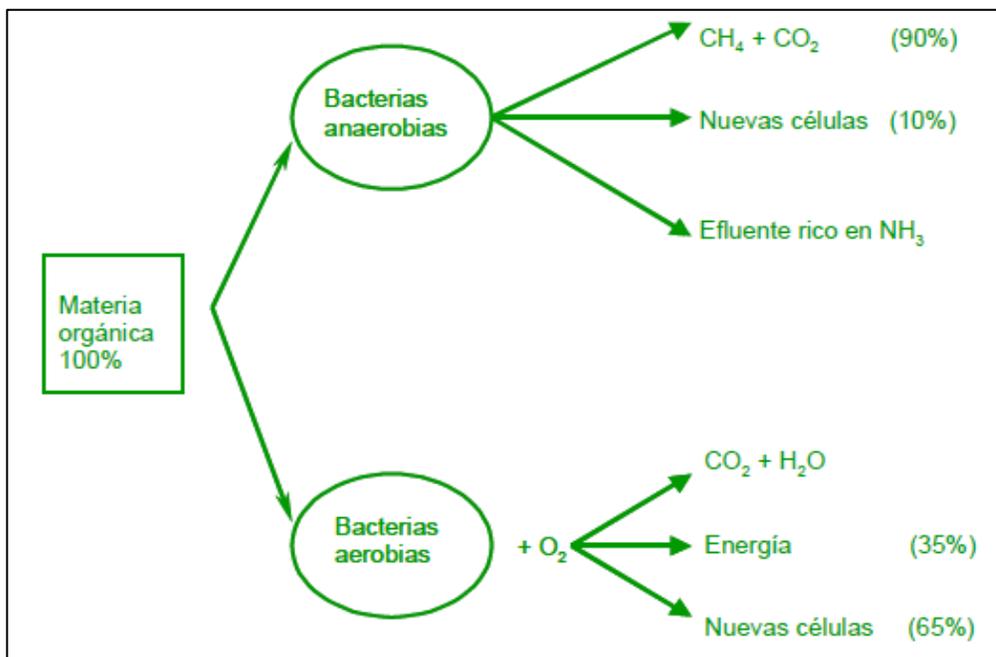
El objetivo de este tratamiento es remover la demanda biológica de oxígeno (DBO) soluble que escapa a un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos sedimentables. Para ello, se emplean millones de organismos microscópicos cuyo trabajo es degradar la materia orgánica para transformarla en más microorganismos y en sustancias más sencillas, tales como bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>), nitratos (NO<sub>3</sub><sup>=</sup>) y agua (H<sub>2</sub>O).

Unas de las encargadas de dichas transformaciones son las bacterias que con base en su afinidad con el oxígeno las bacterias son aerobias o anaerobias. Las que requieren un ambiente con oxígeno molecular (O<sub>2</sub>) para desarrollarse, se denominan aerobias; las bacterias que proliferan en un ambiente carente de oxígeno son anaerobias. Existen bacterias que pueden desarrollarse en ambientes aerobios o anaerobios; estas se conocen como facultativas.

Las bacterias al consumir la materia orgánica, independientemente de su afinidad por el oxígeno, la transforman. Como producto de la transformación hay generación de nuevas células y otras sustancias. Este comportamiento es quizá el factor más importante para definir las características de los sistemas de tratamiento. Se observa que las bacterias aerobias van a obtener como producto principal nuevas células y el agua tratada contendrá muy poca materia disuelta. Por su parte, las bacterias anaerobias dirigen la mayor parte de su actividad a generar gases (metano y dióxido de carbono) y en menor grado células nuevas; el agua tratada por la vía anaerobia tiene una calidad inferior que la de los sistemas aerobios.

Los procesos aerobios se basan en la eliminación de los contaminantes orgánicos por su transformación en biomasa bacteriana, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O y los procesos anaerobios transforman la sustancia orgánica en biogás, mezcla de metano y CO<sub>2</sub>.

Figura 4. **Productos finales de la digestión aerobia y anaerobia**



Fuente: CALDERÓN, César. *Identificación y descripción de los sistemas secundarios para el tratamiento de aguas residuales*. p 3.

Los reactores biológicos se clasifican con base en la forma en que la población microbiana se encuentra dentro del reactor. Están los de biomasa suspendida que son reactores que no utilizan un medio de soporte y los microorganismos forman agregados como flóculos. Los de biomasa fija cuentan con un medio, ya sea natural o sintético, que sirve de soporte para que se desarrolle la comunidad microbiana en forma de película.

### **2.4.3.1. Tratamiento anaerobio**

El proceso se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y de CO<sub>2</sub>, en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas

La digestión anaerobia es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica, como no hay presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido. En vista de que no hay oxidación, se tiene que la DQO teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida (90 a 97 %), una mínima parte de la DQO es convertida en lodo (3 a 10 %). En las reacciones bioquímicas que ocurren en la digestión anaerobia, solo una pequeña parte de la energía libre es liberada, mientras que la mayor parte de esa energía permanece como energía química en el metano producido.

El proceso de digestión anaerobia se realiza en tanques completamente cerrados en los que intervienen varios tipos de microorganismos. Entre las más importantes y específicas de este proceso están las bacterias productoras de ácidos, y por otro las bacterias productoras de metano.

Las bacterias productoras de ácidos transforman la materia orgánica compleja, en productos intermedios. Las bacterias productoras de metano actúan sobre dichos productos intermedios transformándolos en gases y subproductos estabilizados. El proceso que se origina es lento y requiere unas condiciones determinadas, la primera fase del proceso se denomina fase ácida, con pH por debajo de 6,8 y la segunda fase se denomina metánica, la cual

aumenta el pH a valores de 7,4, estas bacterias son muy sensibles a los valores de pH y se inhiben con valores inferiores a 6,0.

Los sistemas de tratamiento anaerobio se dividen en reactores de biomasa no adherida y reactores de biomasa fija. Los reactores de biomasa adherida son separadores de sólidos suspendidos, una vez separados los sólidos se depositan en el fondo del tanque y allí son degradados en un ambiente anaerobio, no hay una interacción real entre la biomasa activa y el agua residual, por lo tanto, la remoción de la materia disuelta es muy baja.

Entre los sistemas de tratamiento anaerobio se pueden mencionar los siguientes:

- Fosa séptica: en este tratamiento se lleva a cabo una separación e hidrólisis de sólidos suspendidos.
- Tanque Imhoff: consiste en dos compartimentos, el de decantación o separación de sólidos y el de digestión de lodos.
- Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA): representa la transición entre los de biomasa no adherida y los de biomasa fija, si bien no cuenta con un medio de soporte para el desarrollo de la biomasa, se considera biomasa fija por los flóculos tan densos que forma. El reactor es de flujo ascendente y en la parte superior está equipado con un sistema de separación gas-líquido-sólido que evita la salida de sólidos suspendidos en el efluente y favorece la evacuación del gas.

Los reactores de biomasa fija están destinados a la remoción de materia disuelta aunque pueden también retener y tratar materia suspendida. Dado que

la biomasa anaerobia puede flotar muy fácilmente por la generación de gases que se pueden adherir como microburbujas a los flóculos, el desarrollo de sistemas de biomasa adherida a un soporte minimiza las pérdidas de materia activa. Los sistemas más comunes son los siguientes:

- Filtro anaerobio: es una columna rellena de diversos tipos de medios sólidos que se utilizan para el tratamiento de la materia orgánica carbonosa contenida en el agua residual. El agua por tratar fluye en forma ascendente entrando en contacto con el medio sobre el que se desarrollan y fijan las bacterias anaerobias.
- Lecho expandido: en este sistema el agua residual se bombea a través de un lecho de material adecuado (arena, carbón) en el que se ha desarrollado un cultivo biológico. El efluente se recircula para diluir el agua entrante y mantener un caudal adecuado que asegure que el medio se halle expandido.
- Reactor tubular de película fija: es un reactor empacado con tubos o placas paralelas dispuestas de tal forma que se crean canales verticales. Puede ser de flujo ascendente o descendente, sin embargo, para la separación de gas es recomendable de flujo ascendente.
- Lecho fluidizado: son reactores de flujo ascendente empacados con algún material suficientemente pequeño y ligero que permita la expansión o la fluidización del lecho al recircular el efluente.

### **2.4.3.2. Tratamiento aerobio**

En este tipo de tratamiento se degrada la materia orgánica en presencia de oxígeno. Los procesos biológicos aeróbicos utilizan colonias microbianas y oxígeno molecular para descomponer las sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales. Los microbios se alimentan de sustancias biológicas indeseadas en el agua generando agregados o flóculos de sustancias orgánicas y microorganismos que se depositan en la base del contenedor. Este lodo es estable y puede eliminarse fácilmente.

Los procesos de tratamiento aeróbicos de aguas residuales incluyen diversos tipos de tratamiento como son los de lodos activados, zanjas de oxidación, filtros percoladores, tratamientos basados en lagunas y en la digestión aerobia. La aireación es una de las primeras etapas del tratamiento debido a que las bacterias y otros organismos necesitan oxígeno para descomponer las sustancias orgánicas existentes en las aguas residuales por tratar. Los tratamientos aerobios, al igual que los anaerobios, también se dividen en reactores de biomasa suspendida y reactores de biomasa fija.

#### **2.4.3.2.1. Lodos activados**

Entre los de biomasa suspendida el más comúnmente utilizado es el reactor de lodos activados debido a que su funcionamiento es bastante sencillo, consiste simplemente en tres tanques, uno de aireación, uno de sedimentación y otro para almacenamiento de lodos. Este tratamiento biológico es utilizado para el tratamiento de aguas domésticas e industriales, es muy adecuado para el tratamiento de flujos de residuos ricos en contenido orgánico y biodegradable.

En el sistema de lodos activados el agua residual requiere un contacto íntimo entre la biomasa activa y el oxígeno, ya que al estar en contacto el agua residual con los flóculos biológicos se absorbe la materia orgánica donde se degrada por las bacterias presentes y por esta razón los lodos se recirculan porque son ricos en microorganismos que pueden digerir más materia orgánica.

#### **2.4.3.2.2. Filtros percoladores**

Este es un sistema de biomasa fija, el cual consiste en un lecho formado por un medio filtrante al que se adhieren los microorganismos, a través del cual se filtra el agua residual. El medio filtrante suele estar formado por piedras o diferentes materiales plásticos.

Se clasifican en función de la carga orgánica en filtros de baja, media, alta y muy alta carga. En los filtros percoladores no es necesaria la recirculación y cuando se recircula es para mantener húmedo el medio. En el tratamiento de aguas residuales en este sistema se obtienen eficiencias de remoción de DBO de un 70 % a un 85 %.

#### **2.4.3.2.3. Discos biológicos**

Este reactor se clasifica entre los reactores de biomasa fija y consta de una serie de discos montados sobre una flecha horizontal que gira, los discos se encuentran sumergidos parcialmente en el agua residual. En cada giro la superficie de los discos sobre la que se desarrolla la biopelícula, entra en contacto con el agua residual y con el aire, la película cuando se expone al aire se oxigena y al entrar en contacto con el agua residual absorbe la materia orgánica, por lo tanto, en este sistema la parte móvil es el medio biológico y la parte estática es el agua de tratamiento.

#### **2.4.3.2.4. Reactor SBR**

Los reactores biológicos secuenciales (SBR) son reactores discontinuos en los que el agua residual se mezcla con un lodo biológico en un medio aireado. El proceso combina en un mismo tanque: reacción, aeración y clarificación.

La tecnología es una variante optimizada de la tecnología convencional de lodos activados, con la diferencia que en el proceso de lodos activados convencional el tratamiento se lleva a cabo en tanques separados y en un sistema SBR el tratamiento ocurre secuencialmente en el mismo tanque.

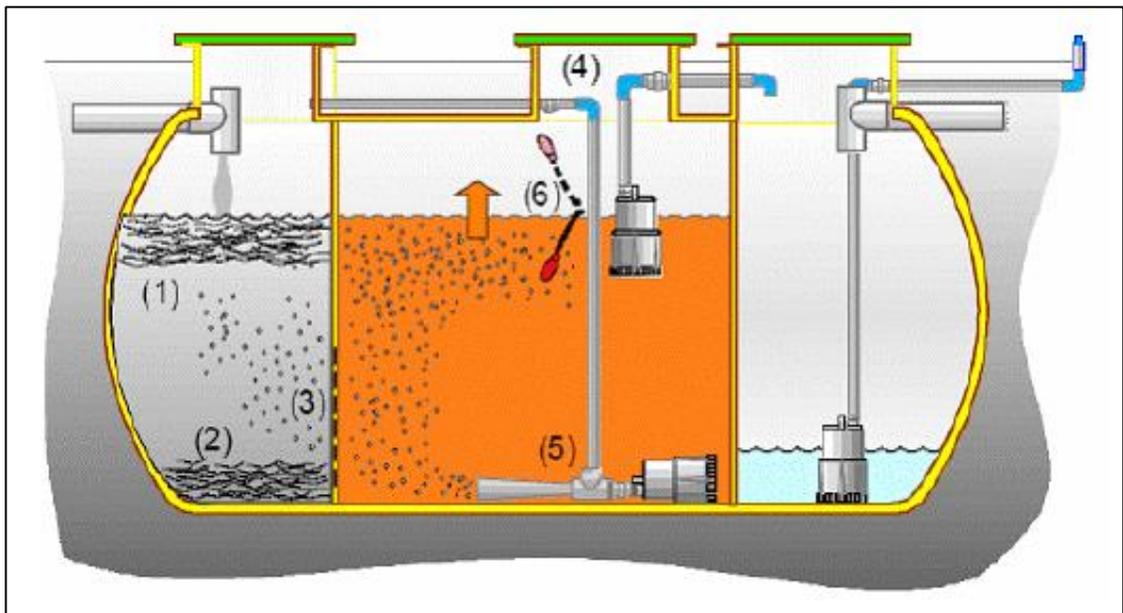
Se basa en el uso de un sólo reactor que opera en forma discontinua secuencial. El sistema SBR consta de al menos cuatro procesos cíclicos: llenado, reacción, decantación y vaciado, tanto de efluente como de lodos. Esta tecnología es capaz de tolerar variaciones de carga y caudal y genera como producto lodos estabilizados. Dependiendo de la naturaleza del efluente por tratar, así es la calidad y las propiedades de los lodos generados.

Realiza remoción directa de compuestos orgánicos,  $DBO_5$  y DQO, nitrógeno, fósforo, sólidos suspendidos totales (SST), sólidos sedimentables, compuestos refractarios, hidrocarburos totales, índice de fenol. Así también regula condiciones de pH y temperatura y puede remover una fracción de aceites y grasas y color.

Se prevén eficiencias de remoción de  $DBO_5$  y de sólidos suspendidos totales de 85 % – 95 %. Los fabricantes de sistemas SBR normalmente proveen una garantía de proceso para la producción de efluentes con máximo de: 10

mg/L de DBO<sub>5</sub>; 10 mg/L de SST; 5 - 8 mg/L de nitrógeno total; 1 - 2 mg/L de fósforo total.

Figura 5. Esquema del proceso del SBR



Fuente: Tecnología SBR. [http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_08.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_08.pdf).

Consulta: 3 febrero 2016.

Las ventajas de este sistema de tratamiento son las siguientes:

- Estabilidad y flexibilidad: se adaptan a condiciones fluctuantes y toleran variaciones en la carga orgánica.
- Eliminación eficiente de: DBO<sub>5</sub>, nutrientes (N, P) y compuestos refractarios.
- Permite mayor control sobre el crecimiento de micro organismos filamentosos.

- Mayor retención de biomasa en comparación a otras tecnologías como lodos activados.
- Fácil control de la operación.
- Menores costos de inversión ya que no requiere una bomba para el retorno de lodos y el sedimentador secundario es de menor tamaño debido a la excelente sedimentabilidad del sistema.
- Diseño compacto, requiere menos espacio que los sistemas convencionales como lodos activados.
- Generación de lodos secundarios “estabilizados” que al igual que los sistemas convencionales pueden ser aprovechados como fertilizantes, mejoradores de suelo y obtención de biogás, entre otras.
- Sin impacto visual, pueden ser instalados bajo tierra.

Las desventajas son las siguientes:

- Requiere capacitación técnica del o los usuarios.
- Requiere mayor sofisticación y mantenimiento.
- Riesgo de taponamiento de los dispositivos de aireación durante ciclos operativos específicos.
- No es aplicable a todo tipo de efluente orgánico, la presencia de compuestos tóxicos puede afectar negativamente el desempeño de este tratamiento.
- En algunas ocasiones se requiere agregar nutrientes tanto al SBR como al efluente final.

Debido a esas ventajas las aplicaciones industriales de los reactores discontinuos secuenciales en la depuración de aguas residuales son muy variadas, siendo particularmente interesante en el tratamiento de corrientes de bajo caudal. Así, se han descrito aplicaciones con éxito para aguas residuales

municipales, industria vinícola y destilerías, aguas procedentes de lixiviados de vertederos, industrias de curtidos, aguas residuales hipersalinas, industria papelera, industria láctea, aguas residuales de matadero e industria ganadera porcina, entre otras.

Las aplicaciones más novedosas son las relacionadas con aguas residuales de la industria textil, de la industria azucarera y de la industria química, habiéndose mostrado el potencial de los SBR en el tratamiento de aguas residuales industriales.

Figura 6. **Ejemplos de SBR**



Fuente: Tecnología SBR. [http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_08.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_08.pdf).

Consulta: 3 febrero 2016.

### **2.4.3.3. Comparación del tratamiento aerobio y anaerobio**

Varios parámetros hay que considerar para observar ventajas e inconvenientes de un tratamiento anaerobio frente a uno aerobio.

Tabla I. **Comparación entre el tratamiento aerobio y anaerobio**

<b>Aerobio</b>	<b>Anaerobio</b>
Crecimiento rápido de bacterias	Crecimiento lento de bacterias
Tiempos de residencia cortos.	Tiempos de residencia mayores. En relación al aerobio 30:1
Mayores tasas de aprovechamiento de material orgánico.	Menores tasas de aprovechamiento de material orgánico.
Biomasa menos estabilizada.	Biomasa muy bien estabilizada.
Mayor cantidad de microorganismos por purgar.	Menor cantidad de microorganismos a purgar.
Flexible en cambios de condiciones (temperatura, acidez, etc.).	Sensible a cambio de condiciones.
Oxígeno abundante y fuerte sensibilidad a falta de nutrientes.	Oxígeno nulo y baja tasa de nutrientes.
Diseño más compacto, requiere menos espacio.	Requiere grandes superficies
Menor inversión que en aerobio.	Mayor inversión.

Fuente: elaboración propia.

#### **2.4.4. Tratamiento terciario o avanzado**

Tratamiento terciario es un término genérico que describe uno o cualquier número de procesos utilizados para refinar y pulir el agua antes de que sea reutilizada o descargada en un cuerpo receptor.

Es simplemente un paso adicional al tratamiento secundario que normalmente se necesita para eliminar las sustancias orgánicas o inorgánicas que resisten el tratamiento convencional. También se refiere al tratamiento de efluentes para llevarlos a un estándar de alta calidad.

La finalidad de los tratamientos terciarios es eliminar la carga orgánica residual y aquellas otras sustancias contaminantes no eliminadas en los tratamientos secundarios, como por ejemplo, los nutrientes, fósforo y nitrógeno.

#### **2.4.4.1. Ósmosis inversa**

Es una tecnología de membrana en la cual el solvente (agua) es transferido a través de una membrana densa diseñada para retener sales y solutos de bajo peso molecular. La osmosis inversa elimina prácticamente todas las sales y los solutos de bajo peso molecular, se considera una eliminación prácticamente total de las sales disueltas y total de los sólidos en suspensión.

Debido a esto, las membranas de osmosis inversa son la elección cuando se necesita agua muy pura o de bebida, especialmente si la fuente es agua salobre o agua de mar.

#### **2.4.4.2. Destilación**

La destilación es la colección de vapor de agua, después de hervir las aguas residuales. Con un retiro correctamente diseñado del sistema de contaminantes orgánicos e inorgánicos y de impurezas biológicas puede ser obtenido, porque la mayoría de los contaminantes no se vaporizan. El agua pasará al condensador y los contaminantes permanecerán en la unidad de evaporación.

#### **2.4.4.3. Electrodiálisis**

La electrodiálisis separa las moléculas o iones en un campo eléctrico debido a la diferencia de carga y de velocidad de transporte a través de la

membrana. Consiste en la eliminación de iones cargados eléctricamente y que se encuentran disueltos en el agua.

Para llevar a cabo esta eliminación se introduce en el agua un par de electrodos de distinta carga eléctrica de manera que los iones disueltos serán atraídos por los electrodos de distinto signo al propio. Es fundamental el empleo de membranas selectivas aniónicas y catiónicas, alternativamente, para que el agua vaya perdiendo iones negativos y positivos tras su paso por la zona de separación.

#### **2.4.4.4. Adsorción**

La adsorción es un proceso donde un sólido se utiliza para eliminar una sustancia soluble del agua, en este proceso el carbón activo es el sólido.

El carbón activo presenta una gran capacidad de adsorción de un amplio rango de contaminantes (compuestos aromáticos, hidrocarburos, detergentes, pesticidas, colorantes, disolventes clorados, fenoles y derivados de grupos hidroxilos), y son una opción ideal para su aplicación como tratamiento terciario.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante el carbón activo son fáciles de implementar y mantener, ya que incluso se pueden incorporar a sistemas convencionales de depuración. Los sistemas de carbón activo cuentan con la ventaja de controlar los olores de las aguas residuales mejor que otros materiales, contando con dos variaciones, carbón activado en polvo (PAC) y carbón activado granular (GAC). Las dosis de carbón activo en polvo suelen ser menores a 5 mg/L, aunque varía en función de las características de contaminantes y de la calidad final requerida.

El carbón activo en polvo se puede utilizar como coadyuvante en el tratamiento biológico, la mezcla del carbón activo polvo con la biomasa en el tratamiento secundario potencia la actividad de los microorganismos ya que tiene la capacidad de adsorber, retener y ceder oxígeno en su superficie, favoreciendo una mejora en la eliminación de contaminantes orgánicos por medio de la biomasa. Así también, el carbón activo polvo adsorbe sobre su superficie elementos tóxicos como metales pesados.

El carbón activo granular, de modo general, se emplea como tratamiento terciario. El carbón activo granular tiene la capacidad de adsorber relativamente pequeñas cantidades de compuestos orgánicos solubles y compuestos inorgánicos remanentes en las aguas residuales después del tratamiento primario y secundario. Las ventajas de la utilización de este sistema de filtración son que la tecnología es fiable para eliminar compuestos orgánicos disueltos, las necesidades de espacio son reducidas y la adsorción se puede incorporar fácilmente a cualquier instalación de tratamiento de aguas residuales.

Dentro del esquema de depuración, la filtración por carbón activo granular se puede situar posteriormente a la sedimentación secundaria y previo a la desinfección, con ello se consiguen efluentes de alta calidad. El sistema consiste en lechos de carbón activo granular en serie, en paralelo o en lechos móviles, este sistema reduce en aproximadamente un 99 % las cantidades de sustancias biodegradables como sólidos suspendidos y fósforo.

#### **2.4.4.5. Cloración**

La cloración del agua residual es el sistema más sencillo y económico para un tratamiento terciario, es el método de desinfección más ampliamente utilizado en los procesos de potabilización del agua y tratamiento de aguas

residuales, el cloro en sus múltiples formas ha sido usado durante mucho tiempo con propósitos de sanitización del agua, al punto que en la percepción común de la gente es sinónimo de inocuidad bacteriana o incluso de agua potable.

Si se bombea gas cloro en el agua y permanece en contacto con ella se generarán el ion hipoclorito y el ácido hipocloroso, ambos capaces de oxidar y corroer la materia orgánica y los microorganismos. El ácido hipocloroso tiene mayor poder desinfectante que el ion hipoclorito, por lo que elimina patógenos más variados y en menor tiempo. La proporción de ácido hipocloroso e hipoclorito que existe en el agua depende del pH, a pH de 7,5 los dos coexisten en proporción similar, a pH menor predomina el ácido hipocloroso y a pH mayor, el ion hipoclorito.

Una solución de cloro puede matar una población entera de E. coli en poco más de un minuto, lo que es posible en agua cristalina. Sin embargo en agua residual, la desinfección es más complicada y el cloro necesita más tiempo para reaccionar, por lo que se necesita de un depósito exclusivo para realizar la cloración ya que siempre es necesario un tiempo de contacto adecuado del agua clorada para asegurar la desinfección.

## **2.5. Estudio técnico**

El estudio técnico es el instrumento por medio del cual se deben ejercer acciones de evaluación, control y seguimiento en materia de aguas residuales, aguas para reuso y lodos, 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.

El Acuerdo Gubernativo 236-2006 en el artículo 5 establece lo siguiente: 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.

La persona individual o jurídica debe conservar este 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. Este estudio técnico debe ser actualizado cada cinco años.

El estudio técnico será de utilidad a los entes generadores y a las personas que descargan al alcantarillado público, así como a los que reusan aguas residuales, o aquellos encargados del manejo y de la disposición de lodos, para el establecimiento de la línea base de donde deben partir para mejorar y cumplir con las metas que se establecen en el Reglamento.

Además, debe conducir a los entes generadores y personas que estén sujetos al Reglamento a que cuenten con un instrumento con visión de corto, mediano y largo plazo, que les permita orientar sus acciones de mejora continua y a establecer condiciones para medir el desempeño ambiental en la gestión de las aguas residuales, reuso de aguas y disposición de lodos.

Tabla II. Límites máximos de descargas de aguas residuales

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	100	50	25	20
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	30	15	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^8$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^3$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

Fuente: Ministerio de ambiente y recursos naturales. *Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos*. p 10.

### **3. METODOLOGÍA**

La metodología consistió en elaborar un diagnóstico de las características del efluente de aguas residuales por medio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

De acuerdo con la información proporcionada por la empresa y con lo observado dentro de la planta de fabricación de productos farmacéuticos, se determinó que la naturaleza de las aguas residuales tipo especial es proveniente principalmente del lavado de equipos y de las áreas de fabricación. Se estableció el punto y la frecuencia de muestreo, realizándose un muestreo cada quince días hasta completar cinco muestreos. Esto con el fin de obtener datos confiables y representativos y así determinar qué procesos y sistemas pueden ayudar a mejorar la calidad del afluente de aguas residuales. Los muestreos y análisis se llevaron a cabo por un laboratorio externo autorizado y acreditado para realizar muestreos y análisis de aguas residuales.

A continuación se describe la metodología utilizada para la caracterización de las aguas residuales especiales de la planta.

#### **3.1. Variables**

A continuación en las tablas III, IV y V se presentan las variables por muestrear.

Tabla III. **Variable de caudal del efluente de aguas residuales**

No.	Variable	Dimensional	Descripción
	Caudal	m <sup>3</sup> /día	-----

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Variables de parámetros microbiológicos por muestrear**

No.	Variable	Dimensional	Descripción
1	Coliformes fecales	NMP/100mL	-----

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Variables de parámetros fisicoquímicos por muestrear**

No.	Variable	Dimensional	Descripción
1	Temperatura	°C	-----
2	Sólidos suspendidos	mg/L	-----
3	Sólidos sedimentables	mg/L	-----
4	Material flotante	-----	Organoléptico
5	Grasas y aceites	mg/L	-----
6	Potencial de hidrógeno	-----	pH
7	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L - O <sub>2</sub>	-----
8	Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L - O <sub>2</sub>	-----
9	Nitrógeno total	mg/L - N	-----
10	Fósforo total	mg/L - P	-----
11	Color	u Pt - Co	Unidades de platino - cobalto
12	Arsénico	mg/L	-----
13	Cadmio	mg/L	-----
14	Cianuro total	mg/L	-----
15	Cobre	mg/L	-----
16	Cromo hexavalente	mg/L	-----
17	Mercurio	mg/L	-----
18	Níquel	mg/L	-----
19	Plomo	mg/L	-----
20	Zinc	mg/L	-----

Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Delimitación de campo de estudio**

A continuación se describe la limitación del campo de estudio para este trabajo de graduación.

#### **3.2.1. Obtención de las muestras de análisis**

Las muestras se obtuvieron de la caja de registro que corresponde al punto de descarga de aguas residuales tipo especial de la planta de producción de productos farmacéuticos.

#### **3.2.2. Análisis instrumental**

Los análisis de las muestras se realizaron por un laboratorio químico externo autorizado y acreditado para realizar dichos análisis y utilizando métodos normalizados para el análisis de aguas residuales conforme a la norma Coguanor NTG/ISO/IEC/17025

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

- Practicante: Estefany Mishel Morales García.
- Asesor técnico: Inga. Qca. Claudia Calderón.
- Supervisor: Ing. Qco. Alejandro Recinos
- Personal del laboratorio ANALISA

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

A continuación en las tablas VI y VII se detallán los materiales disponibles para el estudio en cuestión.

Tabla VI. **Equipos y materiales para la medición de caudal**

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Descripción</b>
2	Recipientes plásticos	Aforado a 1 litro
1	Cronómetro	

Fuente: elaboración propia

Tabla VII. **Materiales y equipo para el muestreo**

<b>Cantidad</b>	<b>Material y equipo</b>	<b>Descripción</b>
1	Recipiente de vidrio con tapadera	Capacidad de 2 litros
1	Recipiente de plástico con tapadera	Capacidad de 5 litros
1	Hielera	
8	Bolsas de gel congelado	Para mantener la temperatura en la hielera a 4°C aproximadamente.

Fuente: elaboración propia

### 3.5. Técnica cualitativa y cuantitativa

Para el desarrollo de este estudio se utilizaron dos técnicas, cuantitativa y cualitativa, como se describen a continuación.

#### 3.5.1. Cualitativa

- Medición de caudal: la medición de caudal se realizó manualmente, llenando el recipiente aforado a un litro y anotando el tiempo que tardó

este en llenarse. Esto se realizó cada hora durante la jornada de nueve horas de trabajo de la planta.

- Material flotante: este fue el único parámetro fisicoquímico en el que se utilizó una técnica cualitativa, ya que la determinación de materia flotante fue visual.

### 3.5.2. Cuantitativa

En todos los parámetros de caracterización de aguas residuales, excepto el parámetro de material flotante, se utilizaron técnicas cuantitativas de acuerdo con metodologías descritas en el libro de *Métodos estándar*. Las metodologías son las siguientes:

Tabla VIII. **Metodologías de análisis cualitativos y cuantitativos**

Parámetro	Metodología	Nombre de método
Temperatura	STM 2550 B	Métodos de laboratorio y de campo
Sólidos suspendidos	STM 2540 D	Sólidos en suspensión totales secados entre 103°C-105°C
Sólidos sedimentables	STM 2540 F	Sólidos sedimentables
Material flotante	Organoléptico	
Grasas y aceites	STM 5520 B	Método de partición gravimétrico
Potencial de hidrógeno	STM 2310 A	Acidez
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	STM 5210 B	Prueba de DBO 5 días
Demanda química de oxígeno (DQO)	STM 5220 D	Reflujo cerrado, método colorimétrico
Nitrógeno total	Spectroquant Merk 14773	
Fósforo total	STM 4500-P E	Método del ácido ascórbico
Color	STM 2120 C	Método espectrofotométrico
Arsénico	STM 3114 C	Generación de hidruro continuo / método espectrofotométrico de absorción atómica

Continuación de la tabla VIII.

Cadmio, cobre, cromo, níquel, plomo y zinc	STM 3111 B	Método directo de llama de aire-acetileno
Cianuro total	Spectroquant 14561 = EN ISO 14403	
Coliformes fecales	STM 9221 C	Estimación de la densidad bacteriana

Fuente: elaboración propia, cotización de laboratorio externo.

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

La recolección de los datos se llevó a cabo en las cajas de registro para la toma de muestras y el ordenamiento de los datos obtenidos se realizó en tablas de elaboración propia.

#### **3.6.1. Técnica de recolección de la información**

Los muestreos se realizaron de forma manual. Se tomaron muestras simples a cada hora durante la jornada de nueve horas de trabajo y estas se unificaron para conformar una muestra compuesta.

La medición de caudal también se realizó de forma manual. Se realizó un muestreo a cada quince días durante dos meses y medio, llegándose a completar cinco muestreos.

### **3.7. Análisis estadístico**

En las tablas de la IX a la XIII se presentan a detalle los análisis estadísticos.

Tabla IX. **Media aritmética de los parámetros de caracterización**

<b>Parámetro</b>	<b>Media aritmética</b>
Temperatura	23,50
pH	7.40
DQO (mg/L)	2332,40
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	620,40
Sólidos en suspensión (mg/L)	517,12
Grasas y aceites (mg/L)	56,92
Color Pt/Co	905,00
Nitrógeno (mg/L)	42,60
Fósforo (mg/L)	3,72
Coliformes fecales (NMP/100mL)	18,64x10 <sup>5</sup>

Fuente: elaboración propia, datos calculados, apéndice 1.

Tabla X. **Varianza de los parámetros de caracterización**

<b>Parámetro</b>	<b>Varianza</b>
Temperatura	1,47
pH	0,21
DQO (mg/L)	57,35x10 <sup>5</sup>
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	19,30x10 <sup>4</sup>
Sólidos en suspensión (mg/L)	45,36x10 <sup>4</sup>
Grasas y aceites (mg/L)	45,84x10 <sup>2</sup>
Color Pt/Co	80,88x10 <sup>4</sup>
Nitrógeno (mg/L)	21,52x10 <sup>2</sup>
Fósforo (mg/L)	15,91
Coliformes fecales (NMP/100mL)	13,45x10 <sup>12</sup>

Fuente: elaboración propia, datos calculados, apéndice 1.

Tabla XI. **Desviación estándar de los parámetros de caracterización**

<b>Parámetro</b>	<b>Desviación estándar</b>
Temperatura	1,21
pH	0,45
DQO (mg/L)	2394,86
DBO5 (mg/L)	439,39
Sólidos en suspensión (mg/L)	673,51
Grasas y aceites (mg/L)	67,70
Color Pt/Co	899,36
Nitrógeno (mg/L)	46,39
Fósforo (mg/L)	3,98
Coliformes fecales (NMP/100mL)	3.66x10 <sup>6</sup>

Fuente: elaboración propia, datos calculados, apéndice 1.

Tabla XII. **Coefficiente de variación de los parámetros de caracterización**

<b>Parámetro</b>	<b>CV</b>
Temperatura	0.05
pH	0.06
DQO (mg/L)	1.02
DBO5 (mg/L)	0.71
Sólidos en suspensión (mg/L)	1.30
Grasas y aceites (mg/L)	1.19
Color Pt/Co	0.99
Nitrógeno (mg/L)	1.09
Fósforo (mg/L)	1.07
Coliformes fecales (NMP/100mL)	1.97

Fuente: elaboración propia, datos calculados, apéndice 1.

Tabla XIII. **Análisis estadístico de la relación DBO5/DQO**

<b>Media aritmética</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Coefficiente de variación</b>
0,27	0,04	0,20	0,74

Fuente: elaboración propia, datos calculados, apéndice 1.



## 4. RESULTADOS

Tabla XIV. **Caracterización de efluente de aguas residuales tipo especial**

Parámetro	Número de muestreo				
	1	2	3	4	5
Temperatura	25,8	23,6	23,01	22,6	22,5
pH	7,53	7,69	7,4	7,85	6,54
DQO (mg/L)	1 580	1 125	705	7 090	1162
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	880	620	152	1 298	152
Materia flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos en suspensión (mg/L)	161,4	132,2	77	1850	365
Grasas y aceites (mg/L)	8	10,8	26,8	189	50
Color Pt/Co	1376	39	220	2450	440
Nitrógeno (mg/L)	16	11	44	132	< 10
Fósforo (mg/L)	0,7	0,2	3,4	11,3	< 3
Coliformes fecales (NMP/100mL)	2,8x10 <sup>4</sup>	7,9x10 <sup>4</sup>	7,9x10 <sup>4</sup>	9,2x10 <sup>6</sup>	1,7x10 <sup>4</sup>

Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Tabla XV. **Promedio de los parámetros muestreados de aguas residuales tipo especial**

Parámetro	Promedio
Temperatura (°C)	23,50
pH	7,40
DQO (mg/L)	2 332,40
DBO (mg/L)	620,40
Materia flotante	Ausente
Sólidos en suspensión (mg/L)	517,12
Grasas y aceites (mg/L)	56,92
Color Pt/Co	905
Nitrógeno (mg/L)	50,75
Fósforo (mg/L)	3,90
Coliformes fecales (NMP/100mL)	1.8x10 <sup>6</sup>

Fuente: elaboración propia, datos calculados, apéndice 1.

Tabla XVI. **Resultados de metales pesados en efluente de aguas residuales**

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>
Cadmio (mg/L)	< 0,010
Cianuro (mg/L)	< 0,010
Cobre (mg/L)	0,057
Cromo (mg/L)	< 0,60
Níquel (mg/L)	< 0,30
Plomo (mg/L)	< 0,060
Zinc (mg/L)	0,163
Arsénico (mg/L)	0,010
Mercurio (mg/L)	< 0,00065

Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Tabla XVII. **Caudal del efluente de aguas residuales tipo especial**

<b>No. de muestreo</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Caudal, proyectado a 9 horas de descarga (m<sup>3</sup>/día)</b>
1	0,060	1,944
2	0,060	1,944
3	0,082	2,656
4	0,135	4,374
5	0,127	4,114

Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Tabla XVIII. **Caudal mínimo, máximo y promedio del afluente de aguas residuales**

<b>Unidades</b>	<b>Caudal mínimo</b>	<b>Caudal promedio</b>	<b>Caudal máximo</b>
<b>(L/s)</b>	0,060	0,09	0,135
<b>(m<sup>3</sup>/día)</b>	1,944	3,00	4,374

Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Tabla XIX. **Cargas de DBO<sub>5</sub> y de DQO**

No. de muestreo	Cargas (Kg/día)	
	DBO <sub>5</sub>	DQO
1	1,710	3,071
2	1,200	2,187
3	0,403	1,872
4	5,677	31,011
5	0,625	4,780

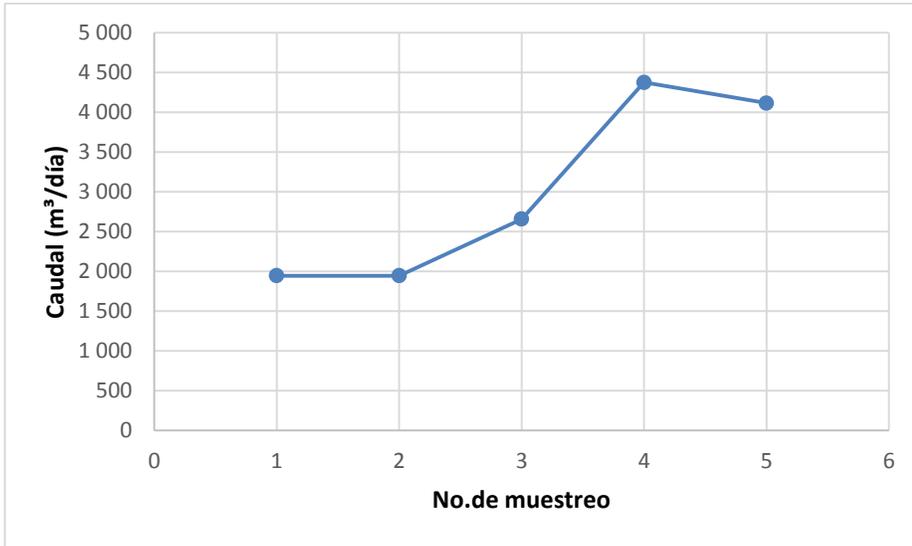
Fuente: elaboración propia, datos calculados, apéndice 1.

Tabla XX. **Relación DBO<sub>5</sub>/DQO**

No. de muestreo	DBO <sub>5</sub> /DQO
1	0,6
2	0,6
3	0,2
4	0,2
5	0,1
Promedio	0,3

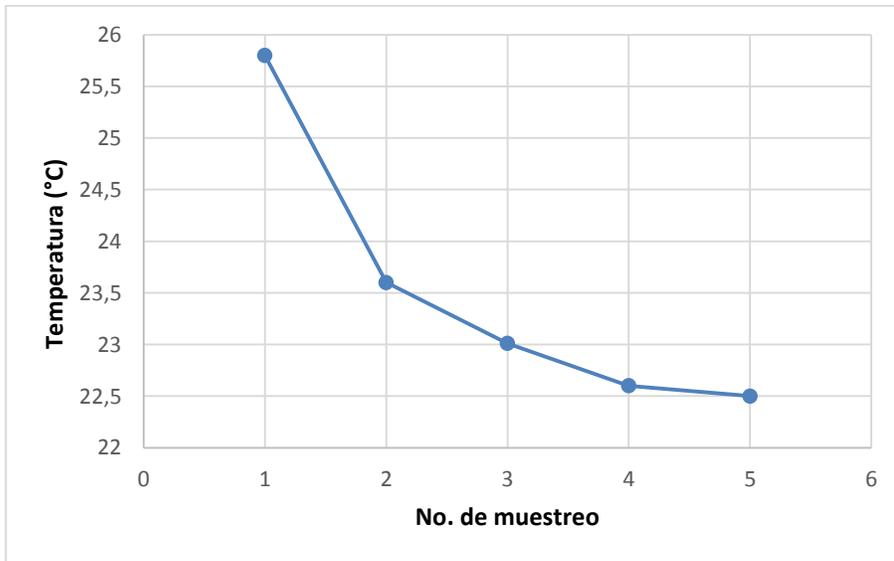
Fuente: elaboración propia, datos calculados, apéndice 1.

Figura 7. **Monitoreo de caudal en el efluente de aguas residuales**



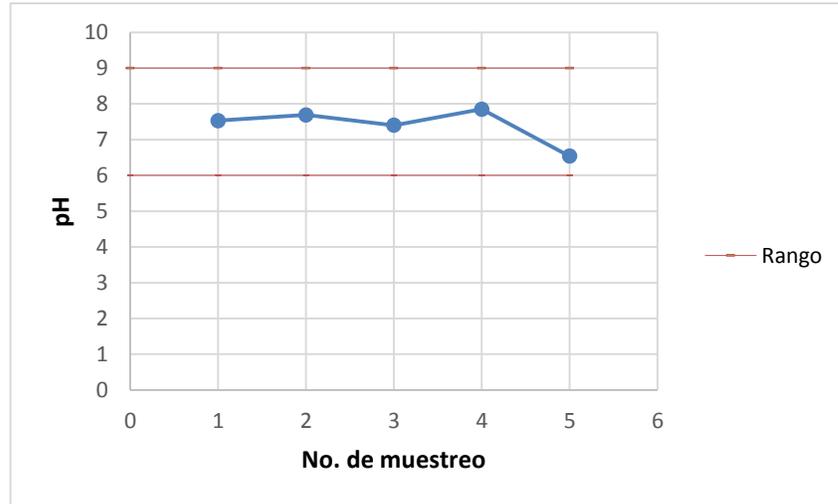
Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Figura 8. **Monitoreo de temperatura en el efluente de aguas residuales**



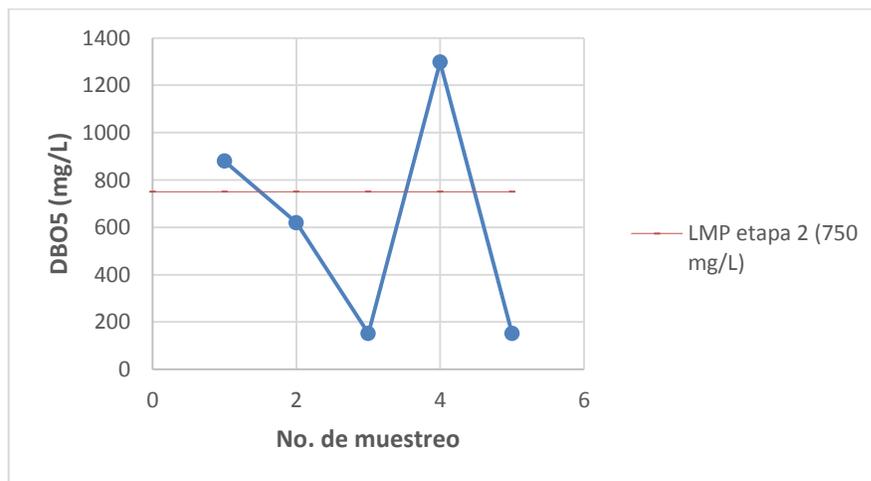
Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Figura 9. **Monitoreo de potencial de hidrógeno en el efluente de aguas residuales**



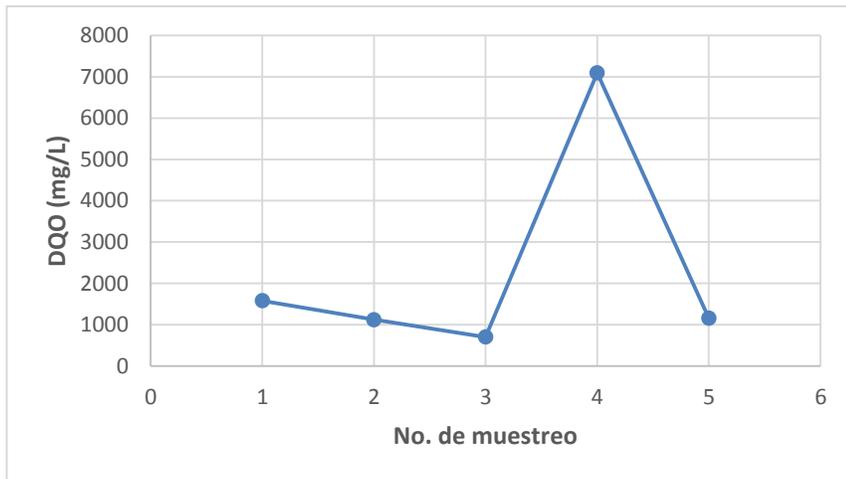
Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Figura 10. **Monitoreo de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en el efluente de aguas residuales**



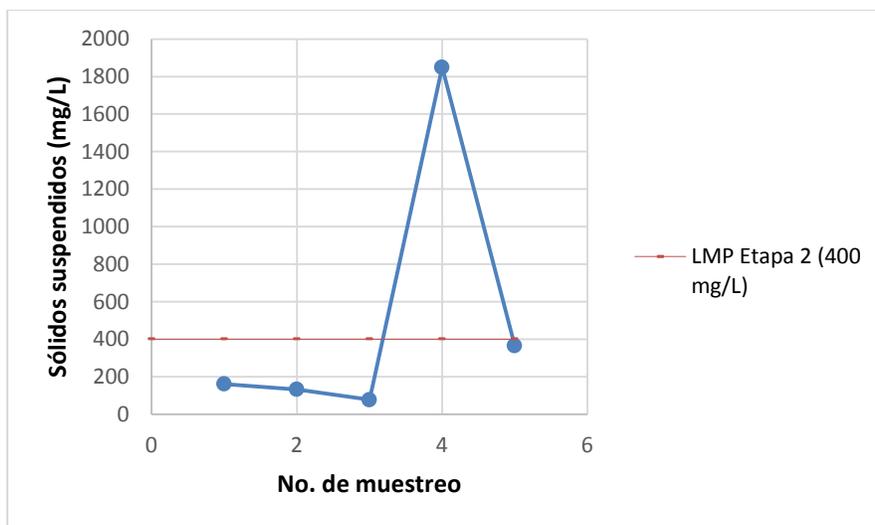
Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Figura 11. **Monitoreo de demanda química de oxígeno (DQO) en el efluente de aguas residuales**



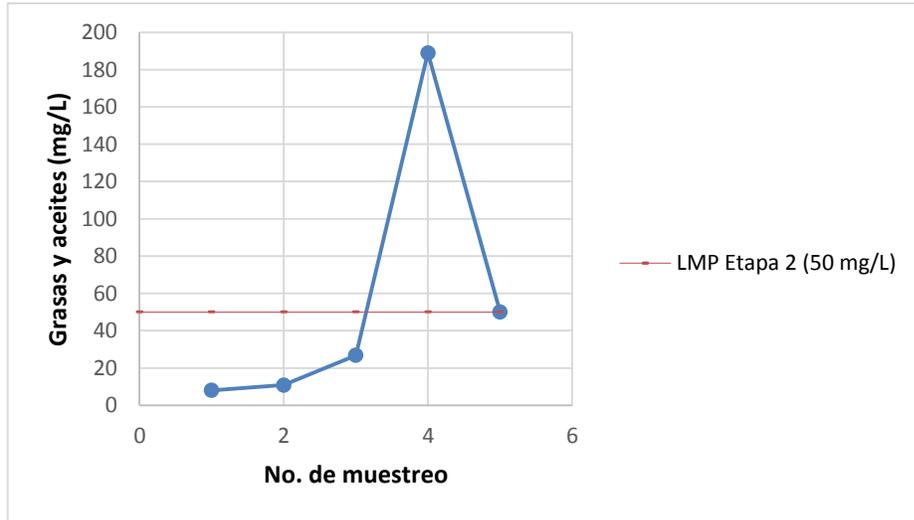
Fuente: Elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Figura 12. **Monitoreo de sólidos suspendidos en el efluente de aguas residuales**



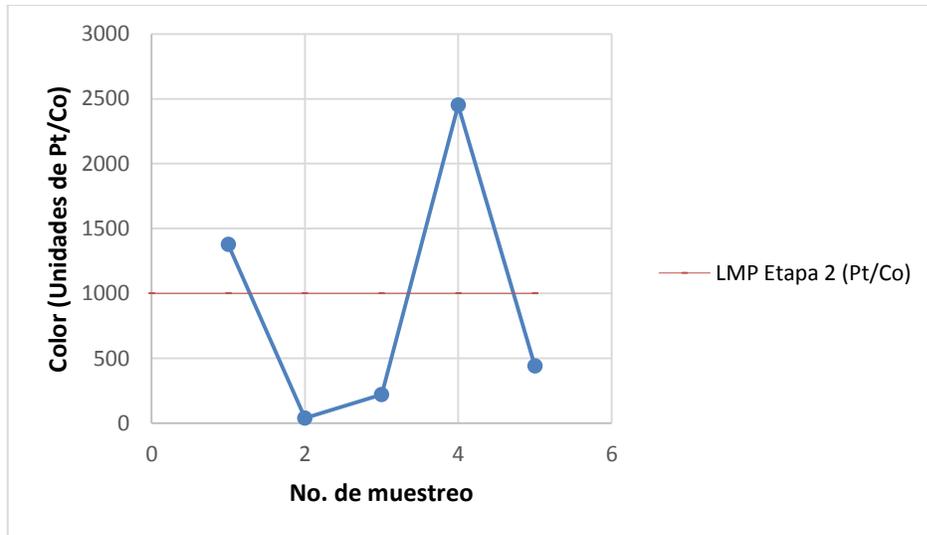
Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Figura 13. **Monitoreo de grasas y aceites en el efluente de aguas residuales**



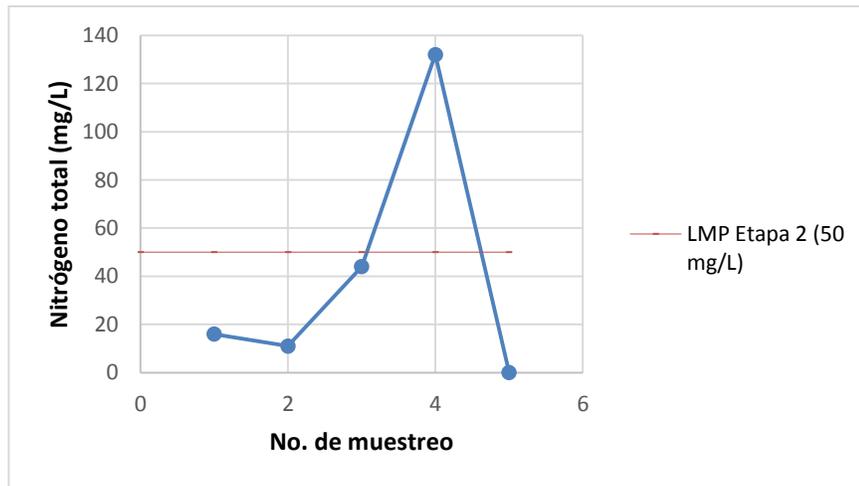
Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Figura 14. **Monitoreo de color en el efluente de aguas residuales**



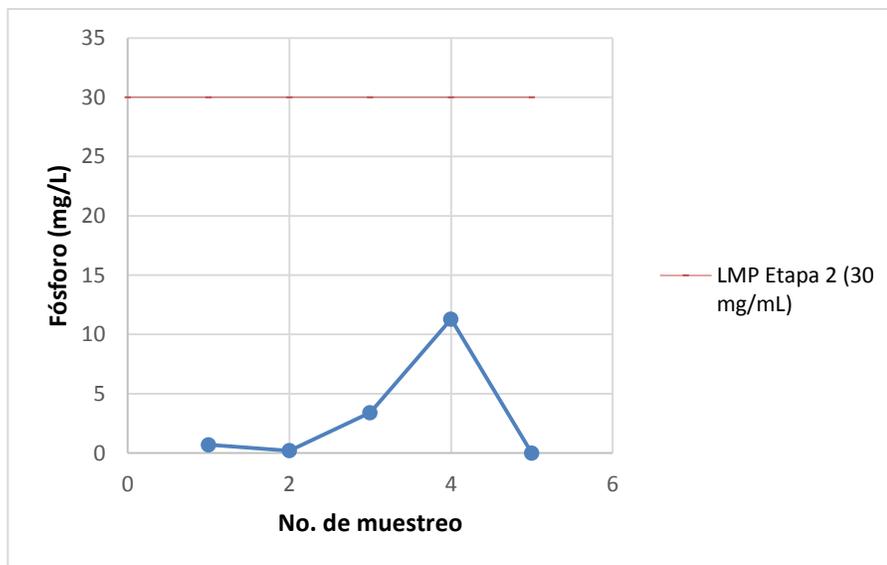
Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Figura 15. **Monitoreo de nitrógeno total en el efluente de aguas residuales**



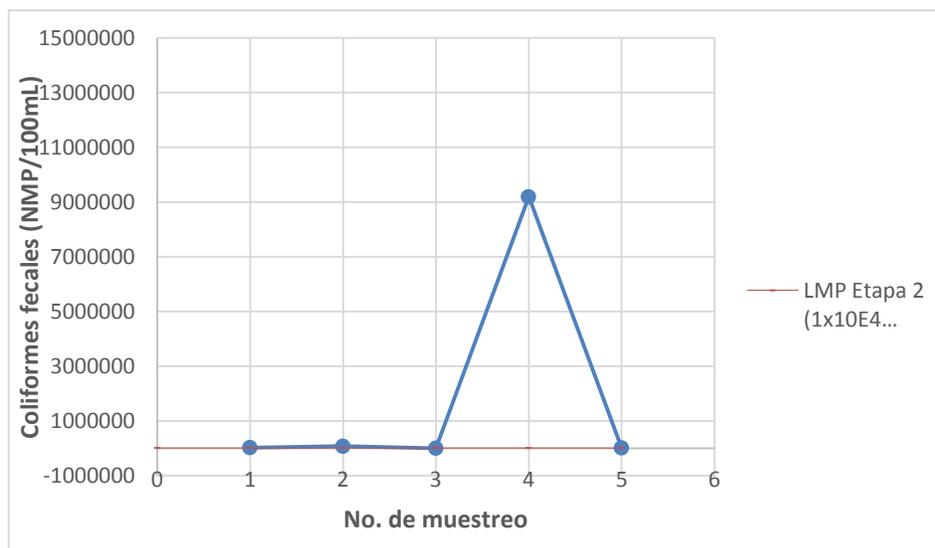
Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Figura 16. **Monitoreo de fósforo en el efluente de aguas residuales**



Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Figura 17. **Monitoreo de coliformes fecales en el efluente de aguas residuales**



Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Tabla XXI. **Cumplimiento del muestreo 1 con el Acuerdo Gubernativo 236-2006**

Parámetro	Resultado	Valor inicial	Etapa			
			1	2	3	4
Temperatura	25,8		Green	Green	Green	Green
pH	7,53		Green	Green	Green	Green
Materia flotante	Ausente		Green	Green	Green	Green
Sólidos en suspensión (mg/L)	161,4		Green	Green	Red	Red
Grasas y aceites (mg/L)	8,0		Green	Green	Green	Green
Color Pt/Co	1 376,0		Red	Red	Red	Red
Nitrógeno (mg/L)	16,0		Green	Green	Green	Green
Fósforo (mg/L)	0,7		Green	Green	Green	Green
Coliformes fecales (NMP/100mL)	2,8x10 <sup>4</sup>		Green	Green	Red	Red

Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Tabla XXII. **Cumplimiento del muestreo 2 con el Acuerdo Gubernativo 236-2006**

Parámetro	Resultado	Valor inicial	Etapa			
			1	2	3	4
Temperatura	23,6					
pH	7,69					
Materia flotante	Ausente					
Sólidos en suspensión (mg/L)	132,2					
Grasas y aceites (mg/L)	10,8					
Color Pt/Co	39,0					
Nitrógeno (mg/L)	11,0					
Fósforo (mg/L)	0,2					
Coliformes fecales (NMP/100mL)	7,9x10 <sup>4</sup>					

Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Tabla XXIII. **Cumplimiento del muestreo 3 con el Acuerdo Gubernativo 236-2006**

Parámetro	Resultado	Valor inicial	Etapa			
			1	2	3	4
pH	7,4					
Materia flotante	Ausente					
Sólidos en suspensión (mg/L)	77,0					
Grasas y aceites (mg/L)	26,8					
Color Pt/Co	220					
Nitrógeno (mg/L)	44,0					
Fósforo (mg/L)	3,4					
Coliformes fecales (NMP/100mL)	70					

Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Tabla XXIV. **Cumplimiento del muestreo 4 con el Acuerdo Gubernativo 236-2006**

Parámetro	Resultado	Valor inicial	Etapa			
			1	2	3	4
pH	7,85					
Materia flotante	Ausente					
Sólidos en suspensión (mg/L)	1 850,0					
Grasas y aceites (mg/L)	189,0					
Color Pt/Co	2 450,0					
Nitrógeno (mg/L)	132,0					
Fósforo (mg/L)	11,3					
Coliformes fecales (NMP/100mL)	9,2x10 <sup>6</sup>					

Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Tabla XXV. **Cumplimiento del muestreo 5 con el Acuerdo Gubernativo 236-2006**

Parámetro	Resultado	Valor inicial	Etapa			
			1	2	3	4
pH	6,54					
Materia flotante	Ausente					
Sólidos en suspensión (mg/L)	365					
Grasas y aceites (mg/L)	50					
Color Pt/Co	440					
Nitrógeno (mg/L)	< 10					
Fósforo (mg/L)	< 3					
Coliformes fecales (NMP/100mL)	1,7x10 <sup>4</sup>					

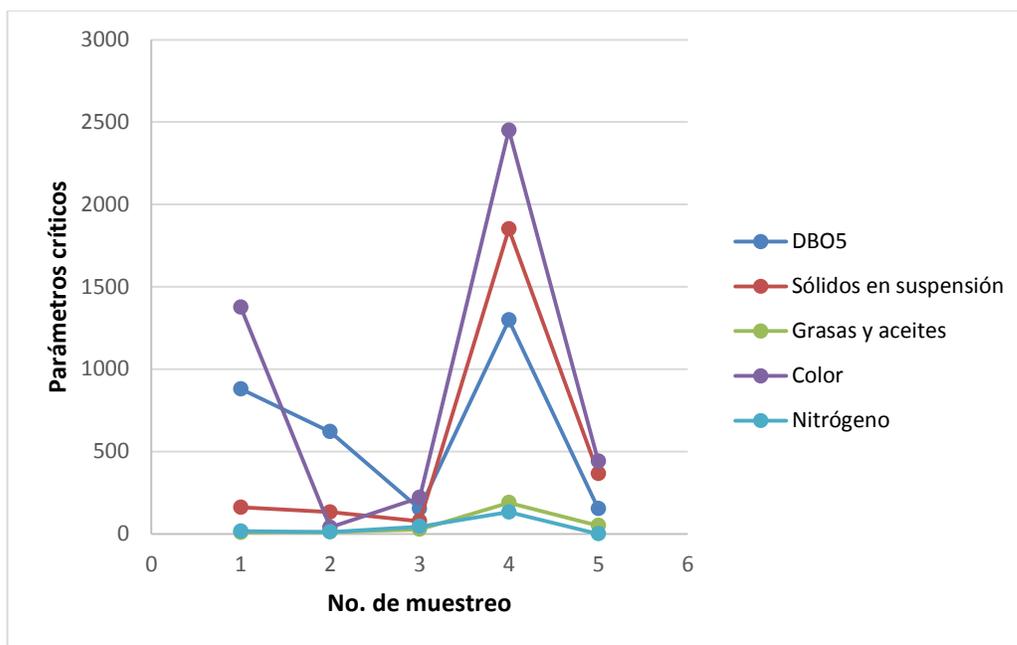
Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Tabla XXVI. **Cumplimiento de metales pesados con el Acuerdo Gubernativo 236-2006**

Parámetro	Resultado	Valor inicial	Etapa			
			1	2	3	4
Cianuro (mg/L)	< 0,010					
Cobre (mg/L)	0,057					
Cromo (mg/L)	< 0,60					
Níquel (mg/L)	< 0,30					
Plomo (mg/L)	< 0,060					
Zinc (mg/L)	0,163					
Arsénico (mg/L)	0,010					
Mercurio v	< 0,00065					

Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Figura 18. **Comparación de los parámetros críticos entre los diferentes muestreos realizados**



Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Tabla XXVII. **Parámetros críticos en cada muestreo realizado**

Etapa	Muestreo				
	1	2	3	4	5
<b>No cumple etapa actual</b>	DBO, DQO, color	DBO, DQO	DQO	DBO, DQO, sólidos en suspensión, grasas y aceites, color, nitrógeno.	DQO, grasas y aceites
<b>No cumple cuarta etapa</b>	Sólidos en suspensión	Sólidos en suspensión, grasas y aceites	Grasas y aceites, nitrógeno	Fósforo	Sólidos en suspensión

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Valor mínimo, máximo y promedio de parámetros críticos**

Parámetros críticos	Valor mínimo	Valor promedio	Valor máximo
Sólidos en suspensión (mg/L)	77	517,12	1,85
Grasas y aceites (mg/L)	8	56,92	189
Color Pt/Co	39	905	2,45
Nitrógeno (mg/L)	< 10	50,75	132
Coliformes fecales (NMP/100mL)	70	1,8 x 10 <sup>6</sup>	9,2x10 <sup>6</sup>
Demanda bioquímica de oxígeno DBO <sub>5</sub> (mg/L)	152	620,4	1,298
Demanda química de oxígeno DQO (mg/L)	705	2 332,4	7 090

Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de laboratorio, apéndice 3.

Tabla XXIX. **Áreas en las que se realizó limpieza los días de los muestreos**

Área	Muestreo				
	1	2	3	4	5
Granulación/ Secado	No hubo limpieza	Tabletas	Tabletas, polvo color rojo	No hubo limpieza	Tabletas, polvo color naranja
Tableteado I	No hubo limpieza	No hubo limpieza	No hubo limpieza	No hubo limpieza	Tabletas, polvo color naranja
Tableteado II	Tabletas	No hubo limpieza	Tabletas	Tabletas	No hubo limpieza
Recubrimiento	Rojo	No hubo limpieza	No hubo limpieza	No hubo limpieza	No hubo limpieza
Mezclado	Tabletas	Polvo con colorante color rojo	No hubo limpieza	No hubo limpieza	Tabletas, polvo color naranja
Fabricación de líquidos	Jarabe con colorante verde	Suspensión	No hubo limpieza	Jarabe con colorante color verde	No hubo limpieza
Llenado I	Jarabe con colorante verde	Suspensión	No hubo limpieza	Jarabe con colorante color verde	No hubo limpieza
Llenado II	No hubo limpieza	No hubo limpieza	No hubo limpieza	No hubo limpieza	No hubo limpieza
Llenado III	No hubo limpieza	Suspensión	No hubo limpieza	No hubo limpieza	No hubo limpieza
Semisólidos	No hubo limpieza	No hubo limpieza	Lubricante	Crema	Crema

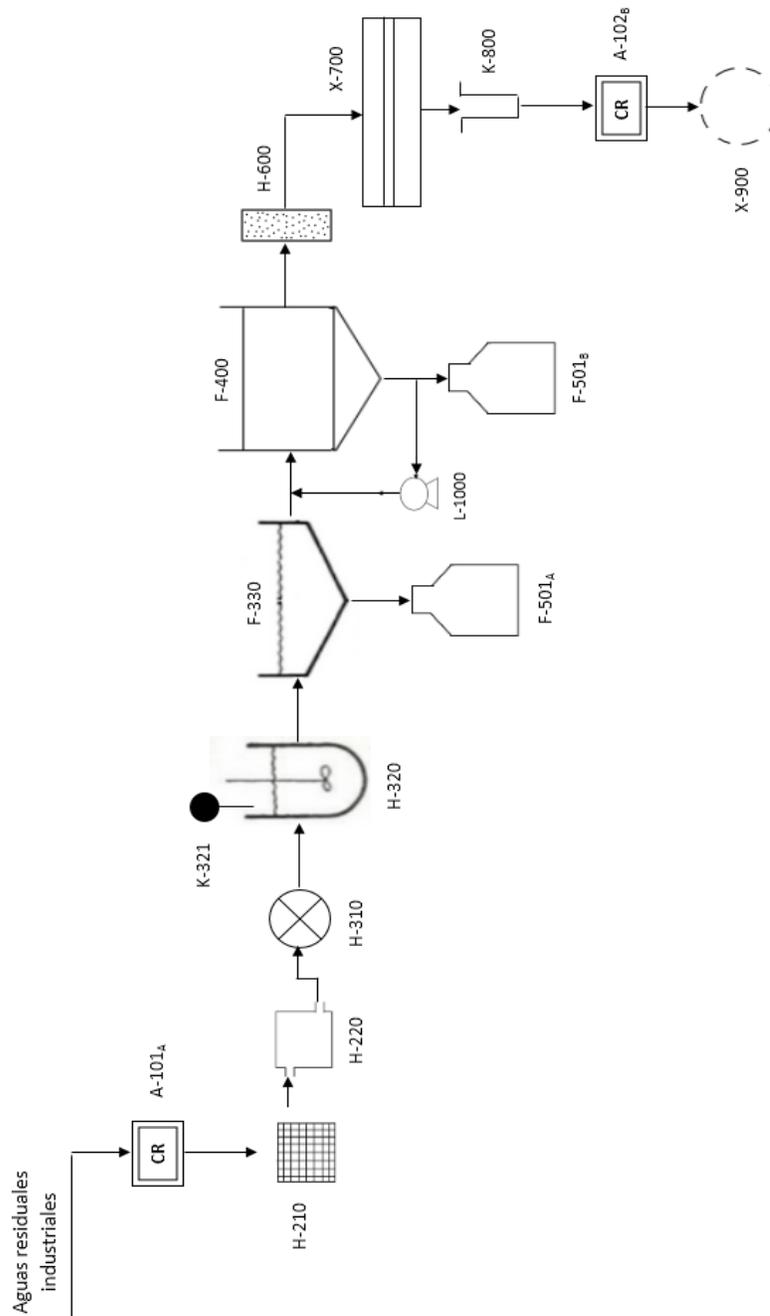
Fuente: elaboración propia

Tabla XXX. **Código de colores de las tablas**

Color	Significado
	Cumple
	No cumple

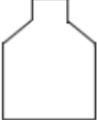
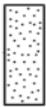
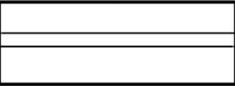
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Propuesta de tratamiento de aguas residuales tipo especial de la planta**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Nombre, simbología y codificación del sistema propuesto**

Nombre	Simbología	Codificación
Caja de registro		A-100 <sub>A-B</sub>
Rejillas		H-210
Trampa de grasas		H-220
Trampa de sólidos		H-310
Tanque homogeneizador		H-320
Medidor de pH		K-321
Tanque sedimentador		F-330
Tanque colector de lodos		F-500 <sub>A-B</sub>
Tanque discontinuo secuencial (SBR)		F-400
Filtro de carbón activado		H-600
Clorador		X-700
Medidor de caudal (Vertedero)		K-800
Pozo de absorción		X-900

Fuente: elaboración propia

## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la determinación de la calidad del efluente de aguas residuales especiales se evaluaron los parámetros de temperatura, potencial de hidrógeno, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, material flotante, sólidos en suspensión, grasas y aceites, color, nitrógeno, fósforo y coliformes fecales. Los resultados de los cinco muestreos realizados se encuentran resumidos en la tabla XIV. En esta tabla se puede realizar una comparación numérica del valor obtenido de los parámetros en cada muestreo, los resultados variaron dependiendo del producto que se estuviera fabricando el día de los muestreos, es importante destacar que los días que se fabricaron productos con materias primas similares se obtuvieron resultados similares.

Se estableció un punto de muestreo donde las muestras tomadas fueran representativas, el estudio se realizó en un solo punto debido a que este punto era el único de fácil acceso y así también en este punto se encontraban mezcladas las aguas residuales provenientes de las distintas áreas de la planta.

Se realizó un análisis de metales pesados en el primer muestreo, entre estos cadmio, cianuro, cobre, cromo, níquel, plomo, zinc, arsénico y mercurio, esto con el objetivo de descartar la presencia de estos metales en las aguas residuales de la planta. En la tabla VXI se encuentran los resultados obtenidos de las concentraciones de los metales, en todos los metales a excepción del zinc y el arsénico, el resultado es menor al límite de detección del método de análisis, por lo cual se puede decir que no hay presencia de estos componentes en las aguas residuales o si la hay, la concentración de estos es muy baja ya que no se detectaron. Por el tipo de industria y tomando en cuenta las fichas

técnicas de las materias primas que se utilizan para la fabricación de productos se suponía que no habría residuos de metales pesados y esto se confirmó con los resultados de los análisis, por lo tanto, no fue necesario seguir analizando la presencia de metales pesados en los cuatro monitoreos restantes.

Se determinó el caudal total de descarga del afluente, en la tabla XVII se presenta el caudal promedio de cada jornada de muestreo, también se encuentra una estimación del caudal en  $m^3$  /día proyectado a nueve horas de descarga. Es importante mencionar que el origen del agua residual de la planta es proveniente, principalmente, de la limpieza de áreas y de equipos de trabajo, por lo tanto, el caudal depende de la cantidad de áreas y de equipos que se laven durante el día. En la tabla XVIII se encuentran el caudal mínimo, promedio y máximo del efluente de aguas residuales.

La medición de caudal es de suma importancia para determinar la cantidad de flujo de aguas residuales por tratar y en base a este dato establecer la capacidad de los equipos del sistema de tratamiento, para esto se recomienda utilizar el caudal máximo.

En la figura 7 se puede visualizar cómo varía el caudal en cada día de muestreo, registrándose un mayor caudal en el cuarto muestreo, esto se debe a que ese día se fabricaron tres productos, entre ellos una crema, por lo tanto para la limpieza de esta área y este equipo se requiere un mayor volumen de agua por su alto contenido en grasas y aceites. La descripción de producto fabricado se encuentra en la tabla XXIX. Se registra un menor caudal en el muestreo uno y dos, en estos días se fabricaron jarabes y tabletas, en base a la gráfica y a la tabla mencionada con anterioridad se puede establecer que el caudal es mayor cuando se lava el área y equipo de semisólidos, ya que en el

muestreo tres, cuatro y cinco se registra un caudal más grande en comparación con el primer y segundo muestreo.

En la figura 8 se puede observar el comportamiento de la temperatura en los cinco muestreos, los valores están próximos a la temperatura ambiente, por lo que se considera aceptable y que cumple con el límite máximo permisible que estipula el reglamento. En la figura 9 que corresponde al monitoreo del potencial de hidrógeno se observa que los datos obtenidos se encuentran dentro del rango establecido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, el cual es de 6 a 9, por lo tanto, se cumple con este parámetro.

Para determinar si el  $\text{DBO}_5$  cumple con lo establecido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 se comparó este resultado con dos criterios, carga y parámetro de calidad asociado. Respecto del elemento de carga se cumple con lo establecido en el acuerdo ya que se registran cargas menores a 300 Kg/día. En la tabla XIX se pueden observar estos resultados. Con el parámetro de calidad asociado también cumple, ya que en promedio se tienen valores de  $\text{DBO}_5$  menores a 750 mg/mL. Se puede visualizar el comportamiento de estos resultados en la figura 10, los puntos bajo la línea roja son los muestreos en los que se cumple con el reglamento, en el cuarto muestreo se obtiene un valor alto de  $\text{DBO}_5$ , esto se debe a la elevada cantidad de materia orgánica en las aguas residuales. Para la DQO se observa el mismo comportamiento que en la  $\text{DBO}_5$ , figura 11, para estos dos parámetros el comportamiento no es constante, ya que en algunos muestreos el resultado obtenido es una concentración baja y en otros es elevada, esto se debe a que no todos los días se fabrica la misma forma farmacéutica ni el mismo producto, por lo que hay una gran variación en estos parámetros.

En la figura 12 de sólidos suspendidos se observa un comportamiento constante que cumple con la etapa actual, a excepción del cuarto muestreo que el análisis revela que ese día hubo una gran cantidad de sólidos en suspensión en las aguas residuales, esto provocó a su vez que los valores de DBO<sub>5</sub> y DQO en ese día también fueran elevados.

Con base a la figura 13 que corresponde al monitoreo de grasas y aceites y la tabla XXIX donde se encuentran resumidas las actividades de la planta en los días de los muestreos, se puede establecer que el contenido de grasas y aceites en las aguas residuales se eleva cuando se lavan áreas y equipos de semisólidos después de la fabricación de lotes industriales.

Así también, con base a la tabla antes mencionada y a la figura 14 se puede establecer que los valores de color son altos cuando se lavan áreas donde se hayan fabricado productos que contengan en su fórmula el colorante verde esmeralda, ya sea que se haya utilizado en la fabricación de jarabes o en recubrimiento de tabletas.

En las figuras 15 y 16 se puede observar el comportamiento de los resultados de nitrógeno y fósforo, respectivamente. Los residuos de nitrógeno en las aguas residuales de la planta provienen de las composiciones de algunas materias primas que se utilizan en la fabricación de productos, especialmente, principios activos. Otra fuente es el jabón que se utiliza para limpieza, ya que contiene un bajo porcentaje de nitrógeno. En el caso del nitrógeno no se cumple con lo establecido en el reglamento para el cuarto muestreo, esto se debe a que ese día se fabricaron tres productos de los cuales los tres contienen nitrógeno en la composición de la molécula de sus principios activos. Respecto del fósforo se cumple con el límite máximo permisible establecido en el reglamento.

En la figura 17 se puede observar el comportamiento de los resultados de coliformes fecales. Para el cuarto muestreo no se cumple con el límite máximo permisible establecido, en estas aguas residuales por ser de tipo especial, se considera crítica la cantidad de coliformes fecales que contienen. Esto podría deberse a la falta de limpieza y sanitización de tuberías y cajas de registro.

De la tabla XXI a la tabla XXVI se encuentra la comparación de los resultados de los parámetros de estudio de cada muestreo con cada etapa de cumplimiento y se especifica si cumple o no con límites máximos permisibles. Con base a estas tablas se establece que los puntos críticos son  $DBO_5$ , DQO, color, grasas y aceites, sólidos en suspensión y coliformes fecales. Se determina también que la etapa del proceso productivo que tiene mayor influencia en la generación de contaminantes es la limpieza, ya que es la etapa en la que se produce mayor volumen de aguas residuales.

Debido a que la concentración de estos parámetros críticos presentes en el efluente exceden los límites máximos permisibles se hace necesaria la implementación de un sistema de tratamiento para mejorar la calidad del efluente. Para determinar si es factible la implementación de un tratamiento biológico se utilizó la relación  $DBO_5/DQO$ , la cual indica que si la relación es menor a 0,2 no es factible un tratamiento biológico, si la relación se encuentra entre 0,2 y 0,4 es factible un tratamiento biológico y si la relación es mayor a 0,4 el efluente es bastante biodegradable por lo que se ajusta de manera adecuada un tratamiento biológico. Los resultados de esta relación se pueden ver en la tabla XX, cuatro de los cinco resultados son mayores a 0,2, en promedio se tiene una relación de 0,26, por lo tanto, es factible la implementación de un tratamiento biológico ya que el efluente presenta una biodegradabilidad adecuada.

La planta de tratamiento de aguas residuales propuesta se encuentra esquematizada en la figura 19, el cual está conformado de la siguiente manera: Se inicia con un corto pretratamiento de rejillas para retener basura y material sólido grueso. Seguidamente como tratamiento primario se encuentran la trampa de sólidos y la trampa de grasas para disminuir los niveles de sólidos en suspensión y de grasas y aceites, así también en el tratamiento primario se encuentra un tanque homogenizador donde se llevará a cabo el ajuste de pH a un rango adecuado para el tratamiento secundario. La elección del tratamiento biológico o secundario se basa en espacio disponible, costos y manejo del equipo, por lo que se plantea la implementación de un reactor biológico secuencial SBR el cual es una variante optimizada de la tecnología convencional de lodos activados. Este sistema consta al menos de cuatro procesos que se llevan a cabo en un mismo equipo, esto conlleva un ahorro de espacio y un ahorro económico debido a que se hace innecesaria la instalación de más equipos. Otra razón por la cual se propone este equipo es que remueve de forma directa  $DBO_5$ , DQO, nitrógeno y sólidos suspendidos los cuales son parámetros críticos para el cumplimiento de reglamento, así también regula condiciones de pH y temperatura y puede remover una fracción de grasas, aceites y color. Para finalizar, como tratamiento terciario se propone la instalación de un filtro de carbón activado para disminuir el color y la instalación de un clorador para la disminución de la concentración de coliformes fecales.

En el análisis estadístico, en los parámetros que presentan actividad biológica,  $DBO_5$ , DQO y coliformes fecales, se obtienen valores de varianza, desviación estándar y coeficiente de variación altos, esto es debido a la variación de los resultados. Respecto de la varianza se puede decir que en estos parámetros la media aritmética no tiene una alta representatividad, la desviación estándar y el coeficiente de variación indica que los datos están muy dispersos con relación al valor promedio.

Con todos los resultados en conjunto obtenidos se comprueba la hipótesis que se planteó al inicio de este proyecto.



## **6. LOGROS OBTENIDOS**

1. Determinación de la calidad del efluente de aguas residuales especiales.
2. Propuesta del sistema de tratamiento aguas residuales para reducir los contaminantes presentes.
3. Preparación de estudio técnico de la empresa.



## CONCLUSIONES

1. Se realizó una caracterización fisicoquímica del efluente de aguas residuales determinándose los parámetros que no cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos. Con base a los resultados obtenidos se realizó la propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales que mejore eficazmente la calidad del efluente de aguas residuales.
2. Los parámetros que no cumplen con los límites máximos permisibles son el DBO5, sólidos suspendidos, grasas y aceites, color, nitrógeno y coliformes fecales, debido a que exceden los valores establecidos en el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos correspondientes a la segunda etapa de cumplimiento, dos de mayo de dos mil quince, los cuales son 200 mg/mL, 400 mg/mL, 50 mg/mL, 1000 unidades Pt-Co, 50 mg/mL y  $1 \times 10^5$  NMP, respectivamente.
3. Se cumple con el límite máximo permisible de 300 Kg/día de carga establecido en el artículo 17 del Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos correspondiente a la segunda etapa de cumplimiento. Así también se cumplió con el parámetro de calidad asociado, dado que no se excede el límite máximo permisible de 750 mg/mL de DBO5, según el artículo 27 de la misma etapa de cumplimiento y reglamento en mención.

4. Se determinó que las materias primas utilizadas en la fabricación de cremas y que el colorante FD&C verde esmeralda utilizado en la fabricación de jarabes y recubrimiento de tabletas aumentan las concentraciones de grasas/aceites y color, respectivamente, en el afluente de aguas residuales.
5. La etapa del proceso de producción que genera elevadas concentraciones de los parámetros de estudio en el efluente de aguas residuales es la limpieza de equipos y áreas de fabricación.
6. Es factible la implementación de un tratamiento biológico, dado que la relación DBO5/DQO obtenida de 0,26 se encuentra dentro del rango de 0,20 a 0,40 que indica la factibilidad de dicha implementación.
7. Dado que el DBO5 y los sólidos en suspensión son parámetros críticos en las aguas residuales de la planta farmacéutica se opta por la implementación de un tratamiento secundario, eligiéndose un reactor biológico secuencial (SBR) por factores de espacio, costos y operación.
8. Con el propósito de favorecer el buen desempeño del tratamiento biológico se determina la necesidad de implementar un tratamiento primario que consiste en una trampa de sólidos, una trampa de grasas y un tanque homogenizador.
9. Se complementa la planta de tratamiento de aguas residuales con un tratamiento terciario, proponiendo la instalación de un filtro de carbón activado y un clorador con el fin de refinar la calidad del efluente de aguas residuales.

## RECOMENDACIONES

1. Colocar rejillas en los desagües de las áreas de sólidos, líquidos, semisólidos y canastas de retención en los lavaderos.
2. Para la limpieza en el área de pesaje y áreas de sólidos, en lugar de barrer se recomienda aspirar, para reducir los residuos sólidos en el efluente.
3. Limpiar en seco las maquinarias antes de la limpieza húmeda, para no generar grandes volúmenes de residuos líquidos.
4. Los polvos residuales provenientes de la limpieza de pisos, derrames y limpieza de filtros deben ser dispuestos en doble bolsa y etiquetado, especificando claramente lo que contiene.
5. Utilizar mangueras con ducha a presión (*spray*), lo que ayuda a una mejor limpieza con menor pérdida de agua.
6. Realizar limpieza y desinfección de drenajes y cajas de registro para reducir el parámetro de coliformes fecales o descartar que la contaminación provenga de estos sitios.
7. Realizar pruebas de planta piloto del sistema de tratamiento propuesto para su pronta implementación.

8. Mejorar la caja de registro actual, colocando el vertedero adecuado para la medición del caudal en los muestreos.
9. Proporcionar capacitación a los operarios y concientizar sobre el impacto que se tiene al desechar residuos de materia prima de manera inadecuada.
10. Implementar el pretratamiento, tratamiento primario y secundario y realizar una evaluación de su funcionamiento para considerar no implementar el tratamiento terciario.
11. El caudal máximo registrado en los muestreos es de 0,496 L/s, por lo tanto, tomar en cuenta este dato en el diseño de los equipos del sistema de tratamiento. Con las ampliaciones que se están realizando se prevé un aumento de caudal en un 40 %, considerar este dato.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ARCE, Ana Luisa, CALDERÓN, César y TOMASINI, Ana Cecilia.  
*Fundamentos técnicos para el muestreo y el análisis de aguas residuales*. [En línea].  
[http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/fundamentos\\_tecnicos.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/fundamentos_tecnicos.pdf)  
México D.F.: Comisión Nacional de Agua e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, [consulta: 26 de septiembre de 2015].  
ISBN 968-7417-82-X
2. Acuerdo Gubernativo 236-2006. *Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos*. Ministerio de ambiente y recursos naturales Guatemala, C.A., Guatemala, 5 de mayo de 2006.
3. Acuerdo Ministerial número 105-2008. *Manual General del Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos*. Ministerio de ambiente y recursos naturales Guatemala, C.A., Guatemala, 9 de enero de 2008.
4. APHA-AWWA-WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21th Edition. Washington: American Public Health Association, 2005. [2500] p.  
ISBN 978-0875530130

5. CALDERÓN M., César. *Identificación y descripción de sistemas primarios para el tratamiento de aguas residuales*. [En línea]. [https://fridakarem.files.wordpress.com/2015/07/sistemas\\_primarios.pdf](https://fridakarem.files.wordpress.com/2015/07/sistemas_primarios.pdf). México D.F.: Comisión Nacional de Agua e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, [consulta: 29 de septiembre de 2015]. ISBN 968-7417-86-2
6. \_\_\_\_\_ . *Identificación y descripción de sistemas secundarios para el tratamiento de aguas residuales*. [En línea]. [https://fridakarem.files.wordpress.com/2015/07/sistemas\\_secundarios.pdf](https://fridakarem.files.wordpress.com/2015/07/sistemas_secundarios.pdf). México D.F.: Comisión Nacional de Agua e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, [consulta: 29 de septiembre de 2015]. ISBN 968-7417-87-0
7. \_\_\_\_\_ . *Identificación y descripción de sistemas terciarios para el tratamiento de aguas residuales*. [En línea]. [https://fridakarem.files.wordpress.com/2015/07/sistemas\\_terciarios.pdf](https://fridakarem.files.wordpress.com/2015/07/sistemas_terciarios.pdf). México D.F.: Comisión Nacional de Agua e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, [consulta: 29 de septiembre de 2015]. ISBN 968-5536-23-6
8. CUBILLOS, Armando. *Parámetros y características de las aguas residuales*. Lima, Perú: Proyecto de desarrollo, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, [consulta: 1 de octubre de 2015]. Disponible en: <http://bvspers.paho.org/bvsacd/scan2/011643/011643-09.pdf>

9. *Estudio de evaluación de impacto ambiental*. Guatemala: Corporación Ambiental, S.A., 1998. Estudio de impacto ambiental Pharmalat, S.A. 156 p.
10. *Sistemas aerobios vs anaerobios*. [en línea]. <http://www.tratamientodeaguas.org.mx/sistemas-aerobios-vs-anaerobios/>. [consulta: 3 de febrero de 2016].
11. *Tecnología SBR (Reactores biológicos secuenciales)*. [en línea]. [http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_08.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_08.pdf) Chile: Gobierno de Chile, CONAMA. [consulta: 3 de febrero de 2016].



## APÉNDICES

### Apéndice 1. Datos calculados de caudal proyectado a nueve horas

No. de muestreo	Caudal (L/s)	Caudal, proyectado a 9 horas de descarga (m <sup>3</sup> /día)
1	0,060	1,944
2	0,060	1,944
3	0,082	2,656
4	0,135	4,374
5	0,127	4,114

Fuente: muestra de cálculo, apéndice 2.

### Apéndice 2. Datos calculados de concentración y cargas de DBO5 Y DQO

No. De muestreo	Concentración DBO5 (Kg/m <sup>3</sup> )	Concentración DQO (Kg/m <sup>3</sup> )	Carga DBO5 (Kg/día)	Carga DQO (Kg/día)
1	0,880	1,580	1,710	3,071
2	0,620	1,125	1,200	2,187
3	0,152	0,705	0,403	1,872
4	1,298	7,090	5,677	31,011
5	0,152	1,162	0,625	4,780

Fuente: muestra de cálculo, apéndice 2.

Apéndice 3. **Datos calculados de la relación DBO/DQO**

No. De muestreo	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO/DQO
1	880	1 580	0,6
2	620	1 125	0,6
3	152	705	0,2
4	1 298	7 090	0,2
5	152	1 162	0,1
Promedio			0,3

Fuente: muestra de cálculo, apéndice 2.

Apéndice 4. **Datos calculados de análisis estadístico de los parámetros**

Parámetro	Promedio	Varianza	Desviación estándar	CV
Temperatura	23,50	1,47	1,21	0,05
pH	7,40	0,21	0,45	0,06
DQO (mg/L)	2 332,40	5,57x10 <sup>5</sup>	2 394,86	1,02
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	620,40	19,30x10 <sup>4</sup>	439,39	0,71
Sólidos en suspensión (mg/L)	517,12	45,36x10 <sup>4</sup>	673,51	1,30
Grasas y aceites (mg/L)	56,92	45,84x10 <sup>2</sup>	67,70	1,19
Color Pt/Co	905,00	80,88x10 <sup>4</sup>	899,36	0,99
Nitrógeno (mg/L)	42,60	21,52x10 <sup>2</sup>	46,39	1,09
Fósforo (mg/L)	3,72	15,91	3,98	1,07
Coliformes fecales (NMP/100mL)	18,64x10 <sup>5</sup>	13,45x10 <sup>12</sup>	3,66x10 <sup>6</sup>	1,97
Relación DBO/DQO	0,26	0,038	0,19	0,73

Fuente: muestra de cálculo, apéndice 2.

## Apéndice 5. Muestra de cálculo

### 1. Cálculo de caudal del efluente de aguas residuales proyectado a 9 horas

$$Q_{(9 \text{ horas})} = Q\left(\frac{L}{s}\right) * \frac{3600s}{1h} * \frac{9 \text{ horas}}{1 \text{ día}} * \frac{1m^3}{1000 L} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

Donde:

$Q_{(9 \text{ horas})}$  = caudal proyectado a 9 horas de descarga ( $m^3/\text{día}$ )

$Q\left(\frac{L}{s}\right)$  = caudal del muestreo en litros por segundo

Ejemplo:

$$Q_{(9 \text{ horas})} = 0.06 \frac{L}{s} * \frac{3,600s}{1h} * \frac{9 h}{1 \text{ día}} * \frac{1m^3}{1000L} = 1.944 m^3/\text{día}$$

Los datos calculados se encuentran en tablas del apéndice 1.

### 2. Cálculo de las cargas de $DBO_5$ y DQO

$$C = Q * C_{DBO} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

Donde:

$C$  = carga ( $Kg/\text{día}$ )

$Q$  = caudal ( $m^3/\text{día}$ )

$C_{DBO}$  = concentración de  $DBO_5$  ( $Kg/m^3$ )

Continuación del apéndice 5.

Ejemplo:

$$Carga = \left(1.944 \text{ m}^3/\text{día}\right) * \left(0.88 \text{ Kg}/\text{m}^3\right) = 1.71 \text{ Kg}/\text{día}$$

Los datos calculados se encuentran en tablas del apéndice 1.

### 3. Relación $DBO_5/DQO$

$$R_{DBO/DQO} = DBO_5/DQO \quad [\text{Ecuación 3}]$$

Donde:

$R_{DBO/DQO}$  = relación  $DBO_5/DQO$  (Adimensional)

$DBO_5$  = demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)

$DQO$  = demanda química de oxígeno (mg/L)

Ejemplo:

$$R_{DBO/DQO} = \frac{880 \text{ mg/L}}{1580 \text{ mg/L}} = 0.556$$

Los datos calculados se encuentran en tablas del apéndice 1.

### 4. Cálculo de la media aritmética de los parámetros

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad [\text{Ecuación 4}]$$

Continuación del apéndice 5.

Donde:

$\bar{x}$  = *media*

$\sum x_i$  = *sumatoria de valores*

$N$  = *número de datos*

Ejemplo: datos de temperatura

$$\bar{x} = \frac{(25.8 + 23.6 + 23.01 + 22.6 + 22.5)^{\circ}\text{C}}{5} = 23.50^{\circ}\text{C}$$

Los datos calculados se encuentran en tablas del apéndice 1.

## 5. Cálculo de la varianza de los parámetros

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N} \quad [\text{Ecuación 5}]$$

Donde:

$\sigma^2$  = *varianza*

$\bar{x}$  = *valor promedio*

$x_i$  = *valor de la muestra*

$N$  = *número de datos*

Ejemplo: tomando datos de temperatura

$$\begin{aligned} & \sigma^2 \\ &= \frac{(25.8 - 23.50)^2 + (23.6 - 23.5)^2 + (23.01 - 23.5)^2 + (22.6 - 23.5)^2 + (22.5 - 23.5)^2}{5} \\ &= 1.47 \end{aligned}$$

Continuación del apéndice 5.

Los datos calculados se encuentran en tablas del apéndice 1.

## 6. Cálculo de la desviación estándar de los parámetros

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad \text{[Ecuación 6]}$$

Donde:

$S$  = desviación estándar

$\bar{x}$  = valor promedio

$x_i$  = valor de la muestra

$N$  = número de datos

Ejemplo: tomando datos de temperatura y la varianza ya calculada

$$S = \sqrt{\frac{1.47}{5}} = 1.21$$

Los datos calculados se encuentran en tablas del apéndice 1.

## 7. Cálculo del coeficiente de variación de Pearson de los parámetros

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \quad [\text{Ecuación 7}]$$

*CV = coeficiente de variación*

*S = desviación estándar*

Continuación del apéndice 5.

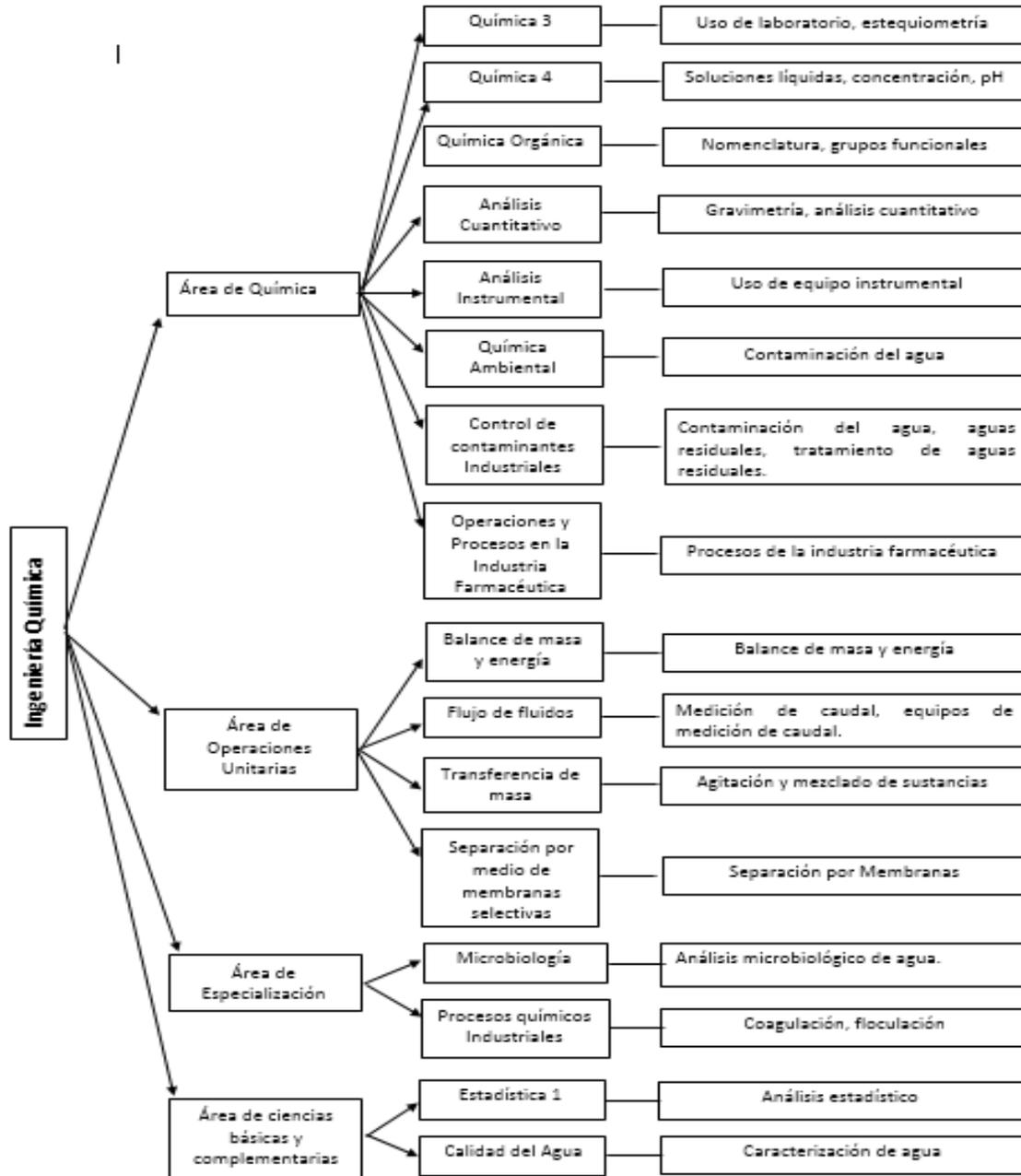
*$\bar{x}$  = valor promedio*

Ejemplo: tomando datos de temperatura, desviación estándar y promedio ya calculados.

$$CV = \frac{1.21}{23.5} = 0.05$$

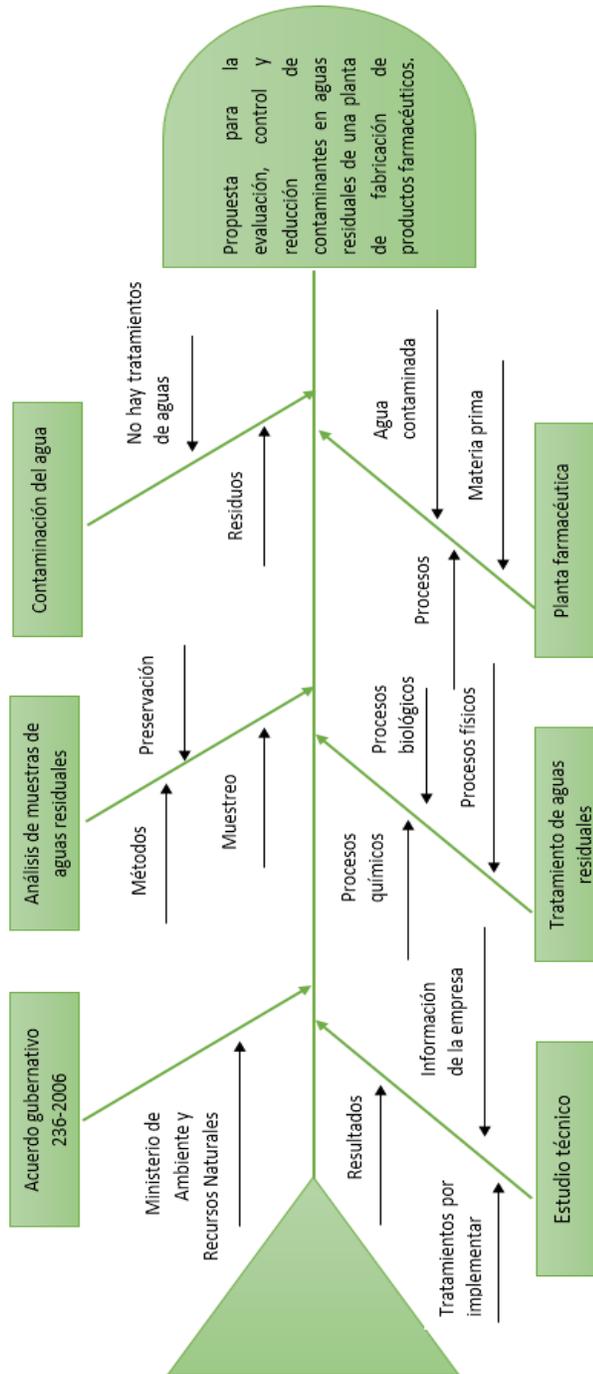
Los datos calculados se encuentran en tablas del apéndice 1.

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia

Apéndice 7. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

# ANEXOS

## Anexo 1. Resultados de laboratorio, FQB Lab

**INFORME DE LABORATORIO**  
ACREDITADO ISO 17025

**FQB Lab**  
Carretera a Canalitos  
21-96 Zona 17  
PBX: (502) 2390-2500  
FAX: (502) 2390-2599  
www.fqbiab.com

**INFORME DEL LABORATORIO**

**oga**  
ACREDITADO  
OGA-LE-018-07

Análisis solicitado: Ambiental y microbiológico

Muestras	Número
Aguas residuales	2

Fecha de muestreo: 11 de agosto, 2015

Fecha de recepción: 11 de agosto, 2015

Fecha de proceso: 12 de agosto, 2015

Fecha de reporte: 20 de agosto, 2015

Tipo de muestreo: Manual compuesta en 9 horas

Hoja de muestreo: No. 152743

Remitente y sitio de muestreo: Joel Beteta  
Director de Mantenimiento  
PHARMALAT, S.A.  
0 Av. "C" 2-55 Zona 6 Colonia Narajito Villa Nueva  
Tel: 6628-1100 / Fax: 6628-1157 Cel. 5979-1097  
Correo: [jbeteta@pharmalat.com.gt](mailto:jbeteta@pharmalat.com.gt)  
[pharmalatmantenimiento@gmail.com](mailto:pharmalatmantenimiento@gmail.com)

Código: PHARMA20150801

**INNOLAB**  
CONSTRUYENDO CALIDAD

Continuación del anexo 1.

**INFORME DE LABORATORIO**

ACREDITADO ISO 17025

**oga**  
ACREDITADO OGA-LE-018-07

**PHARMALAT**

**TQB Lab**

Carretera a Canalitos  
21-96 Zona 17  
PBX: (502) 2390-2500  
FAX: (502) 2390-2599  
www.fqbiab.com

**Tipo de muestra:** Aguas residuales  
**Condiciones de la muestra:** Temperatura de recepción: 2,3° C Envase: 1gmbos plásticos, frascos de vidrio y bolsas whirl-pack  
**Análisis solicitado:** Ambiental y microbiológico  
**Fecha de muestreo:** 11/08/2015  
**Fecha de recepción:** 11/08/2015  
**Fecha de proceso:** 12/08/2015  
**Sitio de descarga:** Pozo de absorción (cuerpo receptor)  
**Método de muestreo:** Manual compuesta en 9 horas  
 SMWW Met 1060 Pág. 1-37 a 1-46  
**Responsable de análisis:** Rina L. Orellana Ayala  
**Transcripción del informe:** Lissette Uyu Martínez

Determinaciones fisicoquímicas	Agua residual Especial y ordinaria tomada de tubo que viene de fosas sépticas salida final hacia pozo absorción (Área de Lavado y baños) (No. Lab.1510210)	Agua residual especial tomada de tubo que viene del área de lavado salida final pozo de absorción (Área de Lavado) (No. Lab.1510211)
Demanda química de oxígeno (DQO) (°)	505,0 mg O <sub>2</sub> /L	1580,0 mg O <sub>2</sub> /L
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (°)	420,0 mg O <sub>2</sub> /L	880,0 mg O <sub>2</sub> /L
Carga de DQO	1,3 Kg/día	1,9 Kg/día
Carga de DBO	1,1 Kg/día	1,1 Kg/día
Relación DQO-DBO	1,2	1,8
Sólidos sedimentables (°)	<0,1 ml/L	0,4 ml/L
Materia flotante	Ausente	Ausente
Sólidos en suspensión (°)	146,4 mg/L	161,4 mg/L
Grasas y aceites	7,6 mg/L	8,0 mg/L
Color verdadero	75,0 Pt/Co	1376,0 Pt/Co
Nitrógeno total	21,0 mg/L	16,0 mg/L
Fósforo total	2,7 mg/L	0,7 mg/L
Coliformes fecales (°)	>1600000 NMP/100ml	28000 NMP/100ml

SIGLAS USADAS: SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 ed. 2012.  
 SQ: Método Spectroquant.  
 (°) Análisis acreditado conforme a la norma COGUANOR NTG/ISO/IEC/17025

Parámetros	Métodos de Referencia
Sólidos totales secados entre 103 a 105° C	SMWW Met. 2540 B Pág. 2-64
Sólidos en suspensión totales secados entre 103 a 105° C	SMWW Met. 2540 D Pág. 2-66
Sólidos sedimentables	SMWW Met. 2540 F Pág. 2-67 y 2-68
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): método respirométrico	Instructivo de Merck Línea Oxitop (análogo a SMWW Met. 5210 D Pág. 5-13 a 5-16)
Demanda química de oxígeno (DQO): reflujo cerrado, método colorimétrico	SQ Met. 14555 (análogo a SMWW Met. 5220 D Pág. 5-20 y 5-21) SQ Met. 14541 (análogo a SMWW Met. 5220 D Pág. 5-20 y 5-21) SQ Met. 14690 (análogo a SMWW Met. 5220 D Pág. 5-20 y 5-21)
Materia flotante	NOM 001-ECOL
Grasas y aceites, método de partición gravimétrica	SMWW Met. 5520 B Pág. 5-40 y 5-41
Color	SMWW Met. 2120 C
Nitrógeno	SQ Met. 14537
Fósforo total	SQ Met. 14848
Coliformes fecales	SMWW Met. 9221 E Pág. 9-74

Nota: La reproducción únicamente puede ser total y deberá ser aprobado por F. Q. B. Laboratorios.  
 Los resultados se refieren únicamente a las muestras analizadas.

Código: PHARMA20150801

*Rina Orellana*  
**ING. RINA L. ORELLANA AYALA**  
 JEFE DE LABORATORIO  
**F. Q. B. LABORATORIOS**  
 QUÍMICA BIOLÓGICA  
 COLEGIADO No. 1858

2/3

**INNOLAB**  
 CONSTRUYENDO CALIDAD

Continuación del anexo 1.

**INFORME DE LABORATORIO**

ACREDITADO ISO 17025



ACREDITADO OGA-LE-018-07

**PHARMALAT**



Carretera a Canalitos  
21-96 Zona 17  
PBX: (502) 2390-2500  
FAX: (502) 2390-2599  
www.fqqlab.com

**PHARMALAT**

**Tipo de muestra:** Aguas residuales  
**Condiciones de la muestra:** Medición in situ  
**Análisis solicitado:** Determinación de pH y temperatura  
**Fecha de muestreo:** 11/08/2015  
**Fecha de recepción:** 11/08/2015  
**Fecha de proceso:** 11/08/2015  
**Sitio de descarga:** Pozo de absorción (cuerpo receptor)  
**Método de muestreo:** Puntual, SMWW Met. 1060 Pág. 1-37 a 1-46  
**Responsable de análisis:** Byron Lima/Antonio Revolorio  
**Transcripción del informe:** Lissette Uyu Martínez

Identificación de la muestra	(No. Lab)	Fecha	Hora de medición	Temperatura (medida in situ)	pH (°) (medida in situ)
Agua residual Especial y ordinaria tomada de tubo que viene de fosas séptica salida final hacia pozo absorción (Área de Lavado y baños)	1510210	11/08/2015	8:15	24,3°C	7,53
			8:20	24,1°C	7,53
			17:00	25,3°C	7,49
			17:05	25,3°C	7,49
Agua residual especial tomada de tubo que viene del área de lavado salida final pozo de absorción (Área de Lavado)	1510211		8:30	25,8°C	6,70
			8:35	25,8°C	6,70
			17:10	25,1°C	6,81
			17:15	25,2°C	6,81

SIGLAS USADAS: SMW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 ed. 2012. SQ: Método Spectroquant.  
 (\*) Análisis acreditados conforme a la norma COGUANOR NTG/ISO/IEC/17025

Parámetros	Métodos de Referencia
Potencial de hidrogeno (pH), método electrométrico	SMW Met. 4500-F1 B Pág. 4-92 a 4-96
Temperatura	SMW Met. 2550 Pág. 2-69 y 2-70

Nota: La reproducción únicamente puede ser total y deberá ser aprobado por F. Q. B. Laboratorios.  
 Los resultados se refieren únicamente a las muestras analizadas.

----- **Fin del reporte** -----



**RD.A. RINA L. OREL'ANA AYALA**  
 JEFE DE LABORATORIO  
**F.Q.B. LABORATORIOS**  
 QUIMICA BIOLOGA  
 COLEGIADO No. 1858

Código: PHARMA20150801



**INNOLAB**  
CONSTRUYENDO CALIDAD

Continuación del anexo 1.

**TQB**  
Lab

**PHARMALAT**

**TABLA DE CAUDAL**

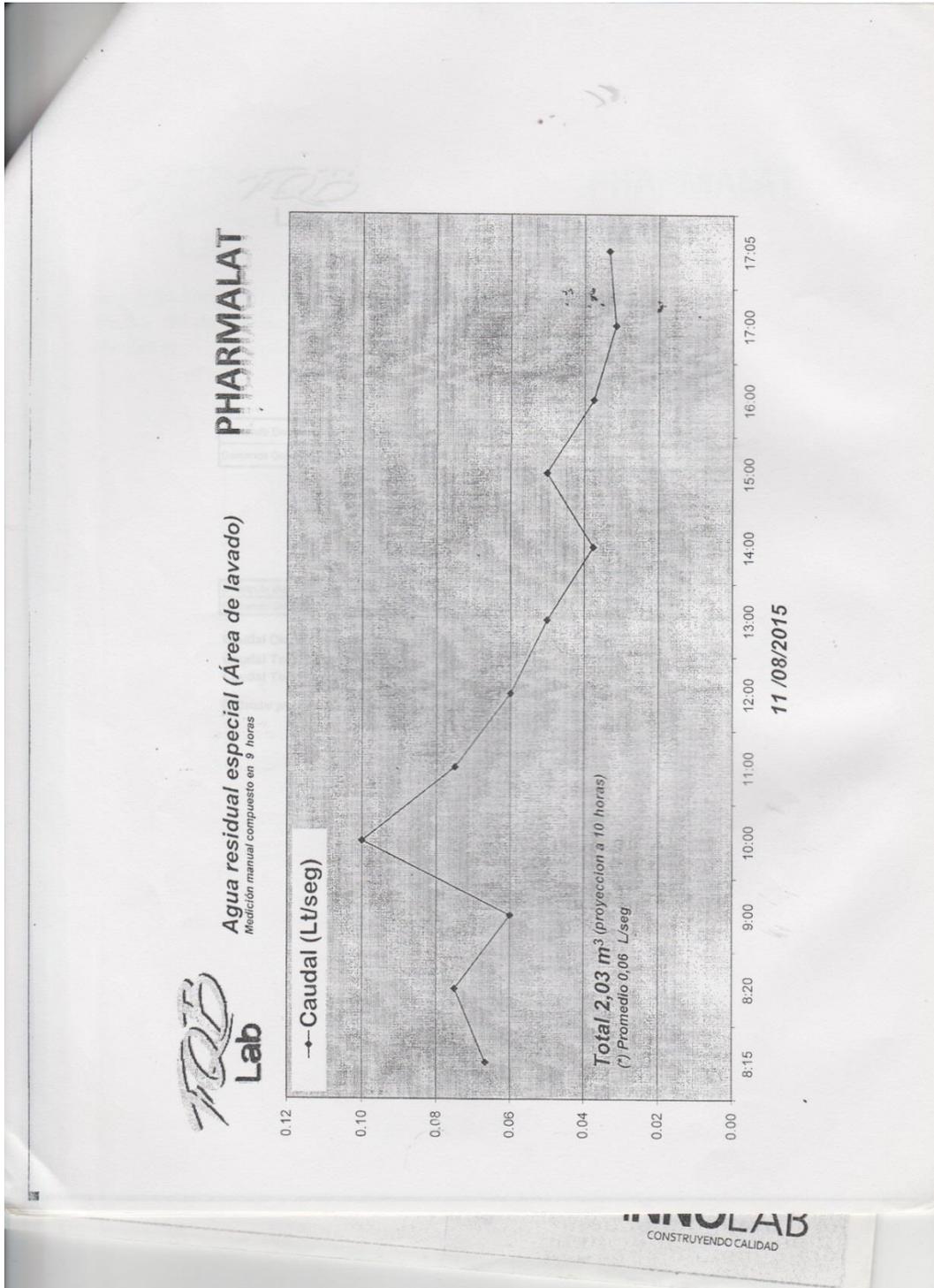
Lugar de medición: Agua residual especial (Área de Lavado)

Fecha: 11 de agosto, 2015

Medición: Manual compuesto en 9 horas

Agua residual especial (Área de Lavado)		
FECHA	HORAS	Caudal (Lt/seg)
11/08/2015	8:15	0.07
	8:20	0.08
	9:00	0.06
	10:00	0.10
	11:00	0.08
	12:00	0.06
	13:00	0.05
	14:00	0.04
	15:00	0.05
	16:00	0.04
	17:00	0.03
	17:05	0.03
	PROMEDIO	0.06
Caudal (*) -m <sup>3</sup> / proyección 10 horas-		2.03

Continuación del anexo 1.



Continuación del anexo 1.

**PHARMALAT**

**PHARMALAT**

**TABLA DE CAUDAL Y CARGAS**

Lugar de medición: Agua  
 Fecha: 11 de agosto, 2015  
 Medición:

**RESULTADOS (mg/L)**

	Agua residual especial y ordinaria (Área de Lavado y baños) 11 de agosto, 2015
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (mgO <sub>2</sub> /L)	420,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mgO <sub>2</sub> /L)	505,0

**CARGAS (kg/día)**

	Agua residual especial y ordinaria (Área de Lavado y baños) 11 de agosto, 2015
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (kg/día)	1,1
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (kg/día)	1,3
Caudal Diario Promedio (Lt/seg)	0,04
Caudal Total Diario (m <sup>3</sup> /día)	2,65
Caudal Total Diario (Lt/día)(*)	2650,00

(\*) Caudal proyectado a 10 horas de descarga

Continuación del anexo 1.

**PHARMALAT**  
**INFORME DEL LABORATORIO**

**Análisis solicitado:** Ambiental y microbiológico

Muestras	Número
Aguas residuales	1

**Fecha de muestreo:** 07 de septiembre, 2015

**Fecha de recepción:** 07 de septiembre, 2015

**Fecha de proceso:** 08 de septiembre, 2015

**Fecha de reporte:** 17 de septiembre, 2015

**Tipo de muestreo:** Manual compuesto en 8 horas 30 minutos

**Hoja de muestreo:** No. 153141

**Remitente y sitio de muestreo:** Joel Beteta  
Director de Mantenimiento  
PHARMALAT, S.A.  
0 Av. "C" 2-55 Zona 6 Colonia Narajito Villa Nueva  
Tel: 6628-1100 /Fax: 6628-1157 Cel. 5979-1097  
Correo: [jbeteta@pharmalat.com.gt](mailto:jbeteta@pharmalat.com.gt)

Código: PHARMA20150901 PHARMA20150901 - 1/3

Continuación del anexo 1.

**PHARMALAT**

**Tipo de muestra:** Aguas residuales  
**Condiciones de la muestra:** Temperatura de recepción: 2,4° C, Envase: tambos plásticos, frascos de vidrio y bolsas whirl-pack  
**Análisis solicitado:** Ambiental y microbiológico  
**Fecha de muestreo:** 07/09/2015  
**Fecha de recepción:** 07/09/2015  
**Fecha de proceso:** 08/09/2015  
**Sitio de descarga:** Pozo de absorción (Cuerpo receptor)  
**Método de muestreo:** Manual compuesto en 8 horas 30 minutos  
**Responsable de análisis:** SMWW Met 1060 Pág. 1-37 a 1-46  
**Transcripción del informe:** Rina L. Orellana Ayala  
 Lissette Uyú Martínez

Determinaciones fisicoquímicas	Aguas Residuales de Tipo Especial: caja de registro salida de Planta de Producción antes de pozo de absorción de aguas residuales de tipo especial. 15 P0759483 UTM 1607993 Altura: 1370m (± 4) (No. Lab.1511558)
Demanda química de oxígeno (DQO) (*)	1125,0 mg O <sub>2</sub> /L
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (*)	620,0 mg O <sub>2</sub> /L
Carga de DQO	2,6 Kg/día
Carga de DBO	1,4 Kg/día
Relación DQO-DBO	1,8
Sólidos sedimentables (*)	0,3 ml/L
Materia flotante	Ausente
Sólidos en suspensión (*)	132,2 mg/L
Grasas y aceites	10,8 mg/L
Color verdadero	39,0 Pt/Co
Nitrógeno total	11,0 mg/L
Fósforo total	0,2 mg/L
Coliformes fecales (*)	79000 NMP/100ml

SIGLAS USADAS: SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 ed. 2012.  
 SQ: Método Spectroquant.

(\*) Análisis acreditados conforme a la norma COGUANOR NTG/ISO/IEC/17025

Parámetros	Métodos de Referencia
Sólidos totales secados entre 103 a 105° C	SMWW Met. 2540 B Pág. 2-64
Sólidos en suspensión totales secados entre 103 a 105° C	SMWW Met. 2540 D Pág. 2-66
Sólidos sedimentables	SMWW Met. 2540 F Pág. 2-67 y 2-68
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), método respirométrico	Instruactivo de Merck Línea OxiTop (análogo a SMWW Met.5210 D Pág. (5-13 a 5-16)
Demanda química de oxígeno (DQO), refujo cerrado, método colorimétrico	SQ Met. 14535 (análogo a SMWW Met. 5220 D Pág. 5-20 y 5-21) SQ Met. 14541 (análogo a SMWW Met. 5220 D Pág. 5-20 y 5-21) SQ Met. 14690 (análogo a SMWW Met. 5220 D Pág. 5-20 y 5-21)
Materia flotante	NOM 001-ECOL
Grasas y aceites, método de partición gravimétrica	SMWW Met. 5520 B Pág. 5-40 y 5-41
Color	SMWW Met. 2120 C
Nitrógeno	SQ Met. 14537
Fósforo total	SQ Met. 14848
Coliformes fecales	SMWW Met. 9221 E Pág. 9-74

Nota: La reproducción únicamente puede ser total y deberá ser aprobado por F. Q. B. Laboratorios.  
 Los resultados se refieren únicamente a las muestras analizadas.

Código: PHARMA20150901

2/3

Continuación del anexo 1.

**PHARMALAT**

Tipo de muestra: Aguas residuales  
 Condiciones de la muestra: Medición in situ  
 Análisis solicitado: Determinación de pH y temperatura  
 Fecha de muestreo: 07/09/2015  
 Fecha de recepción: 07/09/2015  
 Fecha de proceso: 07/09/2015  
 Sitio de descarga: Pozo de absorción (cuerpo receptor)  
 Método de muestreo: Puntual, SMWW Met. 1060 Pág. 1-37 a 1-46  
 Responsable de análisis: Byron Lima/Antonio Revolorio  
 Transcripción del informe: Lissette Uyu Martínez

Identificación de la muestra	(No. Lab)	Fecha	Hora de medición	Temperatura (medida in situ)	pH (°) (medida in situ)
Aguas Residuales de Tipo Especial: caja de registro salida de Planta de Producción antes de pozo de absorción de aguas residuales de tipo especial. 15 P0759483 UTM 1607993 Altura: 1370m (± 4)	1511558	07/09/15	8:30	23,6°C	6,17
			8:35	23,5°C	6,17
			17:00	22,3°C	7,69
			17:05	22,3°C	7,69

SIGLAS USADAS: SMW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 ed. 2012. SQ: Método Spectroquant.  
 (\*) Análisis acreditados conforme a la norma COGUANOR NTG/ISO/IEC/17025

Parámetros	Métodos de Referencia
Potencial de hidrógeno (pH), método electrométrico	SMW Met. 4500-H <sup>+</sup> B Pág. 4-92 a 4-96
Temperatura	SMW Met. 2550 Pág. 2-69 y 2-70

Nota: La reproducción únicamente puede ser total y deberá ser aprobado por F. Q. B. Laboratorios.  
 Los resultados se refieren únicamente a las muestras analizadas.

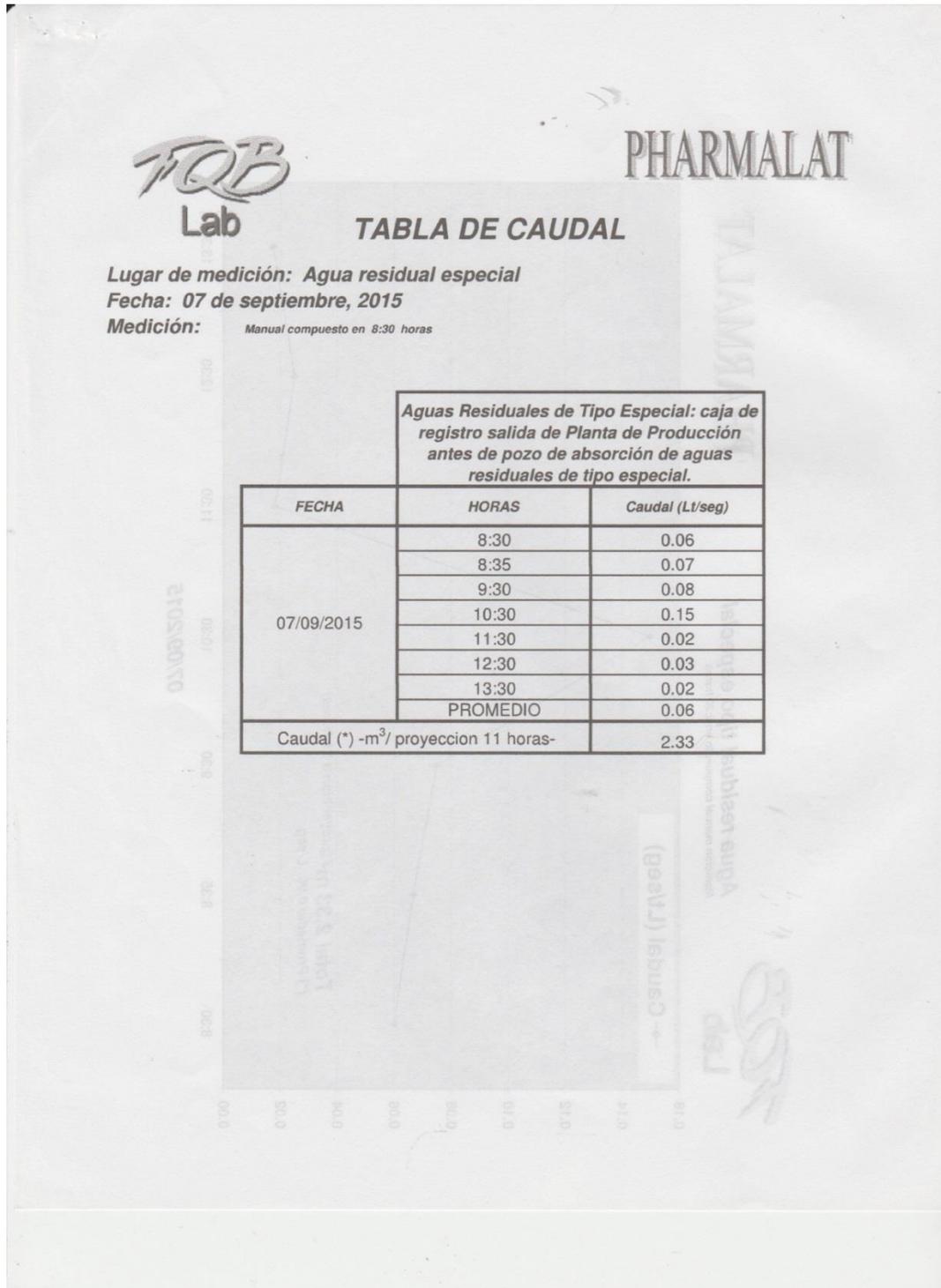
**Fin del reporte**

DETALLE LOS HORARIOS DE DESCARGA DE AGUA:	
FECHA DE OPERACIONES:	7:00
FECHA DE OPERACIONES DE LA EMPRESA:	Antes 2008

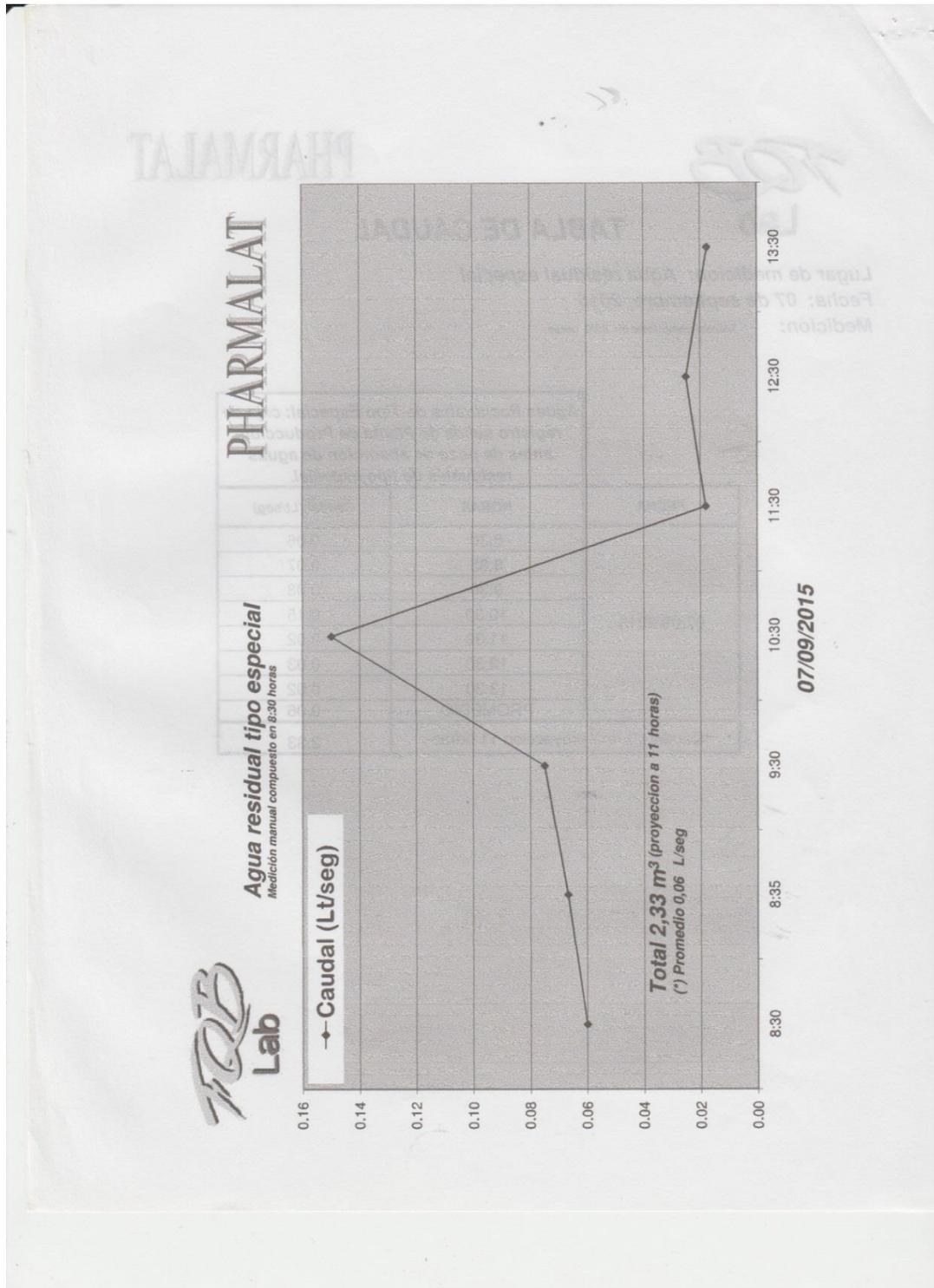
Código: PHARMA20150901

3/3

Continuación del anexo 1.



Continuación del anexo 1.



Continuación del anexo 1.



PHARMALAT

**TABLA DE CAUDAL Y CARGAS**

RESULTADOS (mg/L)

Aguas Residuales de Tipo Especial: caja de registro salida de Planta de Producción antes de pozo de absorción de aguas residuales de tipo especial. 07 de septiembre, 2015	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (mgO <sub>2</sub> /L)	620.0
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mgO <sub>2</sub> /L)	1125.0

CARGAS (kg/día)

Aguas Residuales de Tipo Especial: caja de registro salida de Planta de Producción antes de pozo de absorción de aguas residuales de tipo especial. 07 de septiembre, 2015	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (kg/día)	1.4
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (kg/día)	2.6

Caudal Diario Promedio (Lt/seg)	0.06
Caudal Total Diario (m <sup>3</sup> /día)	2.33
Caudal Total Diario (Lt/día)(*)	2330.00

(\*) Caudal proyectado a 11 horas de descarga

Fuente: Laboratorios FQB Lab.

## Anexo 2. Resultados de laboratorio, Analisa



1 de 2

Informe de Ensayo No. 2015-0456C

FO-G.059.02  
HA/RO  
Vigente

Análisis solicitado por: Mishel Morales		Fecha del informe: 07/12/15
Dirección(o lugar de muestreo): 0 Av. C 2-55 Colonia Najarito Zona 6 Villa Nueva		Empresa: Pharmalat, S.A.

Descripción de la muestra: Agua residual		Código interno: 151027-1	FP:----
		Lote: ----	FV:----

FP: fecha de producción FV: fecha de vencimiento

Fecha de toma de muestra: 27/10/15	Fecha de recepción: 28/10/15	
Muestreado por: EL	Recibido por: FR	Cantidad recibida: 2 litros aprox.
Lugar de muestreo: ---	Condiciones de transporte y almacenamiento: Refrigerado	Condiciones a la recepción: Aceptable

Analista: MM/EL/L.R.      Fecha de inicio: 27/10/15      Finalización análisis: 04/11/15

Análisis solicitado	Método	Unidades	LD o LC	Resultado	LMP
Coliformes fecales	SMWW 9221 E	NMP/100ml	---	7.0X10 <sup>1</sup>	< 1x10 <sup>6</sup>
Color	Método Platino-Cobalto, APHA	UPT/Co	---	220	1000
Temperatura ( <i>in situ</i> )	SMWW 2550 B	°C	---	23.01	TCR+/-7
pH ( <i>in situ</i> )	SMWW 4500	Unidades de potencial de hidrógeno	---	7.4	6 a 9
Fósforo Total	Análogo EPA 365.2+3, APHA 4500-P E, DIN EN ISO 6878	mg/L	---	3.4	30
Nitrógeno Total	Análogo ISO 7890/1, DIN 38405 D9	mg/L	---	44.0	50
DQO	Análogo EPA 410.4 APHA 5220 D ISO 15705	mg/L	---	705	-----
DBO <sub>5</sub>	SMWW 5210 D	mg/L	---	152	-----
Materia flotante	Cualitativo	Presente/Ausente	---	Ausencia	Ausente
Grasas y aceites *	AOAC	mg/L	---	26.80	50
Sólidos totales suspendidos	SMWW 2540 D	mg/L	---	77.0	400

NMP/100ml: número más probable por cien mililitros      °C: grados centígrados      mg/L: miligramos por litro  
 UPT/Co: unidades de platino cobalto      LD = límite de detección      LC = límite de cuantificación  
 NA = no aplica

2da. avenida 3-83 zona 10  
Teléfono: (502) 2380-1325  
www.analislalab.com

Continuación del anexo 2.

2 de 2

 **Informe de Ensayo No. 2015-0456C**

**Observaciones:**

- **Medición de Caudal:** El resultado del caudal fue de 0.082 l/s (Litro por segundo) = 0.2952 m<sup>3</sup>h (metros cúbicos por hora)
- \*Análisis referido (Analisa se hace responsable sobre los resultados emitidos)
- L.R.: Laboratorio Referido
- Los límites corresponden a los límites máximos permisibles (LMP) de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, en la etapa de cumplimiento dos, según Acuerdo Gubernativo No.236-2006 "Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos", con fecha 5 de mayo de 2006.
- Muestreo basado en el procedimiento PR-T.010

  
2 Ave. 3-83 Zona 10  
PBX 2380-1300

  
Vo.Bo. Leticia Téllez, Q.B.  
Director Técnico  
Lic. M. Leticia Téllez  
Química Bióloga  
Colegiada No. 2783

Los resultados corresponden únicamente a las muestras descritas. Es responsabilidad del cliente asegurar la representatividad de la muestra y establecer los planes de muestreo basándolos en los métodos estadísticos apropiados, en caso aplique. Las muestras serán descartadas 8 días a partir de la fecha de emisión del informe. Prohibida la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización escrita por parte de ANALISA.

2da. avenida 3-83 zona 10  
Teléfono: (502) 2380-1325  
www.analisalab.com

Continuación del anexo 2.



1 de 2

### Informe de Ensayo No. 2015-0493C

FO-G.059.03  
FR/RO  
Vigente

Análisis solicitado por: Mishel Morales	Fecha del informe: 07/12/15
Dirección(o lugar de muestreo): 0 Av. C 2-55 Colonia Najarito Zona 6 Villa Nueva	Empresa: Pharmalat, S.A.

Descripción de la muestra: Agua residual tipo especial	Código interno: 151109-11	FP:----
	Lote: ----	FV:----

FP: fecha de producción FV: fecha de vencimiento

Fecha de toma de muestra: 09/11/15	Fecha de recepción: 09/11/15	
Muestreado por: EL	Recibido por: EL	Cantidad recibida: 5litros aprox.
Lugar de muestreo: ---	Condiciones de transporte y almacenamiento: Refrigerado	Condiciones a la recepción: Aceptable

Analista: MM                      Fecha de inicio: 11/11/15                      Finalización análisis: 17/11/15

Análisis solicitado	Método	Unidades	Resultado	LMP
Coliformes fecales	SMWW 9221 E	NMP/100ml	9.2x10 <sup>6</sup>	< 1x10 <sup>6</sup>
Color	Método Platino-Cobalto, APHA	UPt/Co	2,450	1000
Temperatura ( <i>in situ</i> )	SMWW 2550 B	°C	22.6	TCR+/-7
pH ( <i>in situ</i> )	SMWW 4500	Unidades de potencial de hidrógeno	7.85	6 a 9
Fósforo Total	Análogo EPA 365.2+3, APHA 4500-P E, DIN EN ISO 6878	mg/L	11.3	30
Nitrógeno Total	Análogo ISO 7890/1, DIN 38405 D9	mg/L	132.0	50
DQO	Análogo EPA 410.4 APHA 5220 D ISO 15705	mg/L	7,090	----
DBO <sub>5</sub>	SMWW 5210 D	mg/L	1,298	----
Materia flotante	Cualitativo	Presente/Ausente	Ausencia	Ausente
Grasas y aceites *	AOAC	mg/L	189.00	50
Sólidos totales suspendidos	SMWW 2540 D	mg/L	1,850	400

NMP/100ml: número más probable por cien mililitros                      °C: grados centígrados                      mg/L: miligramos por litro  
 UPt/Co: unidades de platino cobalto                      LD = límite de detección                      LC = límite de cuantificación                      NA = no aplica

2da. avenida 3-83 zona 10  
Teléfono: (502) 2380-1325  
www.analisalab.com

Continuación del anexo 2.

2 de 2



**Informe de Ensayo No. 2015-0493C**

**Observaciones:**

- **Medición de Caudal:** El resultado del caudal fue de 0.135 l/s (litros por segundo) = 0.4853 m<sup>3</sup>/h (metros cúbicos por hora)
- \*Análisis referido (Analisa se hace responsable por los resultados emitidos)
- L.R: Laboratorio Referido
- Los límites corresponden a los límites máximos permisibles (LMP) de descargas de aguas residuales al alcantarillado público, en la etapa de cumplimiento dos, según Acuerdo Gubernativo No.236-2006 "Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos", con fecha 5 de mayo de 2006.
- Muestreo basado en el procedimiento PR-T.010



2 Ave. 3-83 Zona 10  
PBX 2380-1300



Vo.Bo. Leticia Téllez, Q.B.  
Director Técnico  
**Leticia M. Leticia Téllez**  
Química Bióloga  
Colegiada No. 2789

Los resultados corresponden únicamente a las muestras descritas. Es responsabilidad del cliente asegurar la representatividad de la muestra y establecer los planes de muestreo basándose en los métodos estadísticos apropiados, en caso aplique. Las muestras serán descartadas 8 días a partir de la fecha de emisión del informe. Prohibida la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización escrita por parte de ANALISA.

2da. avenida 3-83 zona 10  
Teléfono: (502) 2380-1325  
www.analisalab.com

Continuación del anexo 2.



**Analisa**  
LABORATORIO DE REFERENCIA

1 de 2

**Informe de Ensayo No. 2015-0549**

FO-G.059.03  
FR/RO  
Vigente

Análisis solicitado por: Mishel Morales	Fecha del informe: 07/12/15
Dirección(o lugar de muestreo): 0 Av. C 2-55 Colonia Najarito Zona 6 Villa Nueva	Empresa: Pharmalat, S.A.

Descripción de la muestra: Agua residual tipo especial	Código interno: 151123-3	FP:----
	Lote: ----	FV:----

FP: fecha de producción FV: fecha de vencimiento

Fecha de toma de muestra: 23/11/15	Fecha de recepción: 23/11/15
Muestreado por: JG	Recibido por: FR
	Cantidad recibida: 5 litros aprox.
Lugar de muestreo: Caja	Condiciones de transporte y almacenamiento: Refrigerado
	Condiciones a la recepción: Aceptable

Analista: MM                      Fecha de inicio: 23/11/15                      Finalización análisis:

Análisis solicitado	Método	Unidades	Resultado	LMP
Coliformes fecales	SMWW 9221 E	NMP/100ml	1.7X10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>6</sup>
Color	Método Platino-Cobalto, APHA	UPT/Co	440	1000
Temperatura ( <i>in situ</i> )	SMWW 2550 B	°C	22.5	TCR+/-7
pH ( <i>in situ</i> )	SMWW 4500	Unidades de potencial de hidrógeno	6.54	6 a 9
Fósforo Total	Análogo EPA 365.2+3, APHA 4500-P E, DIN EN ISO 6878	mg/L	<3.0	30
Nitrógeno Total	Análogo ISO 7890/1, DIN 38405 D9	mg/L	<10.0	50
DQO	Análogo EPA 410.4 APHA 5220 D ISO 15705	mg/L	1162	-----
DBO <sub>5</sub>	SMWW 5210 D	mg/L	152	-----
Materia flotante	Cualitativo	Presente/Ausente	Ausencia	Ausente
Grasas y aceites *	AOAC	mg/L	50	50
Sólidos totales suspendidos	SMWW 2540 D	mg/L	365	400

NMP/100ml: número más probable por cien mililitros      \*C: grados centígrados      mg/L: miligramos por litro  
 UPT/Co: unidades de platino cobalto      LD = límite de detección      LC = límite de cuantificación      NA = no aplica

2da. avenida 3-83 zona 10  
Teléfono: (502) 2380-1325  
www.analisalab.com

Continuación del anexo 2.

2 de 2

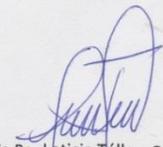
 **Analisa**  
LABORATORIO DE REFERENCIA

**Informe de Ensayo No. 2015-0549**

**Observaciones:**

- **Medición de Caudal:** El resultado del caudal fue de 0.127 l/s (litros por segundo) = 0.4562 m<sup>3</sup>h (metros cúbicos por hora)
- \*Análisis referido (Analisa se hace responsable por los resultados emitidos)
- L.R: Laboratorio Referido
- Los límites corresponden a los límites máximos permisibles (LMP) de descargas de aguas residuales al alcantarillado público, en la etapa de cumplimiento dos, según Acuerdo Gubernativo No.236-2006 "Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos", con fecha 5 de mayo de 2006.
- Muestreo basado en el procedimiento PR-T.010

  
**Analisa**  
LABORATORIO DE REFERENCIA  
2 Ave. 3-83 Zona 10  
P.BX. 2380-1300

  
Vo.Bo. Leticia Téllez, Q.B.  
Director Técnico  
Lda. M. Leticia Téllez y.  
Química Bióloga  
Colegiada No. 2788

Los resultados corresponden únicamente a las muestras descritas. Es responsabilidad del cliente asegurar la representatividad de la muestra y establecer los planes de muestreo basándolos en los métodos estadísticos apropiados, en caso aplique. Las muestras serán descartadas 8 días a partir de la fecha de emisión del informe. Prohibida la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización escrita por parte de ANALISA.

2da. avenida 3-83 zona 10  
Teléfono: (502) 2380-1325  
www.analisalab.com

Continuación del anexo 2.

### PHARMALAT INFORME DEL LABORATORIO

Análisis solicitado: **Determinación de metales pesados**

Muestras	Número
Aguas residuales	2

Fecha de muestreo: **11 de agosto, 2015**

Fecha de recepción: **11 de agosto, 2015**

Fecha de proceso: **12 de agosto, 2015**

Fecha de reporte: **07 de septiembre, 2015**

Tipo de muestreo: **Manual compuesta en 9 horas**

Hoja de muestreo: **No. 152743**

Remitente y sitio de muestreo: **Joel Beteta  
Director de Mantenimiento  
PHARMALAT, S.A.  
0 Av. "C" 2-55 Zona 6 Colonia Narajito Villa Nueva  
Tel: 6628-1100 Fax: 6628-1157 Cel. 5979-1097  
Correo: [jbeteta@pharmalat.com.gt](mailto:jbeteta@pharmalat.com.gt)  
[pharmalatmantenimiento@gmail.com](mailto:pharmalatmantenimiento@gmail.com)**

Código: PHARMA20150802

1/2

Continuación del anexo 2.

**PHARMALAT**

*Tipo de muestra:* Agua residual  
*Condiciones de la muestra:* Temperatura de recepción: 2,5° C. Envase: tambos plásticos  
*Análisis solicitado:* Determinación de metales pesados  
*Fecha de muestreo:* 11/08/2015  
*Fecha de recepción:* 11/08/2015  
*Fecha de proceso:* 12/08/2015  
*Sitio de descarga:* Pozo de absorción (cuerpo receptor)  
*Método de muestreo:* Manual compuesta en 9 horas  
*Responsable de análisis:* Rina L. Orellana Ayala  
*Transcripción del informe:* Lissette Uyú Martínez

Muestra	Cadmio (mg/L)	Cianuro total (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/Kg)	Níquel (mg/L)	Plomo (mg/L)	Zinc (mg/L)	Arsénico (mg/L)	Mercurio (mg/L)
Agua residual Especial y ordinaria tomada de tubo que viene de fosas séptica salida final hacia pozo absorción (Área de Lavado y baños) (No. Lab. 1510210)	<0,010	<0,010	<0,040	<0,60	<0,30	<0,060	0,168	0,0076	0,00080
Agua residual especial tomada de tubo que viene del área de lavado salida final pozo de absorción (Área de Lavado) (No. Lab. 1510211)	<0,010	<0,010	0,057	<0,60	<0,30	<0,060	0,163	0,010	<0,00065
Límite de detección	0,010	0,010	0,040	0,60	0,30	0,060	0,050	0,0025	0,00065
Metodología FQB	STM 3111B	---	STM 3111B	STM 3111B	STM 3111B	STM 3111B	STM 3111B	---	STM 3112B

SIGLAS UTILIZADAS: SMWW Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA 22 Edición 2013, EPA Environmental Protection Agency, SQ Spectroquant 01/2012.  
 Nota: La reproducción únicamente puede ser total y deberá ser aprobado por F. Q. B. Laboratorios.  
 Los resultados se refieren únicamente a las muestras analizadas.  
 (\*) Análisis realizados por el personal de Ecoquimsa

**Fin del reporte**

2/2

Código: PHARMA20150802

Fuente: Laboratorios Analisa.

