



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

**DETERMINACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE REDUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS
CRÍTICOS CONTAMINANTES EN EL PERÍODO DE LA PUESTA EN MARCHA
DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS
INDUSTRIALES EN UNA INDUSTRIA FARMACÉUTICA**

Ana Fabiola Fernández Valenzuela

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, octubre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE REDUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS
CRÍTICOS CONTAMINANTES EN EL PERÍODO DE LA PUESTA EN MARCHA
DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS
INDUSTRIALES EN UNA INDUSTRIA FARMACÉUTICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANA FABIOLA FERNÁNDEZ VALENZUELA
ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Cesar Ariel Villela Rodas
EXAMINADORA	Inga. Dinna Lissette Estrada Moreira
EXAMINADORA	Inga. Ana Gloria Montes Peña
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

**DETERMINACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE REDUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS
CRÍTICOS CONTAMINANTES EN EL PERÍODO DE LA PUESTA EN MARCHA
DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS
INDUSTRIALES EN UNA INDUSTRIA FARMACÉUTICA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 5 de febrero de 2021.

Ana Fabiola Fernández Valenzuela

Ciudad de Guatemala, 01 de abril del 2022

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Facultad de Ingeniería
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado ingeniero Williams Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: "DETERMINACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE REDUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS CRÍTICOS CONTAMINANTES EN EL PERÍODO DE LA PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES EN UNA INDUSTRIA FARMACÉUTICA" elaborado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Ana Fabiola Fernández Valenzuela, quien se identifica con el registro académico 201602850 y con el CUI: 3001 97918 0101.

Agradeciendo la atención de la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,



Jorge Mario Estrada Asturias
ASESOR
Ingeniero Químico
Colegiado No. 685

Jorge Mario ESTRADA ASTURIAS
M. Sc. Ingeniero Químico Col. 685
PROFESOR TITULAR
Facultad de Ingeniería
Registro USAC 20080059



Guatemala, 19 de agosto de 2022.
Ref. EIQ.TG-IF.018.2022.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **075-2020**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Ana Fabiola Fernández Valenzuela**.
Identificado con número de carné: **3001979180101**.
Identificado con registro académico: **201602850**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación**.

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:

DETERMINACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE REDUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS CRÍTICOS CONTAMINANTES EN EL PERÍODO DE LA PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES EN UNA INDUSTRIA FARMACÉUTICA

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Jorge Mario Estrada Asturias, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido 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"

Carlos Salvador Wong Davi
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
COLEGIADO. NO. 561





LNG.DIRECTOR.195.EIQ.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **DETERMINACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE REDUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS CRÍTICOS CONTAMINANTES EN EL PERÍODO DE LA PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES EN UNA INDUSTRIA FARMACÉUTICA**, presentado por: **Ana Fabiola Fernández Valenzuela**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Williams G. Álvarez Mejía. M.I.Q., M.U.I.E.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, septiembre de 2022.

LNG.DECANATO.OI.663.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DETERMINACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE REDUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS CRÍTICOS CONTAMINANTES EN EL PERÍODO DE LA PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES EN UNA INDUSTRIA FARMACÉUTICA**, presentado por: **Ana Fabiola Fernández Valenzuela**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Ariabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, octubre de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mi guía a lo largo de la trayectoria de mi carrera profesional, por bendecirme y permitirme alcanzar una meta más en mi vida.
Mis padres	Ana María Valenzuela y Edy Fernández, a quienes amo. Por su apoyo incondicional, su cariño y su motivación en cada etapa de mi vida. Ustedes son mi ejemplo de padres y profesionales a seguir, su persistencia y lucha será siempre mi inspiración.
Mi Hermano	Javier Rodrigo. Por todo su cariño y apoyo durante mi carrera profesional. Que este triunfo sea un ejemplo de persistencia, porque sé que todo esfuerzo vale la pena.
Mis abuelitas	Ana Escalante y Teresa Arroyo. Por ser ejemplo de fuerza y valentía para mí. Que Dios las bendiga.
A mis amigos y familia en general	De la universidad y colegio. Por compartir este momento que significa mucho para mí.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala Por ser mi casa de estudios y alma mater.

AGRADECIMIENTOS A:

Facultad de Ingeniería	Por ser el lugar en el que viví los mejores momentos de mi etapa profesional, así como por haberme brindado mi formación académica.
Mis padrinos, tíos, primos y demás familia.	Por su apoyo incondicional en cada etapa profesional.
Mis amigos de la Facultad	Cindy Bonilla, Pedro Rivera, Sucely Aguirre, Luz María Hernández, Manuel Castro, Héctor Rodríguez y Cesia Mayorga. Por su amistad sincera y apoyo durante la carrera. Agradezco todos los momentos alegres que pasamos ya que con la mayoría he forjado una amistad desde el primer día de clases.
Mis amigos y compañeros del área de validaciones	Por ser un grupo único, alegre y de apoyo para mí durante las diferentes etapas de estudio en mi privado y tesis. Se les recuerda a todos con mucho cariño.
Departamento de mantenimiento	Roberto Ramírez y José Mazariegos Por su apoyo y colaboración. Así también por permitirme involucrarme en dicho tema de investigación y conocer acerca de la PTAR.

Ing. Jorge Mario Estrada

Por ser un profesor con mucha vocación y por apoyarme a lo largo de mi trabajo de graduación a pesar de las circunstancias de la pandemia.

Laboratorio de Agua del Instituto de Fomento Municipal

En especial al Ing. Jorge Mario Estrada y el analista Jorge González. Por permitirme hacer uso de las instalaciones y del equipo. A su vez, por apoyarme en la fase experimental del presente estudio de investigación.

La industria farmacéutica en la que laboro

Por ser la industria que me brindó la oportunidad de comenzar mi carrera laboral, así porque a través de sus procesos pude enriquecerme de nuevos conocimientos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Planta de tratamiento de aguas residuales.....	5
2.2. Etapas de tratamiento	6
2.2.1. Pretratamiento	6
2.2.1.1. Neutralización	7
2.2.2. Tratamiento primario.....	9
2.2.2.1. Sedimentación	10
2.2.2.2. Coagulación.....	11
2.2.2.3. Floculación.....	11
2.2.2.4. Flotación por aire disuelto.....	12
2.2.3. Tratamiento secundario	14
2.2.4. Digestores	14
2.2.4.1. Digestor aerobio	15
2.2.4.2. Contactador anóxico.....	17
2.2.5. Tratamiento terciario.....	17

	2.2.5.1.	Desinfección.....	17
	2.2.6.	Tratamiento de lodos.....	18
	2.2.6.1.	Lodos con tratamiento biológico.....	18
	2.2.6.2.	Lodos con tratamiento fisicoquímico	19
2.3.		Industria farmacéutica.....	20
	2.3.1.	Aguas industriales.....	21
	2.3.2.	Residuos líquidos de la industria farmacéutica	21
	2.3.3.	Parámetros contaminantes del agua.....	22
	2.3.4.	Parámetros de medición.....	24
	2.3.5.	Olores.....	25
	2.3.6.	Nitrógeno total.....	25
	2.3.7.	Sólidos suspendidos	25
	2.3.8.	Demanda biológica de oxígeno.....	25
	2.3.9.	Demanda química de oxígeno.....	26
2.4.		Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.....	26
	2.4.1.	Límites máximos permisibles de descargas de agua	26
	2.4.2.	Puesta en marcha de una PTAR.....	27
3.		DISEÑO METODOLÓGICO.....	29
	3.1.	Localización	29
	3.2.	Variables	29
	3.2.1.	Parámetros de contaminación.....	29
	3.2.2.	Variables independientes	31
	3.2.3.	Variables dependientes.....	32
	3.3.	Delimitación del campo de estudio.....	33
	3.4.	Recursos Humanos Disponibles	33
	3.5.	Recursos materiales disponibles.....	34

3.6.	Técnica cualitativa o cuantitativa	36
	Técnica cuantitativa:	36
3.6.1.	Toma de muestras de las aguas residuales	36
3.6.2.	Porcentaje de remoción de los tres parámetros críticos contaminantes	36
3.6.3.	Técnica utilizada en la medición de fósforo total	37
3.6.4.	Técnica utilizada en la medición de nitrógeno total	38
3.6.5.	Técnica utilizada en la medición de la demanda química de oxígeno	40
4.	RESULTADOS	43
4.1.	Evaluación de la situación previa del sistema	43
4.2.	Determinación de los parámetros críticos contaminantes	47
4.3.	Evaluación de la situación inicial durante la puesta en marcha.....	48
4.4.	Determinación de los porcentajes de reducción de los parámetros críticos contaminantes durante la puesta en marcha.....	49
4.5.	Eficacia del sistema con respecto a los límites establecidos por parte del diseño	54
4.6.	Límites de control para un óptimo funcionamiento	56
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	59
5.1.	Evaluación de la situación previa del sistema	59
5.2.	Determinación de los parámetros críticos contaminantes	61
5.3.	Evaluación de la situación inicial durante la puesta en marcha.....	61

5.4.	Determinación de los porcentajes de reducción de los parámetros críticos contaminantes durante la puesta en marcha	62
5.5.	Eficacia del tratamiento de acuerdo con los parámetros de diseño del Sistema de tratamiento de agua residual industrial y parámetros de control establecidos.....	65
CONCLUSIONES.....		67
RECOMENDACIONES.....		69
BIBLIOGRAFÍA.....		71
APÉNDICES.....		75
ANEXOS.....		101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Etapas de tratamiento de una PTAR.....	6
2.	Bombas dosificadoras de NaOH y HCl	8
3.	Controlador de pH.....	9
4.	Proceso de coagulación y floculación	12
5.	Sistema de flotación por aire disuelto.....	13
6.	Digestor aerobio de disco.....	16
7.	Interior de un tornillo deshidratador.....	20
8.	Productos farmacéuticos.....	21
9.	Termoreactor Hach	35
10.	Reactor Hach medición DQO.....	35
11.	Gráfico de DQO puntos 3 y 5 anterior al sistema de tratamiento	44
12.	Gráfico de nitrógeno total punto 3 y 5 anterior al sistema	45
13.	Gráfico de fósforo total punto 3 y 5 anterior al sistema tratamiento	45
14.	Gráfico de grasas y aceites punto 3 y 5 anterior al sistema	46
15.	Gráfico de pH punto 3 y 5 anterior al sistema	46
16.	Gráfico de sólidos suspendidos punto 3 y 5 anterior al sistema.....	47
17.	Reducción DQO en mg/L durante la puesta en marcha.....	49
18.	Reducción nitrógeno total en mg/L durante la puesta en marcha	50
19.	Reducción fósforo total en mg/L durante la puesta en marcha	51
20.	Comportamiento del pH en la entrada del sistema durante la puesta en marcha	52
21.	Comportamiento del pH en la salida del sistema durante la puesta en marcha	53

TABLAS

I.	Tipos de sedimentación	10
II.	Parámetros contaminantes del agua	22
III.	Límites máximos permisibles de descarga de aguas.....	27
IV.	Parámetros de contaminación del estudio de investigación.	30
V.	Parámetros críticos de contaminación para la determinación de su porcentaje de remoción en la puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	30
VI.	Variables independientes en la fase 1	31
VII.	Variables independientes en la fase 2	31
VIII.	Variables dependientes en la fase 1	32
IX.	Variables dependientes en la fase 2	32
X.	Recursos materiales utilizados	34
XI.	Resultados fisicoquímicos punto 3 del 2016 al 2019	43
XII.	Resultados fisicoquímicos punto 5 del 2016 al 2019	44
XIII.	Parámetros críticos contaminantes establecidos	48
XIV.	Inicio de la puesta en marcha del sistema de aguas residuales	48
XV.	Porcentajes de reducción DQO en mg/L durante la puesta en marcha.....	49
XVI.	Porcentajes de reducción de nitrógeno total en mg/L durante la puesta en marcha	50
XVII.	Porcentajes de reducción de fósforo total en mg/L durante la puesta en marcha.....	51
XVIII.	Reducción de pH dentro del valor de norma durante la puesta en marcha.....	52
XIX.	Resultados de DQO en mg/L con respecto a los valores proyectados del diseño en la descarga	54

XX.	Resultados de nitrógeno en mg/L con respecto a los valores proyectados de diseño en la descarga.....	54
XXI.	Resultados de fósforo total en mg/L con respecto a los valores proyectados de diseño en la descarga.....	55
XXII.	Resultados de pH con respecto a los valores proyectados de diseño en la descarga.....	56
XXIII.	Límites de control establecidos para el proceso fisicoquímico de la planta.....	56

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HCl	Ácido clorhídrico
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
DAF	Flotación por aire disuelto
P	Fósforo
°C	Grados Celsius
g	Gramo
L	Litro
L/h	Litro por hora
m³/h	Metro cúbico por hora
mg	Miligramo
mg/L	Miligramos por litro
mL	Mililitro
N	Nitrógeno
ppm	Partes por millón
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno

GLOSARIO

Ácido clorhídrico	También conocido como ácido muriático, es un ácido fuerte y corrosivo el cual se usa como químico para tratar el agua captada en el tanque homogenizador y se utiliza para reducir el pH del agua a un valor neutro.
Afluente	El agua captada por un ente generador.
Aguas industriales	Aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de estas.
Aguas residuales	Son todas aquellas que resultan después de haber sido utilizadas en una industria, comunidad o domicilio que contienen una alta carga de contaminantes como materia orgánica disuelta o suspendida, grasas, detergentes y en ocasiones sustancias tóxicas.
Demanda biológica de oxígeno	Cantidad de oxígeno necesario para la degradación y oxidación biótica de compuestos orgánicos en elementos de agua.

Demanda química de oxígeno	Cantidad de oxígeno consumido en la oxidación de la materia orgánica y materia inorgánica oxidable, bajo condiciones de prueba
Efluente	Salida de agua de la planta de tratamiento de aguas residuales a un cuerpo receptor.
Ente generador	La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, y cuyo efluente final se descarga a un cuerpo receptor.
Floculante	Sustancia química que aglutina sólidos en suspensión en el agua provocando un aumento de tamaño y peso para sedimentar con facilidad.
Nitrógeno total	Relación entre la suma de los valores de nitratos, nitritos, nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal muestreados en un punto.
Puesta en marcha	Período en el que el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales se regula, y se equilibra a través de los equipos que lo conforman para cumplir con su funcionamiento.

Rasqueta	Planchas fabricadas en fibra de vidrio instaladas en el sistema de flotación por aire disuelto, su función es arrastrar la cama de lodos generados en el sistema hasta la tolva que recibe los lodos.
Sedimentación	Proceso por el cual se depositan o precipitan las partículas sólidas en el fondo de un sistema líquido, debido a la gravedad.
Sólidos totales	Incluye todo el material disuelto y en suspensión en una muestra de agua residual.

RESUMEN

El presente estudio de investigación evaluó el comportamiento y la eficacia de la puesta en marcha de una planta de tratamiento de residuos líquidos industriales, a través de la determinación de los porcentajes de remoción de diferentes parámetros críticos contaminantes. Se realizó un diagnóstico a la situación previa a la instalación del sistema de tratamiento agua ya que en la industria no poseían un sistema con las diferentes etapas de remoción, con el fin de conocer que parámetros contaminantes debían ser reducidos.

El diagnóstico fue realizado con la recolección de los análisis fisicoquímicos de 4 años: 2016 a 2019 previos al sistema actual sistema de aguas residuales, seleccionando los parámetros que sobrepasaron los límites máximos permisibles de contaminación según el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Los parámetros, en la industria de fármacos, de mayor criticidad de contaminación fueron: DQO, nitrógeno, fósforo y pH.

Para la determinación de los porcentajes de remoción de cada uno de estos, se establecieron los valores antes y después del tratamiento respectivo durante 26 semanas de noviembre 2020 hasta abril 2021 de la puesta en marcha. Se tomaron muestras de aguas residuales de volumen constante durante este período de tiempo. Cada una de las muestras fueron analizadas a través de los siguientes métodos: técnica de la determinación fósforo de digestión con persulfato ácido, técnica nitrógeno de digestión con persulfato TNT y el Método 8 000, DQO, procedimientos seleccionados del manual de Hach.

Posteriormente se determinaron los porcentajes de remoción para cada uno de los parámetros críticos contaminantes. El Sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria farmacéutica fue eficaz para la remoción de DQO obteniendo porcentajes de reducción en un rango del 98,25 a 93,48 %. Para la remoción de nitrógeno se obtuvieron porcentajes de reducción en un rango del 96,08 a 26,71 % y para el fósforo porcentajes de reducción en un rango del 99,25 a 70,13 %.

En base a los resultados se determinó que el sistema de tratamiento de residuos líquidos en la industria farmacéutica fue eficaz para disminuir valores de DQO, nitrógeno fósforo y neutralizar el pH cumpliendo con la normativa ambiental vigente. Por último, se realizó un análisis estadístico, utilizando un nivel de confianza del 95 % y se determinó que únicamente los % de remoción de DQO fueron constantes en los meses de enero, marzo y abril de la puesta en marcha 2021, siendo estos mayores a un 90 % con afluentes de concentración de hasta 2 755 ppm.

OBJETIVOS

General

Determinar los porcentajes de remoción de parámetros críticos contaminantes en el período de la puesta en marcha de un sistema de tratamiento de residuos líquidos industriales en una industria farmacéutica ubicada en el municipio de Villa Nueva.

Específicos

1. Realizar una evaluación de las mediciones de parámetros contaminantes previas a la planta de tratamiento de aguas residuales.
2. Determinar los parámetros críticos de contaminación según el Reglamento de las Descargas y de Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos.
3. Realizar una evaluación de la situación inicial al tratamiento de los residuos líquidos industriales en su puesta en marcha.
4. Evaluar la eficacia de remoción de los parámetros críticos contaminantes durante la puesta en marcha del tratamiento de las aguas residuales de la industria farmacéutica.

5. Evaluar la eficacia del tratamiento propuesto para el cumplimiento de la legislación de acuerdo con los parámetros de diseño del sistema de tratamiento de agua residual industrial.
6. Establecer los límites de control necesarios para un óptimo funcionamiento del sistema.

Hipótesis

Hipótesis Conceptuales

Es posible que el sistema implementado reduzca de manera eficaz los parámetros de contaminación críticos y cumplan con la cuarta fase del Reglamento de las Descargas y de Reuso de Aguas Residuales y Disposición de lodos.

Es posible que, utilizando un sistema de flotación por aire disuelto, disminuyan los porcentajes de reducción de la DQO en el periodo de la puesta en marcha del sistema implementado.

Los parámetros críticos de contaminación en la industria farmacéutica son: pH, DQO y sólidos en suspensión.

Hipótesis Estadísticas

Hipótesis nulas:

$H_{0,1}$: El porcentaje de reducción del primer parámetro crítico contaminante del sistema del tratamiento de aguas residuales varía en función del tiempo en la puesta en marcha, en los meses de; enero, marzo y abril 2021.

$H_{0,2}$: El porcentaje de reducción del primer parámetro crítico contaminante del sistema de tratamiento de aguas residuales varía en función del tiempo en la puesta en marcha, en los meses de enero, marzo y abril 2021.

H_{0,3}: El porcentaje de reducción del primer parámetro crítico contaminante del sistema inicial del tratamiento de aguas residuales varía en función del tiempo en la puesta en marcha, en los meses de enero, marzo y abril 2021.

Hipótesis alternativas:

H_{a,1}: El porcentaje de reducción del primer parámetro crítico contaminante no varía en función del tiempo en la puesta en marcha, en los meses de enero, marzo y abril 2021.

H_{a,2}: El porcentaje de reducción del segundo parámetro crítico contaminante no varía en función del tiempo en la puesta en marcha, en los meses de enero, marzo y abril 2021.

H_{a,3}: El porcentaje de reducción del tercer parámetro crítico contaminante no varía en función del tiempo en la puesta en marcha, en los meses de enero, marzo y abril 2021.

INTRODUCCIÓN

La industria farmacéutica se dedica a la elaboración de productos medicinales para su exportación y venta. Los fármacos contienen principios activos y excipientes para su formulación que caracterizan al producto por su composición química. La producción de los medicamentos genera residuos líquidos industriales que deben ser tratados para su disposición ya que, de no serlo, las aguas residuales de este tipo de industria generarían un gran impacto a los sistemas hídricos del país (Alvariño, 2006).

Es por ello que las industrias farmacéuticas deben de contar con sistemas de tratamiento de residuos líquidos industriales a fin de cumplir con la normativa ambiental y crear consciencia sobre el cuidado de los recursos hídricos (Nassiri Koopaei & Abdollahi, 2017). Al momento de su instalación, las plantas de tratamiento atraviesan una etapa denominada Puesta en Marcha con la finalidad de obtener los parámetros óptimos de funcionamiento y la mayor eficiencia de remoción de contaminantes. Las plantas de tratamiento se caracterizan por tener las siguientes etapas: Pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario teniendo como objetivo dos principales vías de remoción: fisicoquímica y biológica (Alvariño, 2006). El siguiente estudio de investigación tiene la finalidad de evaluar el periodo de la puesta en marcha de un Sistema de Tratamiento de Residuos Líquidos Industriales en una Industria farmacéutica a fin de dar cumplimiento con la normativa ambiental vigente del país.

El estudio abarcará desde el estudio previo a la implementación del sistema, su evaluación en la puesta en marcha, la determinación de los parámetros críticos, los porcentajes de reducción de contaminación y los parámetros de

control para que la planta de tratamiento sea eficaz a lo largo de los años de su funcionamiento y cumpla con la normativa ambiental vigente.

1. ANTECEDENTES

A través del tiempo las plantas de tratamiento de aguas residuales han experimentado cambios, y posibles alternativas que mejoran su eficiencia. Según un artículo científico realizado por el Centro Nacional de Investigaciones de Cuba en el 2005, hace énfasis en el estudio del tratamiento de aguas de la industria farmacéutica, en el cual se realizó la caracterización de dichos efluentes. Los resultados obtenidos indicaron que el tratamiento de aguas industriales de este tipo debe contar con tratamientos primarios preliminares y primarios con una separación previa por corrientes con componentes oleaginosos y sólidos mediante el uso de trampas de grasas, trampas de sólidos, cámara de rejas para residuos provenientes de procesos de producción (Ramos et al., 2005).

En dicho estudio resaltan la importancia de que las corrientes deben homogenizarse ya que pueden presentar cargas orgánicas altas y grandes variaciones de pH. A su vez, mencionan que el tratamiento de aguas residuales debe contar con un proceso de neutralización puesto que este tipo de residuos se caracterizan por ser altamente ácidos. Las corrientes de aguas industriales de planta de producción presentaron las siguientes características: baja carga orgánica, relaciones de DBO/DQO en su mayoría superiores a 0,4 y halos de inhibición con organismos aerobios pequeños.

El centro de investigación de Cuba hace constar que las tecnologías empleadas en el tratamiento de estos efluentes pueden ser a través de un tratamiento mediante lodo activado para una corriente en particular, a través de la sedimentación para corrientes específicas, homogenización de todas las corrientes y chequeo del pH a $7 \pm 0,5$. Otros parámetros necesarios para la

operación de un sistema de tratamiento de agua es el ajuste de la temperatura a la entrada de los filtros anaerobios y filtración fina de los efluentes luego del tratamiento anaerobio, así como la extracción de los lodos hacia su tratamiento y su secado correspondiente (Ramos et al., 2005).

En el año 2006, se publicó un artículo científico realizado por Caridad Ramos en la revista CENIC con relación a la presencia y eliminación de compuestos farmacéuticos en plantas de tratamientos de aguas residuales. El trabajo tuvo como objetivo realizar un análisis de los valores de la concentración media de compuestos farmacéuticos de consumo humano en plantas de tratamiento a nivel mundial, así como su eficiencia de remoción según las diferentes etapas de tratamiento.

Los resultados obtenidos del estudio de investigación demostraron que muchos fármacos son persistentes en el ambiente siendo resistentes a los procesos convencionales de remoción de contaminantes de aguas residuales, distribuyendo entre la fracción disuelta y los sólidos presentes, por lo que dependerá de las propiedades fisicoquímicas de cada fármaco. (Correia y Marcano, 2016). Así mismo, el estudio concluye que estrategias de tratamiento como la modificación de las condiciones de funcionamiento, la implementación de las nuevas tecnologías y la instalación de unidades de postratamiento avanzadas son una opción para la remoción de contaminantes.

El contenido de carga contaminante influye en el proceso productivo de las industrias, es por ello que cada industria puede establecer diferentes tipos de tratamientos. Uno de ellos es denominado flotación por aire disuelto, por su acrónimo en inglés DAF. Este tipo de tratamiento es aplicado en las industrias como: cosmética, aceites y grasas, textiles, entre otros. En Colombia, se realizó un trabajo de graduación enfocado en un sistema de flotación por aire disuelto

en el que concluye que esta tecnología presentó una eficiencia del 80% de parámetros como DQO, sólidos suspendidos, turbidez y grasas y aceites. Una de las recomendaciones de este estudio es la digestión de lodos que evita el perjuicio de las personas cercanas a la planta y la proliferación de malos olores y vectores por su descomposición (Bolaño, A., 2009).

En la Universidad de San Carlos de Guatemala, se presentó un estudio de investigación en el 2018 en base al diseño de un plan de gestión para el tratamiento de aguas residuales en una industria manufacturera farmacéutica. Este plan de gestión logra documentar las fases, procedimientos y estructura un modelo para una mejor comprensión de los procesos en la planta de tratamiento de aguas residuales de dicha industria. El estudio realizado demuestra que los parámetros críticos de contaminación fueron DQO, sólidos suspendidos los cuales tuvieron mayor importancia para cumplir con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Planta de tratamiento de aguas residuales

Una planta de tratamiento de aguas residuales es un sistema que engloba una serie de etapas para la selección, evaluación, y diseño de operaciones que emplean procesos fisicoquímicos y biológicos con el fin de tratar aguas residuales eliminando o disminuyendo sus contaminantes.

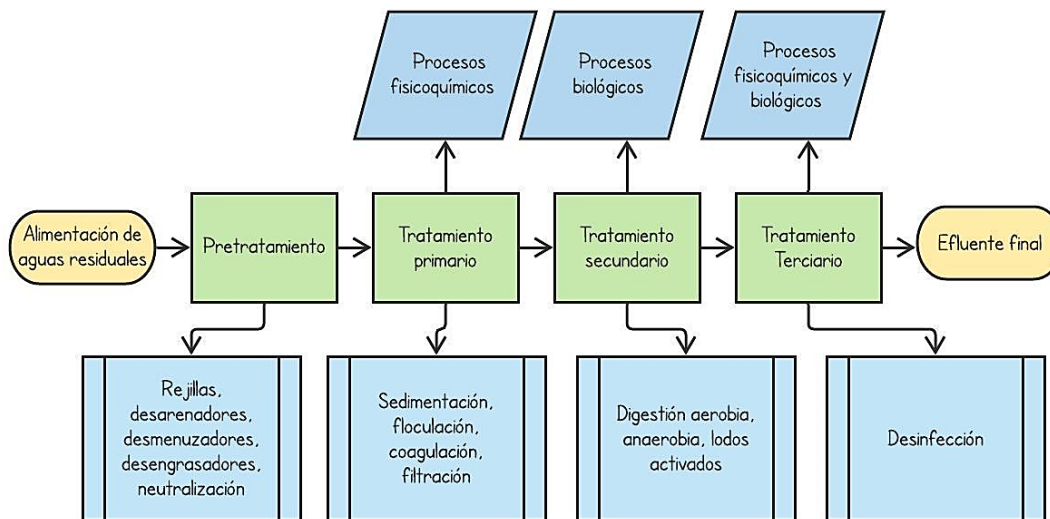
Una planta debe de ser diseñada en base a la proyección que enfrentará sobre las condiciones de operación tal como los caudales de las aguas residuales y la caracterización de carga contaminante. Es importante que las instalaciones relacionadas al tratamiento de los efluentes puedan incrementar su efectividad de reducción de parámetros contaminantes, que cuenten con las operaciones adecuadas para su eliminación y minimicen los olores emitidos de los residuos líquidos.

Según el diseño óptimo de una PTAR dependerá de elementos necesarios tales como:

- El origen de las aguas residuales: caudales a tratar, evaluación de las características y contaminantes que contiene el agua residual.
- Control o pretratamiento: antes de su vertido.
- Transporte y bombeo: estaciones de bombeo, e impulsión de ellas hacia las diferentes etapas de tratamiento.
- Tratamiento: las operaciones unitarias y procesos idóneos para tratar dicha agua residual.

- Evacuación y reutilización: evaluar si el efluente o fangos puede llegar a ser reutilizado, o su forma de evacuación al alcantarillado.

Figura 1. **Etapas de tratamiento de una PTAR**



Fuente: elaboración propia, realizado con Lucidchart.

2.2. Etapas de tratamiento

Las etapas de tratamiento pueden clasificarse en pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario.

2.2.1. Pretratamiento

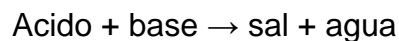
Como su nombre lo indica, es la etapa previa que se lleva a cabo en el tratamiento de la PTAR. Se caracteriza por ser la preparación de las aguas residuales al momento de acondicionarlas utilizando dispositivos y estructuras que facilitan su tratamiento y protegen de afluentes con alta carga de elementos

de gran tamaño. (Mackenzie, 2005). Se pueden incluir equipos como rejillas de barra, cámaras de desarenado, tamices, trampas de grasas y desmenuzadores.

Las aguas residuales que ingresan a la planta de tratamiento contienen un grado de acidez alto, por lo que también se neutralizan utilizando soda caústica ya que evita corrosión en las tuberías y daños en el equipo.

2.2.1.1. Neutralización

La neutralización es el tratamiento que se le aplica a las aguas residuales para que su pH llegue al equilibrio ya que las aguas provenientes de las industrias contienen valores altos de acidez o alcalinidad. Esto se genera a través de la teoría de los ácidos y bases de Arrhenius, en la cual al momento de mezclar una solución ácida con una alcalina produciendo determinados iones.



Para cumplir con la normativa ambiental, algunas industrias realizan la neutralización previa a tratamientos fisicoquímicos y biológicos. Especialmente en los procesos biológicos, se requiere que las aguas residuales disminuyan sus valores de la demanda química biológica.

El proceso de neutralización para aguas industriales con valores altos de acidez se realiza agregando óxido de calcio CaO, hidróxido de sodio NaOH, hidróxido de magnesio Mg(OH)₂, entre otros. (Bermeo Garay, 2017). Para las aguas alcalinas, se le añaden comúnmente: ácido sulfúrico H₂SO₄, ácido clorhídrico HCl o muriático.

Existen diferentes métodos para realizarlo:

- Homogenización: este método comúnmente se realiza en tanques de homogenización permitiendo mezclar los vertidos industriales u ordinarios. Adicionalmente, el tanque homogenizador permitirá regular el caudal que ingresa al sistema de tratamiento fisicoquímico, minimizando los picos de caudal que se tienen en las descargas de aguas residuales industriales.
- Control directo de pH: a través de bombas dosificadoras de ácido o base. En procesos de flujo continuo, el control del pH es automático; si se usa aire para mezcla, se recomienda una tasa de 0,3 a 0,9 m³ /min para tanques de 3 m de profundidad. (Bermeo Garay, 2017). En la figura No. 2 se muestran las bombas dosificadoras de ácido y base que la industria farmacéutica posee. En la Figura 3 se muestra un sensor controlador de pH marca LMI envía señal al PLC para controlar las bombas.

Figura 2. **Bombas dosificadoras de NaOH y HCl**



Fuente: [Fotografía de Fabiola Fernández]. (Planta de tratamiento, 2021).
Colección particular. Guatemala.

Figura 3. **Controlador de pH**



Fuente: [Fotografía de Fabiola Fernández]. (Planta de tratamiento, 2021).
Colección particular. Guatemala.

2.2.2. Tratamiento primario

Se caracteriza por el tratamiento de aguas residuales mediante procesos de separación físico o químico. En esta etapa, las aguas residuales provenientes del pretratamiento aún poseen sólidos en suspensión por lo que pasan por dichos procesos de separación a fin de reducir la materia suspendida. Los sólidos en suspensión pueden ser eliminados a través de las operaciones de sedimentación, flotación, coagulación y flotación y filtración.

2.2.2.1. Sedimentación

Es la operación de separación, por acción de gravedad, de partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. A través de este proceso se obtienen efluentes clarificados o fangos con una menor concentración de materia en suspensión permitiendo un mejor tratamiento (Metcalf & Eddy, 1995).

En la siguiente tabla se describen los tipos de sedimentación en el tratamiento de aguas:

Tabla I. Tipos de sedimentación

Tipo de sedimentación	Descripción	Aplicación	Ejemplos
I: Partículas discretas	Sedimentación de partículas en una suspensión que posee baja concentración de sólidos. Las partículas sedimentan individualmente.	Se utiliza para partículas discretas y aisladas en soluciones diluidas. Eliminación de arena	Desarenadores
II: Floculenta	La suspensión es bastante diluida de partículas que se agregan durante el proceso. Al unirse, aumentan de masa y sedimentan mucho más rápido.	Eliminación de una fracción de sólidos en suspensión de aguas residuales en los tanques de sedimentación. Elimina flóculos químicos de los tanques de sedimentación	Sedimentadores de agua potable (con coagulación-floculación previas) y decantadores

Continuación de la Tabla I

Tipo de sedimentación	Descripción	Aplicación	Ejemplos
Retardada o zonal	La suspensión de sólidos es de concentración intermedia. Las partículas tienden a permanecer en posiciones fijas.	Se da en la interfase sólido líquido de la parte superior en que la masa sedimenta.	Sedimentadores de tratamiento biológico y decantadores de flujo ascendente
Compresión	Suspensiones de alta concentración. Contacto íntimo entre las partículas de tal manera que se forma una estructura.	Se produce en las capas inferiores del fango de gran espesor.	Decantadores secundarios profundos. Compactación de lodos en sedimentadores.

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995, Lozano Rivas, 2016.

2.2.2.2. Coagulación

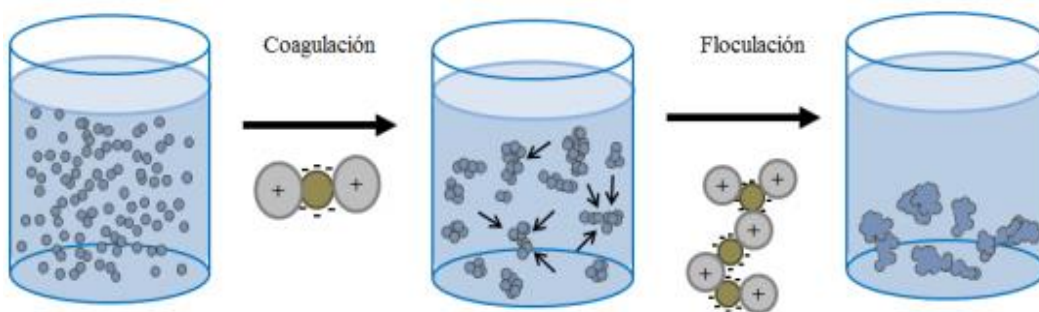
La coagulación es la desestabilización de partículas coloidales que se encuentran en suspensión en las aguas residuales a través de la disminución de las fuerzas de repulsión para favorecer la aglomeración en la floculación. Los principales coagulantes que se utilizan hoy en día son: sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, aluminato de sodio $NaAlO_2$, cloruro de aluminio $AlCl_3$, cloruro férrico $FeCl_3$, sulfato férrico $Fe_2(SO_4)_3$ y sulfato ferroso $FeSO_4$.

2.2.2.3. Floculación

Es generada por la agitación de masa coagulada, los flóculos crecen y se aglomeran para ser removidos al momento de sedimentarse. El floculante crea un puente entre las partículas coloidales aglomeradas que forman los flóculos de

mayor tamaño y peso. La floculación y la coagulación son procesos que se pueden llevar de forma simultánea para lograr remover solidos contaminantes en el agua tal y como se describe en la figura siguiente.

Figura 4. **Proceso de coagulación y floculación**



Fuente: Quiroga, A. et al. (2019). *Polímeros inorgánicos como coagulantes en el tratamiento de aguas residuales*.

2.2.2.4. **Flotación por aire disuelto**

Este proceso se caracteriza por la separación de sólidos en suspensión o sustancias coloidales de una fase líquida. Al introducir burbujas de aire de las aguas residuales, estas se adhieren a la materia en suspensión reduciendo su densidad provocando que dichos sólidos floten y sea más práctica su remoción. (Bolaño, 2009). Este sistema es eficiente en la remoción de:

- Partículas de baja densidad
- Grasas y aceites
- Algas
- Pulpa de papel

Para dicho mecanismo existen sistemas DAF los cuales inician su proceso al momento que el afluente se recircula y se satura con aire bajo presión en una celda de presurización. En este equipo, el agua se sobresatura de aire al momento que se libera la presión y este es liberado en forma de microburbuja formando aglomerados con las partículas. En los sistemas de flotación se aplica un coagulante y floculante para la formación de flóculos. En la flotación, la velocidad de proceso es determinada por un equilibrio de fuerzas, que incluye gravedad, fuerza y la resistencia que ofrece el floculador para desplazarse (Velásquez, S., 2005).

Figura 5. **Sistema de flotación por aire disuelto**



Fuente: [Fotografía de Fabiola Fernández]. (Planta de tratamiento, 2021). Colección particular. Guatemala.

En la Figura 5 se muestra el sistema de flotación por aire disuelto FRC-2 fabricado por Toro Equipment, ubicado en la industria farmacéutica en la que se ejecutó dicho estudio de investigación. El sistema consta de un flotador, sistema de recirculación de polielectrolito y recipiente de saturación de aire, sistema

rascador de lodos y dispositivos de seguridad que resguardan la integridad física de los operarios.

2.2.3. Tratamiento secundario

El agua residual que ingresa a la etapa del tratamiento secundario contiene una cantidad considerable de DBO y materia orgánica. Es por ello por lo que se emplean procesos biológicos para eliminar la contaminación orgánica presente en los residuos líquidos. Convencionalmente se utilizan microorganismos que transforman la materia orgánica disuelta en gases y protoplasma (Mackenzie et al., 2005). Básicamente, en esta etapa es donde se genera una reacción de oxidación de la materia orgánica. También se le conoce como la etapa de transformación de componentes biodegradables, a través de reacciones en presencia o ausencia de oxígeno, en productos finales aceptables.

2.2.4. Digestores

Los digestores son tanques cerrados donde la materia orgánica y agua se transforma por acción de los microorganismos en un efluente con contaminante, biogás, entre otros. (Malacalza, 2013).

Los tanques digestores se pueden clasificar de la siguiente manera:

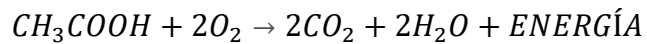
- a) Según el tipo de mezcla:
 - Manual
 - Mecánico

- b) Según la calefacción:
 - Solar
 - Serpentes
- c) El número de cámaras de digestión:
 - Monofásico
 - Bifásico
- d) Según el sistema de alimentación:
 - Continuo
 - Discontinuo
- e) Según su diseño:
 - Tipo hindú: Es de tipo vertical y cuenta con una campana que permite acumular el biogás y darle presión
 - Tipo chino o de cúpula fija
 - Tipo horizontal
- f) Según su material de construcción: mampostería, plástico, fibra de vidrio, chapa galvanizada.

2.2.4.1. Digestor aerobio

En el tratamiento de aguas residuales, entre los procesos en los que se emplea la transferencia de gases, se encuentra la aireación en el proceso de digestión aerobia de la materia orgánica. Para dicho proceso es utilizado el digestor aerobio, un tanque cerrado con aireación en el que las bacterias rompen la materia orgánica, la estabilizan y reducen los microorganismos patógenos que se encuentran en dicho equipo. Este tipo de equipos produce más cantidad de lodo biológico, es más rápida, más eficiente y no produce mal olor (Mackenzie et al., 2005).

La reducción de agua en ellos es mínima, incrementando su volumen, por lo que es necesario eliminarla a través de equipos para deshidratar lodos. La reacción de biodegradación es la siguiente:



Existen digestores aerobios de tipo burbuja fina en el que estas burbujas les transfieren a los microorganismos el oxígeno suficiente para que puedan descomponer los residuos de las aguas residuales. A través de dispositivos mecánicos. “Cuanto menor sea el tamaño de las burbujas mayor será la superficie de contacto por unidad de contacto y la difusión del oxígeno en el agua de tratamiento es más eficiente. Los difusores se van clasificando según su geometría como difusor de disco o tubular.

Figura 6. **Digestor aerobio de disco**



Fuente: [Fotografía de Fabiola Fernández]. (Planta de tratamiento, 2021). Colección particular. Guatemala.

2.2.4.2. Contactor anóxico

Un contactor anóxico es un tanque homogenizador, que, mediante la mezcla de su contenido, hace que disminuyan las variaciones en concentraciones de las aguas residuales que entran al proceso. El agua residual entra a un tanque de aireación a través de un proceso de conversión de materia orgánica en CO₂ y agua, así como otro material celuloso llamado lodo. En ausencia de oxígeno disuelto se retira el oxígeno requerido del nitrato efectuando la desnitrificación y la reducción de nutrientes en general.

2.2.5. Tratamiento terciario

Este implica la depuración final de los contaminantes de los efluentes provenientes del tratamiento secundario. Se dedica a pulir e incrementar su porcentaje de eliminación de contaminantes. Este proceso puede llegar a ser empleado para aguas que logren abastecer necesidades industriales, agrícolas, entre otros. Este tratamiento puede ser por vías de remoción fisicoquímico o biológico.

2.2.5.1. Desinfección

El agua residual proveniente del tratamiento secundario de la PTAR contiene microorganismos en el agua, que a través de la desinfección puede llegar a reducir una cantidad significativa de ellos. En la mayoría de las plantas de tratamiento se inyecta cloro al agua a través de dispositivos automáticos y se espera a que este reactivo reaccione para la eliminación de patógenos. (Mackenzie et al., 2005).

2.2.6. Tratamiento de lodos

El tratamiento de lodos puede ser biológico o fisicoquímico como se describirá en las siguientes secciones.

2.2.6.1. Lodos con tratamiento biológico

El tratamiento de lodos se enfoca en estabilizarlos degradando sustancias orgánicas, reduciendo olores y eliminando sustancias patógenas que contienen. Se caracterizan por ser el producto de la concentración de los sólidos contenidos en el efluente o de la formación de nuevos sólidos suspendidos (lodos activados) resultantes de los sólidos disueltos. En otras palabras, son el material del fondo de los tanques de sedimentación primaria y secundaria de los sistemas de filtración biológica y de algunos tipos de tanques de aireación (Belzona Inc., 2010).

Los lodos contienen componentes orgánicos del agua residual, así como muchos tipos de bacterias y microorganismos. Se componen por poseer una fracción de materia sólida y de microorganismos involucrados en el tratamiento biológico que se le da reduciendo los parámetros contaminantes y compuestos carbonados. Se deshidratan con mayor facilidad en áreas de secado, o llegan a adquirir un color marrón oscuro-negro y su olor es relativamente débil (Amador-díaz et al., 2015).

Los lodos activados, de apariencia floculenta y de color marrón, son aquellos que entran a un tanque de aireación en el cual se desarrollan para luego ser sedimentados y volver a recircular hasta culminar el ciclo al ser eliminados del sistema.

Los lodos activados se refieren a una mezcla de microorganismos y sólidos en suspensión. El cultivo bacteriano se cultiva en el proceso de tratamiento para descomponer la materia orgánica en dióxido de carbono, agua y otros compuestos inorgánicos.

Comúnmente los lodos activados constan de los siguientes componentes:

- Clarificador primario para separar los sólidos transportados junto con las aguas residuales / efluentes.
- Un tanque digestor en el que los microorganismos se mantienen en suspensión, aireados y en contacto con los desechos que están tratando.
- Un sistema de recirculación de lodos para devolver los lodos activados al comienzo del proceso.

2.2.6.2. Lodos con tratamiento fisicoquímico

Son lodos a los que se les aplican procesos físicos o químicos tales como adición de coagulantes como hidróxido de sodio para lograr la sedimentación de estos. El color del floculo que se obtenga va a depender del tipo de coagulante y cantidad que se le agregue ya sean: sulfato de aluminio, sulfato férrico, cloruro férrico, etc., ya que una elevada dosis puede provocar grandes cantidades de lodos y una menor reducción de patógenos.

Figura 7. Interior de un tornillo deshidratador



Fuente: [Fotografía de Fabiola Fernández]. (Planta de tratamiento, 2021).
Colección particular. Guatemala.

2.3. Industria farmacéutica

Las farmacéuticas elaboran medicamentos considerados como sustancias químicas fabricadas de manera sintética o natural para prevenir o combatir enfermedades y reducir efectos en el organismo. Los principios activos y excipientes de los medicamentos dependen del uso y forma farmacéutica de ellos, los cuales pueden ser: sólidos, semisólidos, líquidos, inyectables entre otros.

Dentro de la industria farmacéutica se generan grandes cantidades de residuos líquidos que provienen de etapas de producción de principios activos, antibióticos, molienda, mezcla y muchas más.

Figura 8. **Productos farmacéuticos**



Fuente: Consultor salud (2018). *Lista de medicamentos de control especial: Proyecto Resolución.*

2.3.1. Aguas industriales

Las aguas residuales industriales son un tipo de agua cuya calidad es afectada de manera negativa por influencia antropogénica, contienen variedad de contaminantes y dependen de su concentración y cantidad por el tipo de industria que evacuen sus vertidos a cuerpos receptores. Según la Agencia de protección ambiental EPA, por sus siglas en inglés, se establecen tres categorías de contaminantes: convencionales, no convencionales y prioritarios. Dentro de los contaminantes convencionales de regulaciones federales se encuentran la demanda bioquímica de oxígeno, sólidos sedimentables totales, grasas, aceites y pH.

2.3.2. Residuos líquidos de la industria farmacéutica

La industria farmacéutica por sus diferentes modalidades en las operaciones produce residuos de variadas composiciones y concentraciones. El agua es utilizada en los procesos de saneamiento de los equipos, los recipientes y los envases primarios. El agua residual es caracterizada por contener residuos

de productos químicos, como sobrantes de fármacos y/o detergentes utilizados en la limpieza (Martínez et al., 2018).

Las aguas residuales provenientes de este tipo de industria suelen ser ácidas, contienen grandes concentraciones de compuestos orgánicos y sólidos totales.

Es importante que en el pretratamiento y tratamiento primario se cuente con cámara de rejas para residuos provenientes de procesos de producción, homogenización de las corrientes, equipo de neutralización, y en el proceso biológico digestores para reducir su carga orgánica.

2.3.3. Parámetros contaminantes del agua

Los parámetros contaminantes del agua pueden ser categorizados de la siguiente manera:

Tabla II. Parámetros contaminantes del agua

Parámetro	Descripción
Sólidos suspensivos	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO y de la DQO. Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.

Continuación de la Tabla II

Parámetro	Descripción
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como fosforo junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada.
Patógenos	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
Contaminantes prioritarios	Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, o toxicidad, conocida o sospechada, muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales. Puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua.

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

2.3.4. Parámetros de medición

Según el artículo 16 del Reglamento¹ los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales son:

- Temperatura
- Potencial de hidrógeno
- Grasas y aceites
- Materia flotante
- Sólidos suspendidos totales
- Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius
- Demanda química de oxígeno
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Arsénico
- Cadmio
- Cianuro total
- Cobre
- Cromo hexavalente
- Mercurio
- Níquel
- Plomo
- Zinc
- Color
- Coliformes fecales

A continuación, se describirán parte de ellos:

¹ Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Acuerdo Gubernativo 236-2006, 2006 de Guatemala.

2.3.5. Olores

Los olores en las aguas industriales son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual se caracteriza por tener un olor peculiar. Las aguas residuales Industriales pueden contener compuestos olorosos o con tendencia a producir olores de los procesos de tratamiento. (Metcalf and Eddy, 1995).

2.3.6. Nitrógeno total

Relación entre la suma de los valores de nitratos, nitritos, nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal muestreados en una estación y el número total de muestreos realizados en la misma. Es la sumatoria de la suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas de proteínas y ácidos nucleicos en diversos estados de degradación, ureas, amina. E inorgánicas como amonio NH_4^+ , nitrato NO_3^- y nitrito NO_2^- .

2.3.7. Sólidos suspendidos

Son partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución. Estos solidos pueden ser separados a través de medios físicos y pueden llegar a asociarse con la turbidez del agua.

2.3.8. Demanda biológica de oxígeno

Es la cantidad de oxígeno, medido en el mg/L, que es requerido para la descomposición de la materia orgánica por los organismos unicelulares, bajo condiciones de prueba. Se utiliza para medir la cantidad de contaminación orgánica en aguas residuales.

2.3.9. Demanda química de oxígeno

Es la cantidad de oxígeno, medido en mg/L, que es consumido en la oxidación de materia orgánica y materia inorgánica oxidable, bajo condiciones de prueba. Es usado para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales. Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles a ser oxidadas por medios químicos, disueltas en un medio líquido. (Sabina, 2017, p.16).

2.4. Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos

Este reglamento se basa en establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reuso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos. Al momento de realizarle tratamiento a las aguas residuales, mejora sus características estableciendo en el artículo 1 lo siguiente:

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

2.4.1. Límites máximos permisibles de descargas de agua

Según el Reglamento de Descarga de Aguas Residuales, un límite máximo permisible es aquel el valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reuso y lodos.

En la siguiente tabla se establecen las fechas máximas de cumplimiento que la planta de tratamiento de la industria farmacéutica debe cumplir.

Tabla III. **Límites máximos permisibles de descarga de aguas**

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	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	< 1x10 ⁸	< 1x10 ⁶	< 1x10 ⁵	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Fuente: Artículo 20. Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.

2.4.2. Puesta en marcha de una PTAR

Puesta en marcha se le denomina al periodo en el cual la planta de aguas residuales llega a lograr estabilizarse a través de la suministración de los productos químicos para los procesos de tratamiento y de la verificación de los parámetros de operación y calidad del efluente del sistema de tratamiento. Es en este período que se establece cual es la efectividad de la remoción de

contaminantes según las operaciones unitarias y el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales a implementar en la industria. Es indispensable que se logre la propuesta del diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales ya que busca la reducción de contaminantes en el agua y deben establecerse lineamientos de su cuidado y mantenimiento.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Localización

El estudio de investigación realizado tuvo como fin el uso de las instalaciones y la obtención de las aguas especiales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de una industria farmacéutica ubicada en el municipio de Villa Nueva.

La metodología de la determinación de los parámetros críticos contaminantes seleccionados se realizó en el laboratorio del Instituto de fomento municipal INFOM, ubicado en la zona 7 de la ciudad de Guatemala.

3.2. Variables

En la siguiente descripción se enlistan las variables de investigación que se llevaron a cabo en la fase experimental del estudio propuesto.

3.2.1. Parámetros de contaminación

Los parámetros de contaminación tomados en consideración se establecen según el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, de los cuales, en la evaluación previa a la implementación al sistema de tratamiento de aguas residuales, fueron los siguientes:

Tabla IV. **Parámetros de contaminación del estudio de investigación.**

Parámetro	Unidad
DQO	mg/L
Nitrógeno total	mg/L
Fósforo total	mg/L
Grasas y aceites	mg/L
pH	adimensional
Sólidos suspendidos	mg/L

Fuente: elaboración propia.

Al culminar dicha evaluación, se establecieron los parámetros de mayor criticidad para la determinación de su porcentaje de remoción en la puesta en marcha de la planta de tratamiento, los cuales se describen a continuación.

Tabla V. **Parámetros críticos de contaminación para la determinación de su porcentaje de remoción en la puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas residuales.**

Parámetro crítico
DQO en mg/L
Nitrógeno total en mg/L
Fósforo total en mg/L
pH

Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Variables independientes

Las variables independientes se dividen en dos fases, la fase 1 previa a la implementación de la PTAR en la industria farmacéutica y la segunda, al momento de la puesta en marcha del Sistema de tratamiento.

Tabla VI. **Variables independientes en la fase 1**

No.	Variable	Unidad	Descripción
1	Tiempo	Años	<ul style="list-style-type: none">• 2016• 2017• 2018• 2019
2	Punto de muestreo	No aplica	<ul style="list-style-type: none">• Punto 3: Modulo 04 planta de sólidos y Módulo 07: planta de betalactámicos• Punto 5: Lavandería y tratamiento de aguas

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Variables independientes en la fase 2**

No.	Variable	Unidad	Descripción
1	Tiempo	Meses	<ul style="list-style-type: none">• noviembre 2020• diciembre 2020• enero 2021• febrero 2021• marzo 2021• abril 2021

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Variables dependientes

De igual manera, las variables dependientes se dividen en dos fases, la fase 1 previa a la implementación de la PTAR en la industria farmacéutica y la segunda, al momento de la puesta en marcha del sistema de tratamiento.

Tabla VIII. **Variables dependientes en la fase 1**

No.	Variable	Unidad	Descripción
1	Parámetros contaminantes	mg/L	<ul style="list-style-type: none">• DQO• Nitrógeno total• Fósforo total• Grasas y aceites• pH• Sólidos suspendidos

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Variables dependientes en la fase 2**

No.	Variable	Unidad	Descripción
1	Parámetros críticos contaminantes	mg/L	<ul style="list-style-type: none">• DQO• Nitrógeno total• Fósforo total• pH

Fuente: elaboración propia.

3.3. Delimitación del campo de estudio

El estudio de investigación se limita a establecer las siguientes fases:

- Fase 1: situación previa a la implementación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales en la industria farmacéutica

En esta fase se seleccionaron seis de los parámetros de contaminación, en los que la mayoría sobrepasaron los límites máximos permisibles de contaminación según el Acuerdo Gubernativo 236-2006 mediante los análisis de aguas residuales realizados en el periodo de 4 años: 2016-2019 previos al sistema actual de aguas residuales. En base a los tres parámetros se estableció la siguiente fase.

- Fase 2: puesta en marcha del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Esta fase fue de mucha utilidad para determinar la eficiencia o porcentaje de remoción del sistema de tratamiento de aguas residuales en su puesta en marcha. En ella, se estableció el porcentaje de reducción de los cuatros parámetros críticos seleccionados en el periodo de puesta en marcha de noviembre 2020 – abril 2021.

3.4. Recursos Humanos Disponibles

- Investigador: Ana Fabiola Fernández Valenzuela, estudiante de ingeniería química.
- Asesorado por: Jorge Mario Asturias, ingeniero químico.
- Externo: Roberto Ramírez, ingeniero mecánico.

3.5. Recursos materiales disponibles

Tabla X. Recursos materiales utilizados

Equipo
<ul style="list-style-type: none">• Componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales• Casco• Botas industriales• Guantes de neopreno• Frascos de plástico/vidrio• Lentes de protección personal• 1 Potenciómetro• 1 Espectrofotómetro• 1 Termo-Reactor
Cristalería
<ul style="list-style-type: none">• Probetas de 10, 50 y 100 mL• Beakers de 500 mL y 250 mL• Tubos de ensayo• Pipetas de 1, 2, 5 y 10 mL• Gradilla de tubos de ensayo
Reactivos
<ul style="list-style-type: none">• Kit para la medición de nitrógeno total• Kit para la medición de fósforo total• Kit para la medición de DQO• Hidróxido de sodio

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Termoreactor Hach**



Fuente: [Fotografía de Fabiola Fernández]. (Laboratorio INFOM, 2021).
Colección particular. Guatemala.

Figura 10. **Reactor Hach medición DQO**



Fuente: [Fotografía de Fabiola Fernández]. (Laboratorio INFOM, 2021).
Colección particular. Guatemala.

3.6. Técnica cualitativa o cuantitativa

Técnica cuantitativa:

3.6.1. Toma de muestras de las aguas residuales

La toma de muestras de aguas residuales se realizó a través de un muestreo integrado en el tiempo, que buscó obtener muestras simples de volumen constante en el período de tiempo de la puesta en marcha de 26 semanas. El muestreo se basó en la técnica del Manual General del Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, este fue realizado en el punto de muestreo o vertedero de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la empresa.

3.6.2. Porcentaje de remoción de los tres parámetros críticos contaminantes

La siguiente ecuación se estableció para determinar el porcentaje de remoción de los tres parámetros críticos contaminantes.

$$\%R_x = \frac{V_o - V_f}{V_o} * 100 \quad (Ec. 1)$$

Dónde:

$\%R_x$ = porcentaje de remoción del parámetro crítico

V_o = valor inicial del parámetro crítico

V_f = valor final del parámetro crítico

3.6.3. Técnica utilizada en la medición de fósforo total

Para esta técnica se utilizó el Método 8190 Método de PhosVer 3; digestión con persulfato ácido, para aguas residuales. Este procedimiento es seleccionado del manual de Hach sobre análisis del agua. Se siguieron los siguientes pasos:

- a) Encender el reactor de DQO calentando a 150 °C. Colocar el escudo plástico adelante del reactor.
- b) Asegurarse de que los dispositivos de seguridad se encuentren en posición para proteger al analista.
- c) Ingresar el número de programa almacenado por el usuario para fósforo reactivo.
- d) Girar el cuadrante de la longitud de onda hasta que la pantalla muestre 890 nm
- e) Agregar 5,0 mL de muestra a un tubo para fósforo total
- f) Con un embudo, agregar los contenidos de una bolsa de polvo de persulfato de potasio al tubo.
- g) Tapar herméticamente y agitar para disolver.
- h) Calentar el tubo durante 30 minutos a 150 °C
- i) Retirar cuidadosamente el tubo del reactor. Colocarlo en un soporte para tubos de ensayo y dejar enfriar a temperatura ambiente.
- j) Agregar 2 mL de hidróxido de sodio 1,54 N al tubo. Tapar y mezclar.
- k) Colocar el adaptador de DQO en el soporte de la celda con el indicador a la derecha.
- l) Limpiar el exterior del tubo y taparlo
- m) Colocar el tubo de muestreo preparado en el adaptador con el logo de Hach de cara al frente del instrumento.
- n) Presionar zero, luego 0, 00 mg/L PO_4^{3-} TNT.

- o) Con un embudo, agregar los contenidos de una bolsa de polvo de reactivo de fosfato en el tubo.
- p) Tapar herméticamente y agitar durante 10 a 15 segundos.
- q) Presionar Shift Timer. Cuando suene el cronómetro, limpiar el exterior del tubo de muestreo con una toalla.
- r) Colocar el tubo de muestreo preparado en el adaptador con el logo de Hach de cara al frente del instrumento. Tapar el adaptador
- s) Presionar: READ y aparecerán los resultados.

3.6.4. Técnica utilizada en la medición de nitrógeno total

Para esta técnica se utilizó el Método 10071 de digestión con persulfato TNT para aguas residuales Este procedimiento es seleccionado del manual de Hach sobre análisis del agua. Se siguieron los siguientes pasos:

- a) Encender el termoreactor y calentar de 103 a 106 °C, Colocar el escudo de plástico delante del reactor.
- b) Usando un embudo agregar los contenidos de bolsas de reactivo de persulfato para nitrógeno en dos tubos muestra.
- c) Agregar 2 mL de muestra en uno de los tubos y 2 mL de agua libre de materia orgánica. Tapar herméticamente y agitar.
- d) Colocar los tubos en el termo reactor por 30 °C.
- e) Usando guantes de calor, remover los tubos del termoreactor y colocarlos en un soporte para tubos de ensayo. Dejar que estos se enfríen a temperatura ambiente.
- f) Ingresar el número de programa almacenado en el espectrofotómetro para nitrógeno total.
- g) Girar el cuadrante de longitud de onda del espectrofotómetro, hasta que se muestre 450 nm.

- h) Remover la tapa de los tubos de ensayo y con un embudo agregar el contenido de una bolsa de polvo de TN reactivo A en los dos tubos.
- i) Tapar los tubos y agitar por 15 segundos para disolver.
- j) Luego dejar que se lleve a cabo la reacción por 3 minutos
- k) Luego de que termine el tiempo, remover las tapas de los tubos con un embudo agregar el contenido de una bolsa de polvo de TN reactivo B en ambos tubos.
- l) Tapar los tubos y agitar por 15 segundos para disolver.
- m) Esperar 2 minutos para que la reacción se lleve a cabo.
- n) Luego de que termine el tiempo de espera, remover la tapa dos tubos de TN reactivo C y agregar 2 mL del tubo preparado con la muestra a uno de los nuevos tubos con reactivo C y 2 mL del tubo preparado con agua.
- o) Tapar los dos tubos y ponerlos de cabeza 10 veces para disolver, usar guantes de calor, ya que la reacción es exotérmica.
- p) Esperar 5 minutos para que la reacción en los tubos se lleve a cabo.
- q) Colocar el adaptador de DQO en el soporte de la celda del espectrofotómetro, con el indicador a la derecha.
- r) Luego de que termine el tiempo de espera, colocar el tubo preparado que contiene el agua.
- s) Presionar ZERO en el espectrofotómetro.
- t) Limpiar el tubo.
- u) Presionar READ en el espectrofotómetro, para poder visualizar el resultado.

3.6.5. Técnica utilizada en la medición de la demanda química de oxígeno

Para esta técnica se utilizó el Método 8000 para aguas residuales Este procedimiento es seleccionado del manual de Hach sobre análisis del agua.

- a) Homogeneizar 100 mL de muestra durante 30 segundos en una mezcladora
- b) Conectar el reactor de DQO. Precalentar a 150 °C. Colocar el escudo plástico enfrente del reactor.
- c) Extraer la tapa de un tubo de reactivo para digestión de DQO para el rango apropiado. Nota: la mezcla de reactivo es sensible a la luz. Mantener los frascos no utilizados en el recipiente de envío opaco; si es posible, en un refrigerador. La luz que dé en los frascos durante la prueba no afectará los resultados.
- d) Sostener el tubo en un ángulo de 45 grados. Colocar con la pipeta 2,00 mL, 0,2 mL para el rango 0 a 15 000 mg/L, de muestra en el frasco.
- e) El reactivo derramado afectará la exactitud de la prueba y es peligroso para la piel y otros materiales. No realizar pruebas con frascos que han sido derramados.
- f) Volver a colocar la tapa del tubo bien ajustada. Enjuagar la parte exterior del tubo de DQO con agua desionizada y secarlo con una toalla de papel.
- g) Sostener el tubo por la tapa y colocarlo sobre una tina. Invertir suavemente varias veces para mezclar los contenidos. Colocar el tubo en el Reactor DQO precalentado. Nota: el tubo se calentará mucho durante la mezcla.
- h) Preparar un blanco repitiendo los pasos 3 a 6, sustituyendo 2,00 mL, 0,2 mL para el rango 0 a 15 000 mg/L, de agua desionizada por la muestra.
- i) Calentar los tubos durante 2 horas.

- j) Desconectar el reactor. Esperar aproximadamente 20 minutos hasta que los tubos se enfríen a 120 °C o menos.
- k) Invertir cada tubo varias veces mientras están aún calientes. Colocarlos en un estante. Esperar hasta que hayan alcanzado temperatura ambiente.
- l) Utilizar una de las siguientes técnicas analíticas para medir la DQO: método colorimétrico, 150 mg/L DQO, método colorimétrico, 1 500 mg/L DQO, método colorimétrico, 15 000 mg/L DQO.

Método colorimétrico, 1 500 mg/L DQO

- a) Ingresar el número de programa almacenado para demanda química de oxígeno, alto rango. Presionar: 4 3 5 ENTER. La pantalla mostrará: fijar nm para 620.
- b) Girar el cuadrante de longitud de onda hasta que la pantalla pequeña muestre: 620 nm cuando se ajuste la longitud de onda correcta, en la pantalla aparecerá rápidamente: muestra cero luego: mg/LCOD HR
- c) Colocar el adaptador para tubos de DQO en el soporte de celdas con el marcador hacia la derecha.
- d) Limpiar la parte exterior del blanco con una toalla.
- e) Colocar el blanco en el adaptador con el logotipo de Hach hacia el frente del instrumento. Colocar la tapa en el adaptador.
- f) Presionar: ZERO La pantalla mostrará: Puesta a cero... luego: 0 mg/L COD HR 7.
- g) Limpiar la parte exterior del tubo de muestra con una toalla.
- h) Colocar el tubo en el adaptador con el logotipo de Hach hacia el frente del instrumento. Colocar la tapa en el adaptador.
- i) La pantalla mostrará: leyendo... luego aparecerá el resultado en mg/L de DQO.

4. RESULTADOS

4.1. Evaluación de la situación previa del sistema

Anteriormente, la empresa no contaba con un sistema de tratamiento de aguas residuales como tal, únicamente con rejillas y pastillas de cloro para la desinfección del agua.

Se elaboraron las Tablas XI y XII utilizando la información de los Anexos 1 al 8 y para las Figuras 11 a la 16 con la información de las Tablas XI y XII. Al analizar los resultados de los estudios de aguas residuales se evaluó que los parámetros contaminantes prevalecientes a través del tiempo fueron los siguientes:

Tabla XI. **Resultados fisicoquímicos punto 3 del 2016 al 2019**

Punto No.3 Aguas Especiales				
Año	2016	2017	2018	2019
Análisis / Mes	Julio	Enero	Febrero	Marzo
DQO en mg/L	3 250	2 040	3 320	3 230
Nitrógeno total en mg/L	32,72	2,00	22,00	132,00
Fósforo total en mg/L	2,08	4,00	3,00	24,46
Grasas y aceites en mg/L	6,0	8,0	10,0	14,0
pH	6,67	7,19	5,53	6,40
Sólidos suspendidos en mg/L	72,0	42,0	84,0	66,0

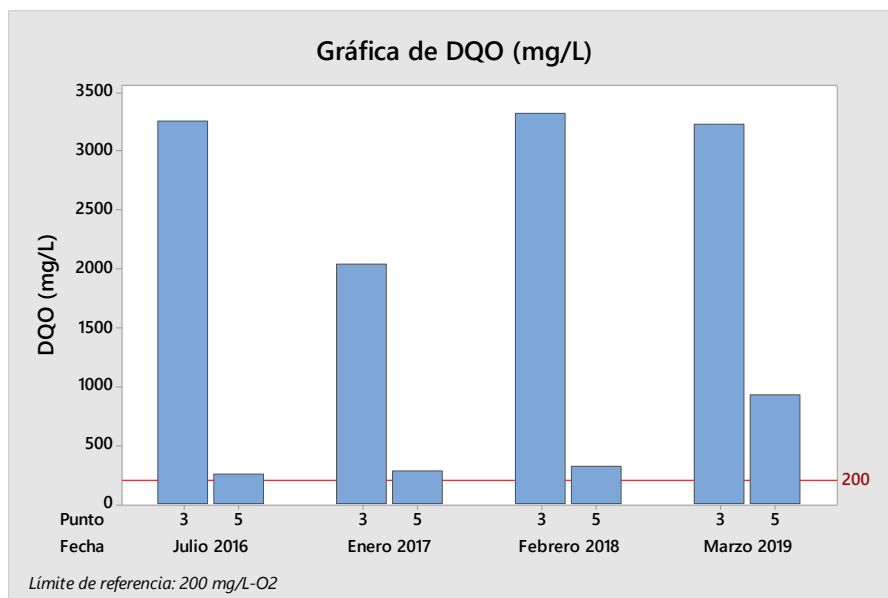
Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Resultados fisicoquímicos punto 5 del 2016 al 2019**

Punto No.5 Aguas Especiales				
Año	2016	2017	2018	2019
Análisis / Mes	Julio	Enero	Febrero	Marzo
DQO en mg/L	257	288	321	929
Nitrógeno total en mg/L	21,10	97,50	18.00	12.60
Fósforo total en mg/L	1.44	13.60	2.10	2.30
Grasas y aceites en mg/L	5,0	5,0	5,0	9,0
pH	7,71	6,45	7,15	7,61
Sólidos suspendidos en mg/L	34,0	48,0	48,0	10,0

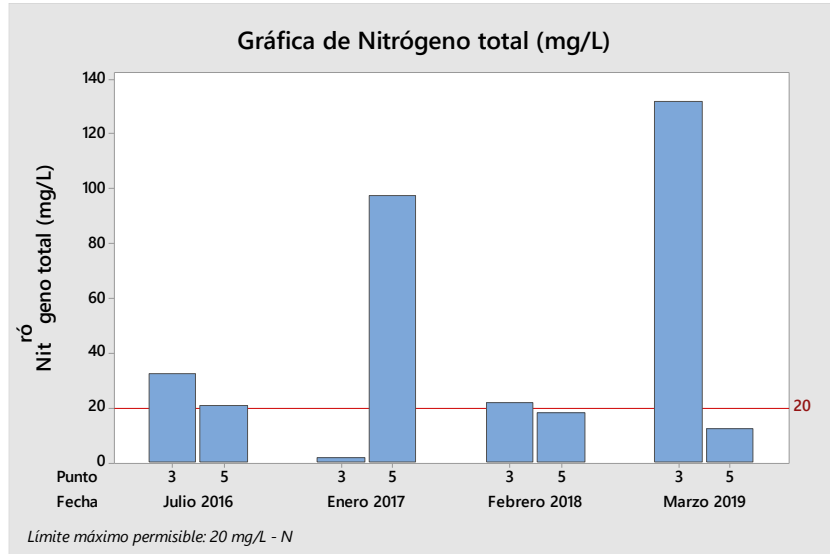
Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Gráfico de DQO puntos 3 y 5 anterior al sistema**



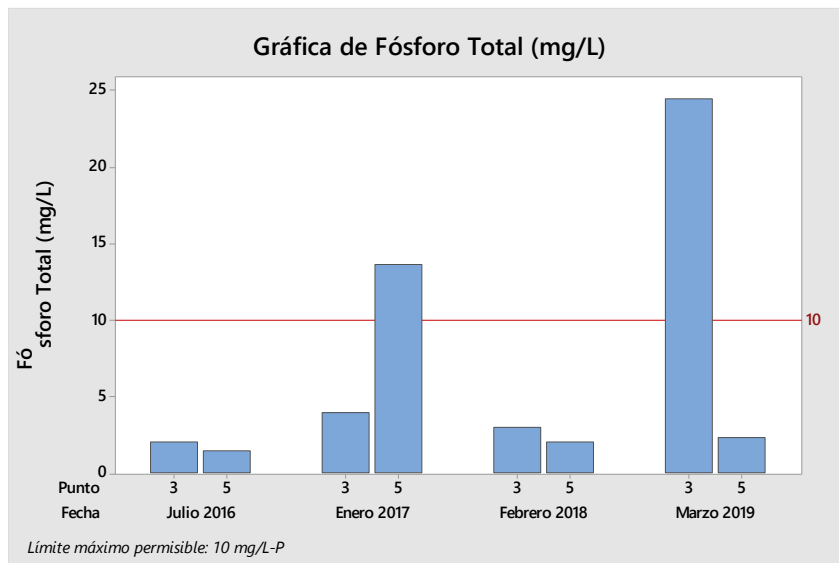
Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab.

Figura 12. **Gráfico de nitrógeno total punto 3 y 5 anterior al sistema**



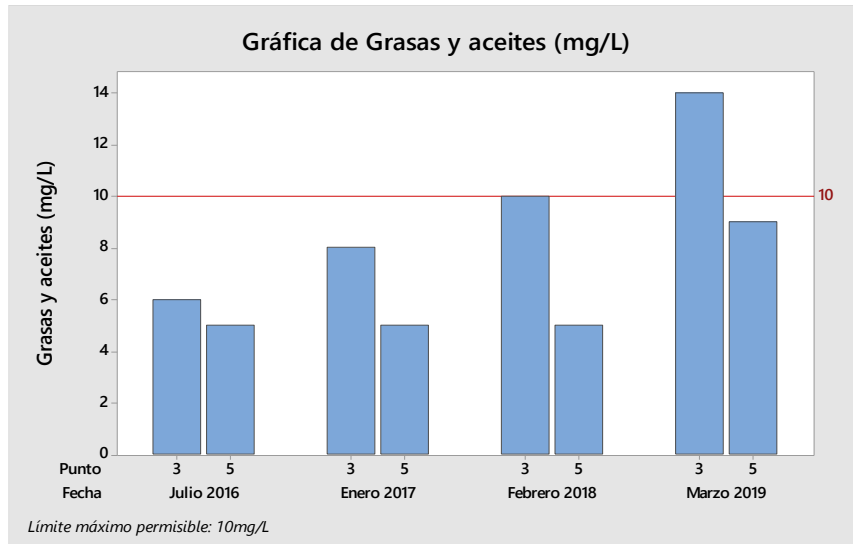
Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab.

Figura 13. **Gráfico de Fósforo total punto 3 y 5 anterior al sistema**



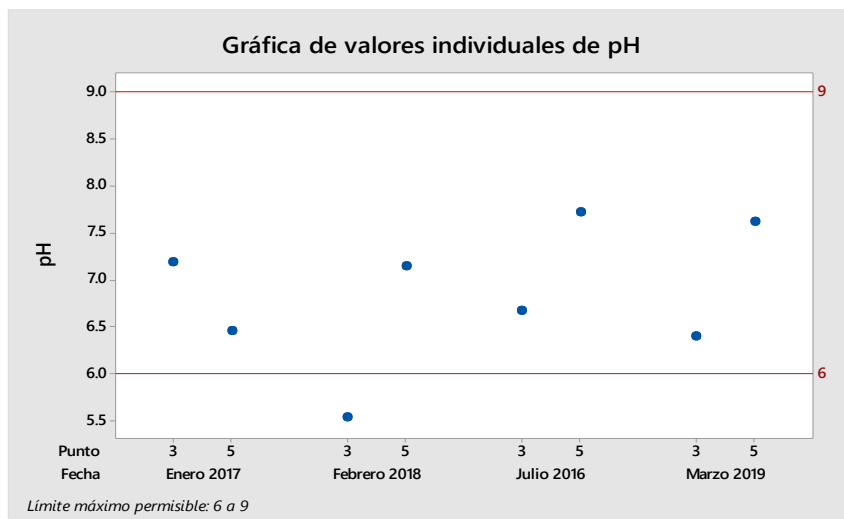
Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab.

Figura 14. **Gráfico de grasas y aceites punto 3 y 5 anterior al sistema**



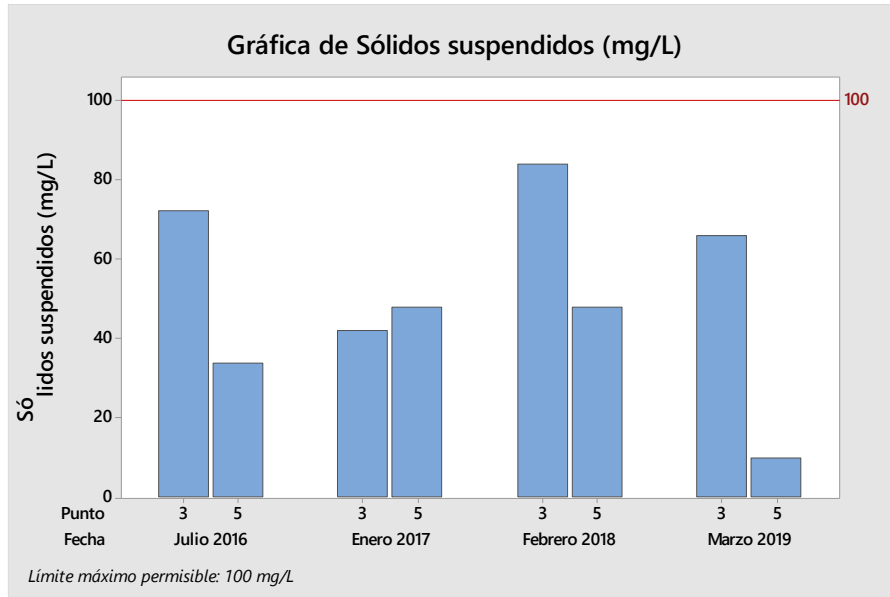
Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab.

Figura 15. **Gráfico de pH punto 3 y 5 anterior al sistema**



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab.

Figura 16. **Gráfico de sólidos suspendidos punto 3 y 5 anterior al sistema**



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab

4.2. Determinación de los parámetros críticos contaminantes

Basados en los parámetros de entrada del proceso fisicoquímico en las mediciones de julio 2016, enero 2017, febrero 2018 y marzo 2019 se establecieron 4 parámetros críticos contaminantes.

Tabla XIII. **Parámetros críticos contaminantes establecidos**

Parámetros Críticos Contaminantes
DQO en mg/L
Nitrógeno total en mg/L
Fósforo total en mg/L
pH

Fuente: elaboración propia.

4.3. Evaluación de la situación inicial durante la puesta en marcha

Durante el inicio de la puesta en marcha el sistema de tratamiento de aguas se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla XIV. **Inicio de la puesta en marcha del sistema de aguas residuales**

Inicio puesto en marcha - noviembre 2020				
Parámetro	Parámetro de diseño	Salida del Sistema	Valor Norma	Dictamen
DQO en mg/L	1 825	32	200	CUMPLE
Nitrógeno total en mg/L	48	1,88	20	CUMPLE
Fósforo total en mg/L	8	0,06	10	CUMPLE
pH	7	7,1	6 a 9	CUMPLE

Fuente: elaboración propia.

Para las Tablas XV a la XVII se utilizó la información del Apéndice 7 al 30 y para las Figuras de la 17 a la 21 los datos de las Tablas correspondientes de la XV a la XVIII.

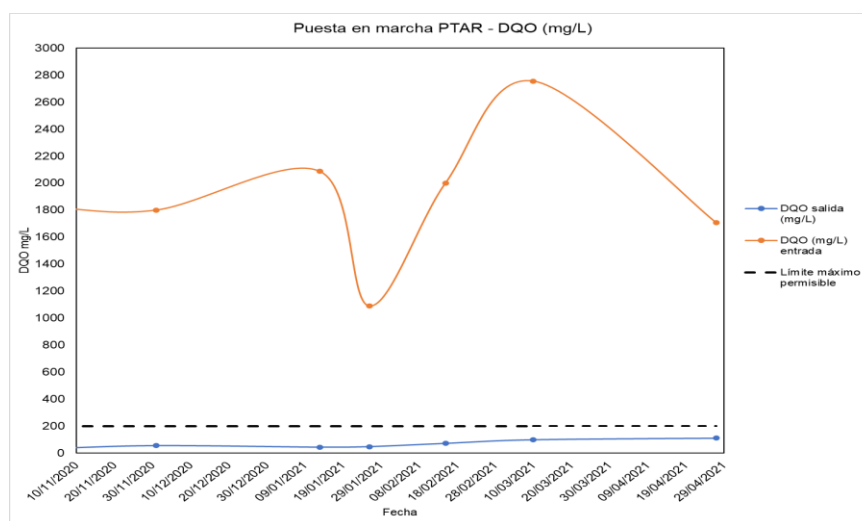
4.4. Determinación de los porcentajes de reducción de los parámetros críticos contaminantes durante la puesta en marcha

Tabla XV. Porcentajes de reducción DQO en mg/L durante la puesta en marcha

Puesta en marcha - DQO en mg/L / noviembre 2020 hasta abril 2021						
No. Semana	Fecha	Valor de entrada al sistema	Valor de salida al sistema	% de reducción	Valor Norma	Dictamen
1	10-nov-20	1 825	32	98,25	200	CUMPLE
4	01-dic-20	1 800	56	96,89	200	CUMPLE
10	13-ene-21	2 087	45	97,86	200	CUMPLE
12	26-ene-21	1 090	49	95,54	200	CUMPLE
16	15-feb-21	2 001	73	96,35	200	CUMPLE
19	10-mar-21	2 755	100	96,38	200	CUMPLE
26	27-abr-21	1 708	111	93,48	200	CUMPLE

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Reducción DQO en mg/L durante la puesta en marcha



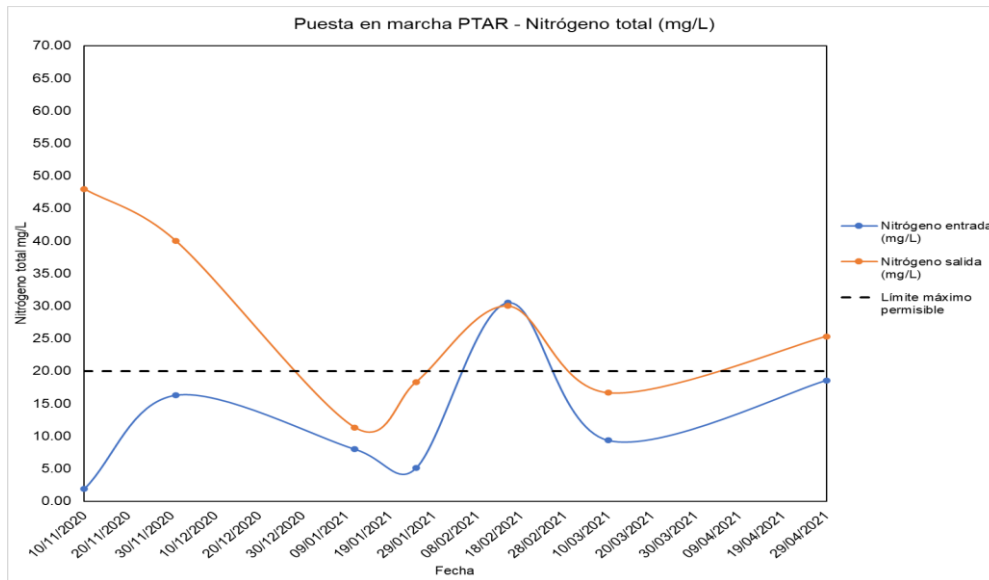
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla XVI. **Porcentajes de reducción de nitrógeno total en mg/L durante la puesta en marcha**

Puesta en marcha - Nitrógeno total en mg/L noviembre 2020 hasta abril 2021						
No. Semana	Fecha	Valor de entrada al sistema	Valor de salida al sistema	% de reducción	Valor Norma	Dictamen
1	10-nov-20	48,00	1,88	96,08	20	CUMPLE
4	01-dic-20	40,00	16,30	59,25	20	CUMPLE
10	13-ene-21	11,33	8,00	29,41	20	CUMPLE
12	26-ene-21	18,33	5,10	72,18	20	CUMPLE
16	15-feb-21	30,00	30,50	1,7	20	NO CUMPLE
19	10-mar-21	16,67	9,37	43,80	20	CUMPLE
26	27-abr-21	25,33	18,57	26,71	20	CUMPLE

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Reducción nitrógeno total en mg/L durante la puesta en marcha**



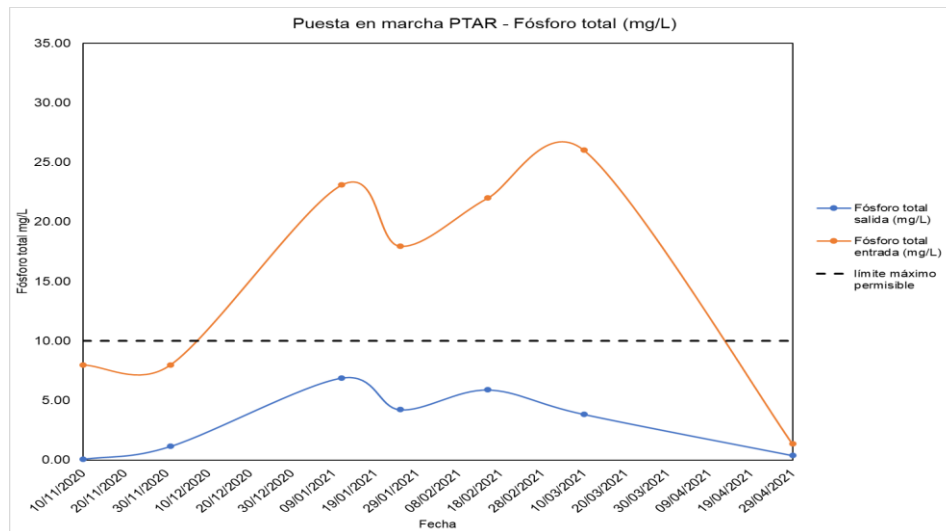
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla XVII. **Porcentajes de reducción de fósforo total en mg/L durante la puesta en marcha**

Puesta en marcha - Fósforo total en mg/L noviembre 2020 hasta abril 2021						
No. Semana	Fecha	Valor de entrada al sistema	Valor de salida al sistema	% de reducción	Valor Norma	Dictamen
1	10-nov-20	8,00	0,06	99,25	10	CUMPLE
4	01-dic-20	8,00	1,15	85,63	10	CUMPLE
10	13-ene-21	23,10	6,90	70,13	10	CUMPLE
12	26-ene-21	17,97	4,23	76,44	10	CUMPLE
16	15-feb-21	22,00	4,80	78,18	10	CUMPLE
19	10-mar-21	26,03	3,85	85,22	10	CUMPLE
26	27-abr-21	1,37	0,38	71,95	10	CUMPLE

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Reducción fósforo total en mg/L durante la puesta en marcha**



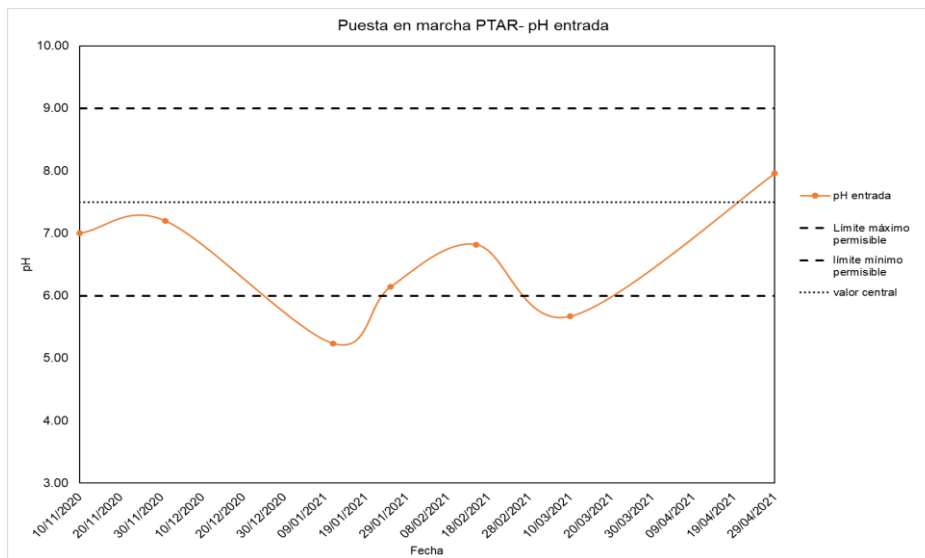
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla XVIII. Reducción de pH dentro del valor de norma durante la puesta en marcha

Puesta en marcha - pH noviembre 2020 hasta abril 2021					
No. Semana	Fecha	Valor de entrada al sistema	Valor de salida al sistema	Valor Norma	Dictamen
1	10-nov-20	7,00	7,10	6 a 9	CUMPLE
4	01-dic-20	7,20	6,30	6 a 9	CUMPLE
10	13-ene-21	5,24	7,36	6 a 9	CUMPLE
12	26-ene-21	6,14	7,59	6 a 9	CUMPLE
16	15-feb-21	6,82	7,52	6 a 9	CUMPLE
19	10-mar-21	5,67	7,28	6 a 9	CUMPLE
26	27-abr-21	7,96	7,77	6 a 9	CUMPLE

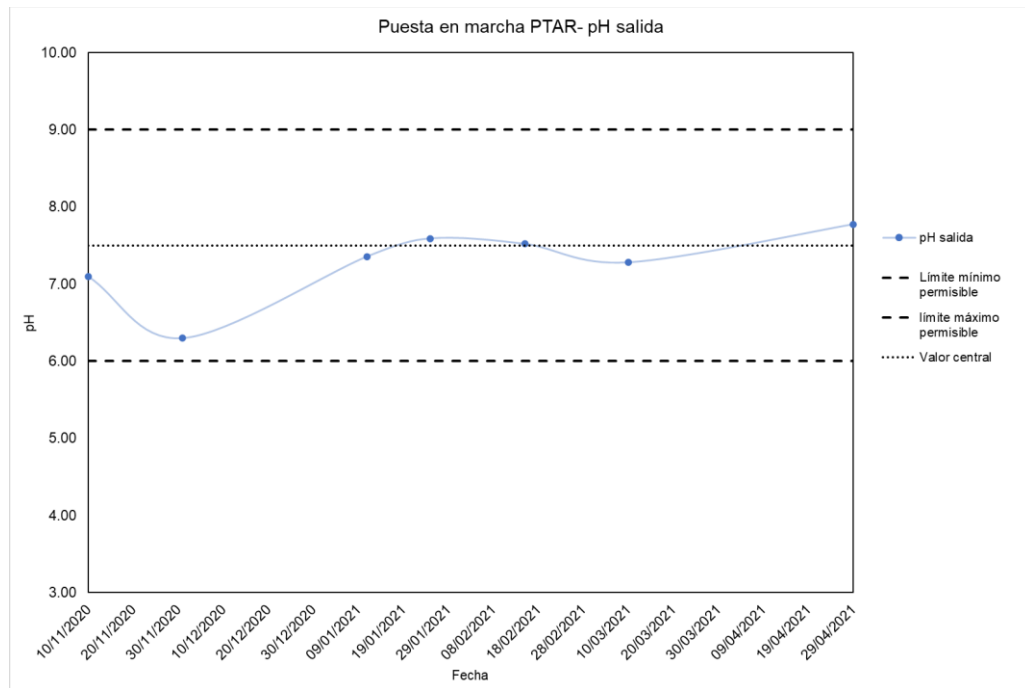
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Comportamiento del pH en la entrada del sistema durante la puesta en marcha



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 21. **Comportamiento del pH en la salida del sistema durante la puesta en marcha**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

4.5. Eficacia del sistema con respecto a los límites establecidos por parte del diseño

Según el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales se proyectaron valores a alcanzar en la descarga:

Tabla XIX. **Resultados de DQO en mg/L con respecto a los valores proyectados del diseño en la descarga**

Puesta en marcha - DQO en mg/L noviembre 2020 hasta abril 2021				
No. Semana	Fecha	Valor de entrada al sistema promedio	Valor de salida al sistema	Valor por Alcanzar
1	nov-20	1 825	32	100
4	dic-20	1 800	56	100
10	ene-21	2 087	45	100
12	ene-21	1 090	49	100
16	feb-21	2 001	73	100
19	mar-21	2 755	100	100
26	abr-21	1 708	111	100

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Resultados de nitrógeno en mg/L con respecto a los valores proyectados de diseño en la descarga**

Puesta en marcha - Nitrógeno total en mg/L noviembre 2020 hasta abril 2021				
No. Semana	Fecha	Valor de entrada al sistema	Valor de salida al sistema	Valor por alcanzar
1	nov-20	48,00	1,88	13,04
4	dic-20	40,00	16,30	13,04
10	ene-21	11,33	8,00	13,04

Continuación de la Tabla XX

Puesta en marcha - Nitrógeno total en mg/L noviembre 2020 hasta abril 2021				
No. Semana	No. Semana	No. Semana	No. Semana	No. Semana
12	ene-21	18,33	5,10	13,04
16	feb-21	30,00	30,50	13,04
19	mar-21	16,67	9,37	13,04
26	abr-21	25,33	18,57	13,04

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. Resultados de fósforo total en mg/L con respecto a los valores proyectados de diseño en la descarga

Puesta en marcha - Fósforo total mg/L noviembre 2020 hasta abril 2021				
No. Semana	Fecha	Valor de entrada al sistema	Valor de salida al sistema	Valor por alcanzar
1	nov-20	8,00	0,06	2,1
4	dic-20	8,00	1,15	2,1
10	ene-21	2,10	6,90	2,1
12	ene-21	17,97	4,23	2,1
16	feb-21	22,00	4,80	2,1
19	mar-21	26,03	3,85	2,1
26	abr-21	1,37	0,38	2,1

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Resultados de pH con respecto a los valores proyectados de diseño en la descarga**

Puesta en marcha - pH noviembre 2020 - abril 2021			
No. Semana	Fecha	Valor de entrada al sistema	Valor de salida al sistema
1	nov-20	7,00	7,10
4	dic-20	7,20	6,30
10	ene-21	5,24	7,36
12	ene-21	6,14	7,59
16	feb-21	6,82	7,52
19	mar-21	5,67	7,28
26	abr-21	7,96	7,77

Fuente: elaboración propia.

4.6. Límites de control para un óptimo funcionamiento

Tabla XXIII. **Límites de control establecidos para el proceso fisicoquímico de la planta**

Descripción	Límites de Control
CAUDAL DE AGUAS ESPECIALES	42 m ³ / día
BOMBAS DOSIFICADORAS HACIA EL TANQUE HOMOGENIZADOR	<ol style="list-style-type: none"> 1. Si el pH > 8 la bomba aplica ácido muriático al 31 %. 2. Si el pH < 6 la bomba aplica soda caustica para mantenerse en el rango óptimo.
OXIGENO DISUELTO EN EL DIGESTOR AEROBIO	> 2 mg/L de O ₂
CAUDAL PARA LA DOSIFICACIÓN:	0,5 a 1 L/h

Continuación de la Tabla XXIII

Descripción	Límites de Control
CAUDAL PARA EL SISTEMA DE FLOTACIÓN	1,5 a 2 m ³ /h.
CAUDAL BOMBA HACIA EL FRC-2	2 m ³ /h a 9.96 psi.
SISTEMA DE FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO	Presión máxima: 6 bar
Preparación de mezcla	
SISTEMA POR FLOTACIÓN DE AIRE DISUELTO DAF	Para la preparación de mezcla se determina que: 10 g de floculante x 1 L de agua 40 g de coagulante x 1 L de agua 2.5 g de Sosa x 1 L de agua
TORNILLO DESHIDRATADOR	Para la preparación de mezcla se determina que: 2 g de floculante x 1 L de agua

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El trabajo de graduación tuvo como fin determinar los porcentajes de reducción de los parámetros críticos contaminantes y evaluar si la planta de tratamiento de aguas residuales fue eficaz para ello. A continuación, se presentará la interpretación de los resultados por cada objetivo planteado.

5.1. Evaluación de la situación previa del sistema

Anteriormente, la industria no contaba con un sistema de tratamiento de aguas residuales que contara con todas las etapas de tratamiento fisicoquímico y biológico. En la Tabla XI, se evidencian los resultados fisicoquímicos obtenidos del punto 3 para aguas especiales. Estos se obtuvieron recolectando la información de los análisis realizados por una empresa certificada durante los años anteriores a la puesta en marcha de la PTAR: 2016 al 2019.

En la Figura 11 se comparan los dos puntos de toma de muestra de agua especial para cada año anterior a la implementación del sistema de tratamiento. Se determina que el punto 3 se encontraba por fuera del límite de aceptación de DQO establecido por el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. Este punto hace referencia a los módulos 04 y Modulo 05, siendo estos los centros de producción de sólidos, líquidos e inyectables mientras que el punto No.5 hace referencia a la planta de tratamiento de agua para inyección reflejando una menor carga de contaminantes.

La industria farmacéutica en la que se llevó a cabo el estudio de investigación cuenta con líneas de fabricación de tabletas simples y recubiertas siendo esta forma farmacéutica una línea de fabricación con mayor demanda. En esta industria, la limpieza es elemental como parte de las buenas prácticas de manufactura puesto que evita la contaminación cruzada entre producto de fabricación. Para la limpieza en las áreas productivas se utilizan desinfectantes y productos de limpieza tales como: alcohol etílico, vortex y fenol. Estas son sustancias con constituyentes químicos orgánicos que se descargan en las aguas provenientes de las áreas productivas. Por ello la Figura 11 presentan grandes cantidades de DQO, a pesar de los diferentes años, la carga siempre fue elevada.

La Figura 12 muestra los resultados del nitrógeno total en los resultados de las aguas residuales, siendo esto uno de los parámetros que sobrepasan el límite de aceptación. La tendencia que poseen los resultados, para el punto 3, evidencia que aumenta en el último año puesto que a través del tiempo la demanda de producción incrementa provocando la descarga de efluentes con un mayor caudal. La Figura 13, correspondiente al parámetro crítico de fósforo total. Según Metcalf & Eddy, tanto como el fósforo y el nitrógeno, junto con el carbono, son nutrientes para el crecimiento de bacterias que pueden provocar la contaminación del agua subterránea al ser descargados al alcantarillado. Es por ello, que son parámetros que deben ser tratados en toda industria y no se realizaba puesto que no se contaba con procesos físicos o biológicos para su eliminación.

Las Figuras 14 y 15 reflejan el comportamiento de las grasas y sólidos suspendidos, los cuales son parámetros que no reflejaron una tendencia a través del tiempo con alta carga de contaminación en comparación con los anteriores. Los resultados demostraron que para el año 2021, estos no cumplirían con el

acuerdo gubernativo implementado en el 2006, por lo que la empresa buscaba el cumplimiento de la normativa ambiental regida en el país, y a la vez ser una empresa responsable con el medio ambiente a través de la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales que fuera eficaz de reducir la carga contaminante de los efluentes industriales.

5.2. Determinación de los parámetros críticos contaminantes

Al analizar los resultados de las aguas sin tratamiento el estudio de investigación determinó y delimitó trabajar con cuatro parámetros contaminantes siendo críticos los siguientes: DQO, nitrógeno total, fósforo total y como último el pH.

5.3. Evaluación de la situación inicial durante la puesta en marcha

La Tabla XIV indica los resultados de la situación inicial de la puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas residuales. Uno de los métodos analíticos utilizados para la caracterización del agua residual, fue el método cuantitativo a través de colorimetría para la demanda química de oxígeno. A través de este método se cuantificó el contenido de materia orgánica utilizando dicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$. Este reactivo se oxida en medio ácido para llevar a cabo la demanda equivalente del oxígeno de la materia orgánica en el agua residual.

Dicha tabla muestra los valores de DQO, pH, nitrógeno y fósforo utilizados para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales. Los valores iniciales demuestran que la planta de tratamiento de aguas residuales conformadas por las etapas de pretratamiento, tratamiento primario y secundarios de la planta contribuyen a la disminución de los parámetros críticos

de contaminación, siendo efectivo para la remoción de contaminantes en las aguas industriales provenientes de la industria farmacéutica.

5.4. Determinación de los porcentajes de reducción de los parámetros críticos contaminantes durante la puesta en marcha

El sistema de tratamiento de aguas residuales implementado en la industria farmacéutica trata las aguas de tipo especial que proceden del área productiva. Ambos drenajes funcionan por gravedad hasta llegar a una estación de bombeo que cuenta con un sistema de cribado para elevar el agua hacia las diferentes etapas de tratamiento de la planta.

El sistema de tratamiento de aguas residuales posee la capacidad de tratar las aguas industriales con un caudal de 42 m³/día. Este sistema abarca diferentes etapas de tratamiento de las cuales, se diferencian en el proceso de remoción fisicoquímico o biológico.

En la Tabla XV se describe los porcentajes de remoción del parámetro contaminante DQO obteniendo hasta un 98.25 % de eficacia en el sistema de tratamiento. La Figura 17 representa los valores al ingreso y salida del sistema, evidenciando una tendencia en la cual a pesar de los diferentes caudales y concentración de DQO en la entrada, el sistema fue capaz y diseñado con el fin de disminuir los valores de DQO. Los efluentes de la empresa cumplieron con los límites máximos permisibles de descarga de aguas residuales a cuerpos receptores.

La remoción es eficaz ya que el sistema contiene un tanque homogenizador de las aguas industriales que amortigua las variaciones de caudal y regula la cantidad y calidad de los efluentes. Además de lograr una regulación de los

caudales vertidos, el tanque homogenizador actúa como neutralizador de pH mediante bombas dosificadoras automáticas de una solución de ácido clorhídrico al 31 % o de soda caustica que a través de un sensor controlador de pH envía señal al PLC para controlarlas.

El agua neutralizada ingresa al sistema de flotación por aire disuelto FRC-2, fabricado por la empresa Toro Equipment. El agua comienza su ingreso por un canal serpenteado en el cual, se le suministra una cantidad de coagulante, sosa para el ajuste de pH y floculante a través de la planta automática de polielectrolito que lo dosifica de forma continua en el serpenteado del sistema.

Al salir, el agua tratada hace su ingreso al tanque DAF. Al sobresaturar el agua de aire comprimido, el cual se libera en forma de microburbuja, los sólidos que reaccionaron con la mezcla de sosa y floculante flotan en la superficie eliminando los sólidos disueltos y disminuyendo los valores de DQO. Los porcentajes altos de remoción se deben a que el uso de microburbujas, rango de 30 a 50 micrones, aumenta la eficiencia, ya que las burbujas más pequeñas se adhieren fácilmente a partículas de igual tamaño o más grandes, lo que aumenta la eficacia general del sistema.

Durante la puesta en marcha, en los meses de enero, marzo y abril el porcentaje de remoción DQO obtuvo una desviación estándar de 0,03 y 0,032. Este valor representa una pequeña variabilidad, con respecto a los meses que este fue implementado. Los valores de ingreso se encuentran dentro de un rango de 2 755 a 1 090 mg/L, y así mismo el sistema fue capaz de reducir por encima del 90%, por lo que, a elevadas concentraciones de contaminantes, se redujo la DQO de los efluentes, como se demuestra en la Figura 17.

En la Figura 18 se observa el comportamiento del porcentaje de reducción de nitrógeno en función del tiempo de la puesta en marcha. En los resultados de febrero se observa un valor por fuera del límite de aceptación. Sin embargo, este es un valor atípico, puesto que es atribuible a una variable en el manejo del sistema. Esto se debió a que hubo una falla en el calderín, componente necesario para la formación de microburbujas, en el que se lleva a cabo primero una presurización necesaria para la mezcla de aire en el agua a tratar hasta sobresaturarla, del sistema de flotación de aire disuelto que provocó que el equipo no trabajase eficazmente en la semana de febrero pero que se normalizó en los meses posteriores. Los meses anteriores y posteriores si demuestran una tendencia dentro del límite de aceptación y en un % de eficiencia de reducción del 96.08% y valores mucho menores como 26,71%.

En la Figura 19 se evidencia el comportamiento de remoción del fósforo durante la puesta en marcha. Se obtuvieron % de remoción de 99,25 % y de hasta 71,95 %.

Si se comparan los tres parámetros críticos, se establece que el Sistema fue capaz de remover de mayor a menor los siguientes parámetros: DQO, fósforo y nitrógeno.

En las Figuras 20 y 21 se evidencia que el Sistema fue capaz de controlar el pH en la salida, a través de la neutralización de los afluentes ácidos o alcalinos manteniendo los efluentes en un rango adecuado de 7 ± 1 .

En el apartado de apéndices se realizó el análisis estadístico a través de un análisis de varianza de un factor, para el % de reducción de un parámetro crítico contaminante ya sea: DQO, Nitrógeno y fósforo, con 3 meses seleccionados de la puesta en marcha: enero, marzo y abril. Para el % de remoción de DQO se

acepta la hipótesis alterna: las medias de los % de remoción de la DQO en enero, marzo y abril son iguales es decir que el Sistema fue capaz de reducir la DQO con un % de reducción constante a lo largo del tiempo, sin importar la cantidad de ingreso de carga contaminante. Al contrario del nitrógeno y fósforo, sus % de remoción no son iguales en la puesta en marcha.

5.5. Eficacia del tratamiento de acuerdo con los parámetros de diseño del Sistema de tratamiento de agua residual industrial y parámetros de control establecidos

Las Tablas XIX y XX determinan que el sistema fue capaz de reducir la DQO en la puesta en marcha. Sin embargo, los resultados para el nitrógeno y fósforo reflejan resultados que no llegaron a ser el esperado por parte del diseño del Sistema. Esto se atribuye a que el caudal de aguas industriales se incrementa conforme el aumento en la producción de fármacos año tras año, por lo que se obtiene un mayor caudal de parámetros críticos de contaminación. Durante la puesta en marcha se establecieron los parámetros de operación en la Tabla XXIII como la dosificación del floculante y coagulante, presiones, caudales de ingreso, entre otros. La dosis de químicos en la etapa de tratamiento primario y en la neutralización ha sido eficaz para reducir el % de parámetros como la DQO y pH por lo que se establecieron para los siguientes meses de operación.

Se llega a la conclusión que el período de la puesta en marcha es un período en el que se monitorea y se observa el comportamiento de tratamiento que tiene el Sistema durante sus primeros meses, esto con el fin de ir evaluando los parámetros de operación y si estos permiten cumplir con la reducción de carga contaminante. En este período el sistema se va adaptando conforme la concentración y/o caudales de carga contaminante vayan ingresando, por lo que

los % de reducción pueden variar, sin embargo, se busca que se mantenga constante como lo hace para la reducción de DQO.

CONCLUSIONES

1. Tomando en cuenta los límites máximos permisibles para DQO, nitrógeno y fósforo correspondientes a 200, 20 y 10 mg/L y pH en un rango de 6 a 9, se evidenció que, en el análisis de los resultados de 4 años previos a la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales, dichos parámetros contaminantes sobrepasaron los límites, siendo críticos para la determinación de los porcentajes de remoción en la etapa de puesta en marcha del sistema.
2. Los resultados demostraron que el sistema implementado permitió cumplir con los parámetros de DQO, nitrógeno, fósforo y pH para la cuarta fase del Reglamento de las Descargas y de Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos.
3. Se evidenció que el sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria farmacéutica redujo el parámetro crítico de la DQO mg/L en un rango del 93,48 al 98,25 % durante la puesta en marcha.
4. Se evidenció que el sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria farmacéutica redujo el parámetro crítico del nitrógeno mg/L en un rango del 26,71 al 96,08 % durante la puesta en marcha.
5. Se evidenció que el sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria farmacéutica redujo el parámetro crítico del fósforo mg/L en un rango del 70,13 al 99,25 % durante la puesta en marcha.

6. Los resultados demostraron que los afluentes aumentaron su carga contaminante para la DQO en el período de noviembre 2020 a marzo 2021 con resultados de 1 825 a 2755 mg/L, sin embargo, el sistema redujo la carga contaminante cumpliendo con los límites establecidos por la norma ambiental vigente.
7. Al mantener el proceso de tratamiento controlado, utilizando el sistema de flotación por aire disuelto, los parámetros de las aguas residuales industriales no sobrepasan el límite permitido.
8. El Análisis de Varianza, con un nivel de confianza del 95 %, demostró que los porcentajes de reducción de la DQO fueron constantes durante los meses de enero, marzo y abril 2021 de la puesta en marcha con afluentes de concentración de hasta 2 755 ppm.

RECOMENDACIONES

1. Seguir con los monitoreos de los parámetros críticos contaminantes para el arranque y determinación de los parámetros de operación en definitivo de la planta de tratamiento de aguas residuales.
2. Efectuar mantenimientos preventivos periódicamente a todos los equipos que conforman el Sistema para garantizar su buen funcionamiento.
3. Realizar un análisis de riesgo que involucre la frecuencia de los mantenimientos preventivos a realizar.
4. Determinar si la cantidad de dosis química para la etapa de neutralización y en el equipo de flotación por aire disuelto tiene un efecto significativo en la reducción de parámetros críticos contaminantes.
5. Determinar si la dosis química para la etapa de neutralización y en el equipo de flotación por aire disuelto tiene un efecto significativo en las etapas de tratamiento posteriores a esta.

BIBLIOGRAFÍA

1. BELZONA INC. *Guía de Aplicaciones Belzona en Equipos de Tratamiento de Aguas Residuales-Tratamiento de Aguas Residuales*. [en línea]. Miami, Florida, Estados Unidos: 2010. Recuperado de <https://www.belzona.com/es/industries/wastewater.aspx> [Consulta: 12 de septiembre de 2021].
2. BERMEO, Martha; BONILLA, Stefanie; COLOMA, Tony. *Neutralización: Aplicado a Aguas Residuales*. [en línea]. 1a ed. Guayaquil, Ecuador: Grupo Compás, 2017. Recuperado de http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/69/1/COMPL ETO_neutralizacion-mod.pdf. [Consulta: 15 de abril de 2021].
3. CADENA, Angela. *Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas ubicada en el municipio de la Tebaida*. Trabajo de graduación de Químico. Universidad del Quindío, Facultad de Ciencias Básicas y Tecnologías. Armenia, Colombia: 2006. 99 p.
4. GEANKOPLIS, Christie. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 3a ed. Nueva Jersey, Estados Unidos: Prentice Hall International, 1993. 928 p.
5. HACH COMPANY. (1997). *Water Analysis Handbook*. 3a ed. Loveland, Colorado, Estados Unidos: Hach Company, 1997. 1642 p.

6. HERRERA, Oscar y CORPAS, Eduardo. *Reducción de la contaminación en agua residual industrial láctea utilizando microorganismos benéficos*. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, vol. 11, núm 1. Manizales, Colombia: 2013. 57 -67 p.
7. KOOPAEI, Nasser & ABDOLLAHI, Mohammad. *Health risks associated with the pharmaceuticals in wastewater*. DARU, Journal of Pharmaceutical Sciences, vol. 25, num 1. Tehran, Iran: 2017. 1 - 7 p.
8. MALACALZA, Leonardo. *Ecología y Ambiente*. 2a Ed. La Plata, Argentina: AUGM-Comité de Medio Ambiente, 2013. 294 p.
9. MARIÑO, Justine y MARTÍNEZ, Lina. *Propuesta para la gestión de vertimientos industriales de laboratorios Coaspharma S.A.S*. Trabajo de graduación de Ingeniero Químico. Universidad de América, Facultad de Ingenierías. Bogotá, Colombia: 2017. 159 p.
10. MARTÍ, Miguel. *Principios de ecotoxicología Diagnóstico, Tratamiento y Gestión del medio ambiente*. 1a Ed. Madrid, España: McGraw-Hill, 2002. 314 p.
11. METCALF & EDDY. *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento Vertido y Reutilización*. 3a ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1995. 505 p.

12. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Acuerdo gubernativo 236 – 2006, *Reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos*. Guatemala: Diario de Centroamérica, 5 de mayo de 2006. 24 p.
13. RAMOS, Caridad. *Los residuos en la industria farmacéutica*. Revista CENIC Ciencias Biológicas, vol. 37, núm 1. La Habana, Cuba: 2006. 25–31 p.
14. RAMOS, Caridad; ESPINOSA, María; LÓPEZ, Matilde; PELLÓN, Alexis. *Tratamiento de las aguas residuales provenientes de la industria de medicamentos*. Revista CENIC Ciencias Químicas, vol. 36, núm 1. La Habana, Cuba: 2005, 39-44 p.
15. SABINA, Larico. *Evaluación de los parámetros de operación de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas por lodos activados con aireación*. Trabajo de graduación de Ingeniería Química. Universidad Nacional Del Callao, Facultad de Ingeniería Química. Perú: 2017. 130 p.
16. SAWYER, Clair; MCCARTY, Perry; PARKIN, Gene. *Química para ingeniería ambiental*. 4a Ed. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill, 2001. 713 pp.
17. TRIOLA, Mario. *Estadística*. 12a Ed. México, D.F: Pearson Educación, 2009. 904 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Análisis de varianza de un factor para el porcentaje de remoción de DQO en mg/L en función del tiempo**

ANOVA de un solo factor: enero, marzo, abril Método

Hipótesis nula	No todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	Todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	3	Enero, Marzo, Abril

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	0.007556	0.003778	5.23	0.05
Error	6	0.004334	0.000722		
Total	8	0.011890			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0268769	63.55%	51.40%	17.98%

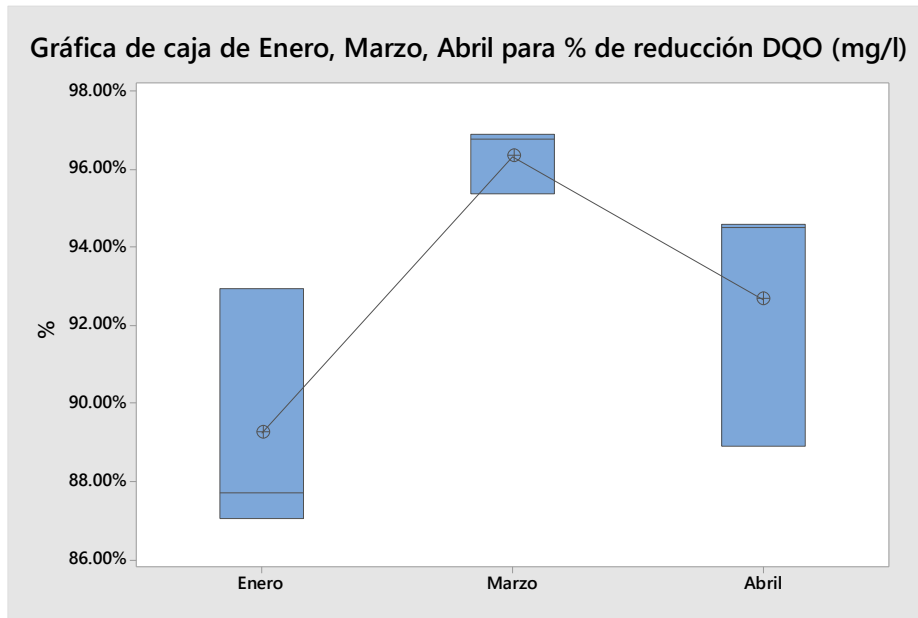
Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Enero	3	0.8925	0.0323	(0.8545, 0.9304)
Marzo	3	0.96343	0.00832	(0.92546, 1.00140)
Abril	3	0.9268	0.0325	(0.8888, 0.9647)

Desv.Est. agrupada = 0.0268769

Continuación del Apéndice 1

Gráfica de Caja % de reducción DQO en mg/L



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab.

Apéndice 2. **Análisis de varianza de un factor para el porcentaje de remoción de nitrógeno en mg/L en función del tiempo**

ANOVA de un solo factor: enero, marzo, abril

Método

Hipótesis nula	No todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	Todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	3	Enero, Marzo, Abril

Continuación del Apéndice 2

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	0.03643	0.01821	0.43	0.666
Error	6	0.25130	0.04188		
Total	8	0.28773			

Resumen del modelo

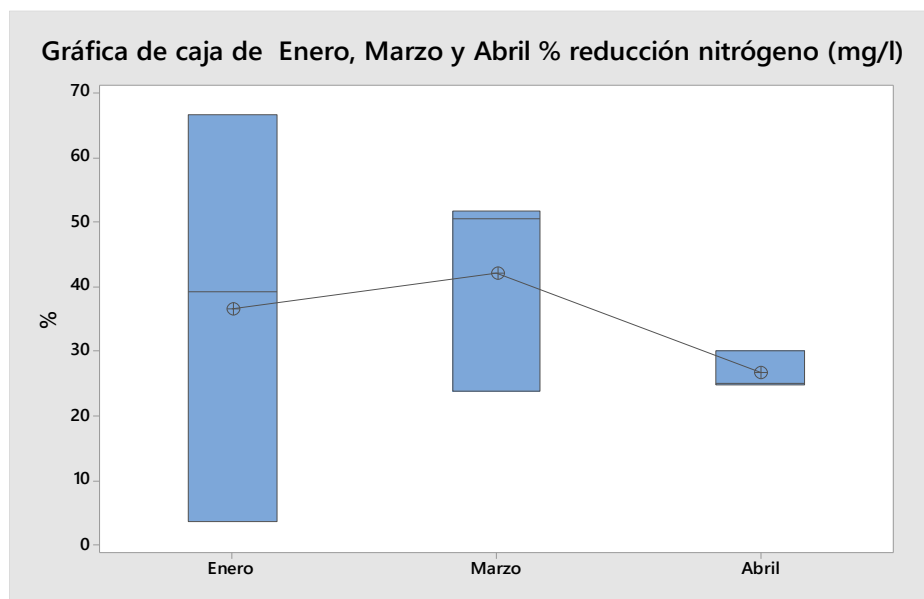
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.204654	12.66%	0.00%	0.00%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Enero	3	0.365	0.316	(0.076, 0.654)
Marzo	3	0.4197	0.1571	(0.1306, 0.7088)
Abril	3	0.2660	0.0295	(-0.0231, 0.5551)

Desv.Est. agrupada = 0.204654

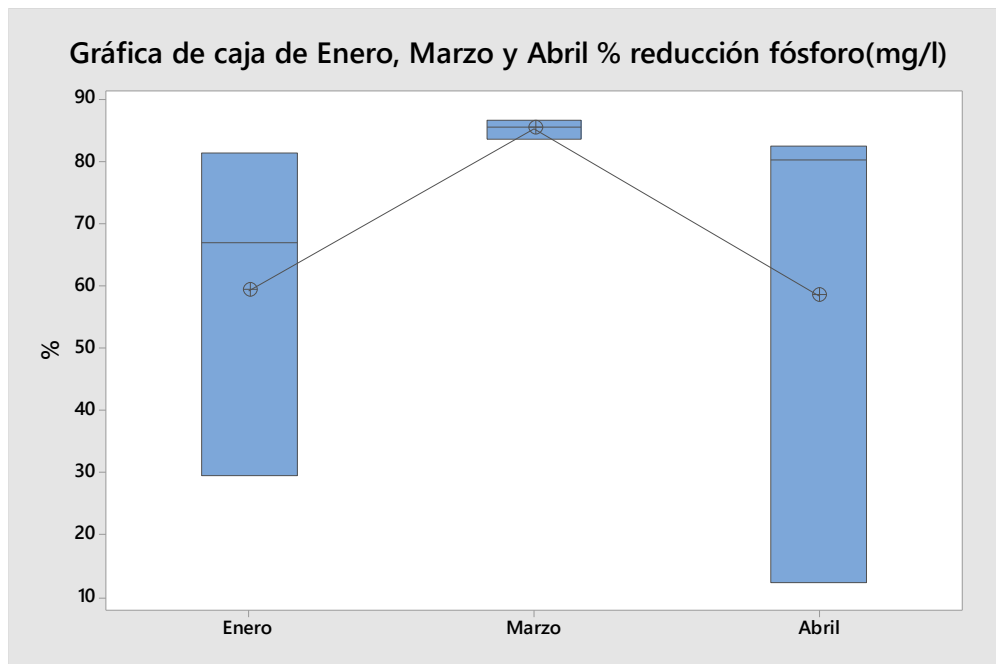
Gráfica de Caja % de reducción nitrógeno en mg/L



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab.

Continuación el Apéndice 3

Gráfica de Caja % de reducción fósforo en mg/L



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab.

Apéndice 4. Comparaciones en parejas de Fisher para el porcentaje de remoción de DQO en mg/L en función del tiempo

Comparaciones en parejas de Fisher

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Marzo	3	0.4197	A
Enero	3	0.365	A
Abril	3	0.2660	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

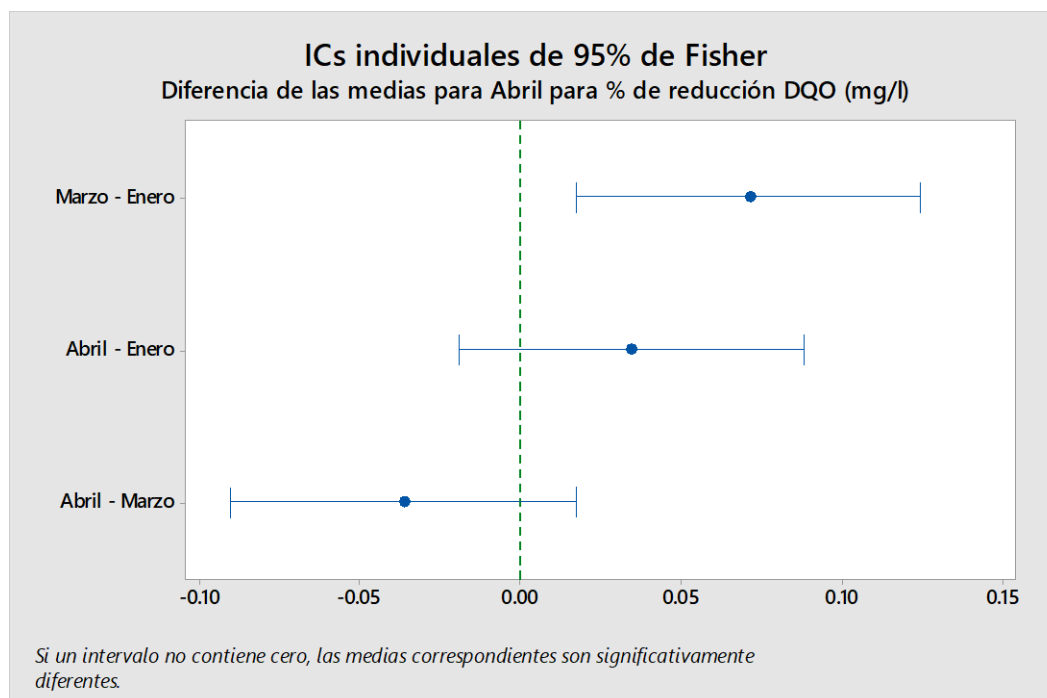
Continuación del Apéndice 4

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
Marzo - Enero	0.055	0.167	(-0.354, 0.464)	0.33	0.755
Abril - Enero	-0.099	0.167	(-0.508, 0.310)	-0.59	0.575
Abril - Marzo	-0.154	0.167	(-0.563, 0.255)	-0.92	0.393

Nivel de confianza simultánea = 89.08%

ICs individuales Fisher % reducción DQO en mg/L



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab.

Apéndice 5. Comparaciones en parejas de Fisher para el porcentaje de remoción de nitrógeno en mg/L en función del tiempo

Comparaciones en parejas de Fisher
Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
--------	---	-------	------------

Marzo	3	0.4197	A
Enero	3	0.365	A
Abril	3	0.2660	A

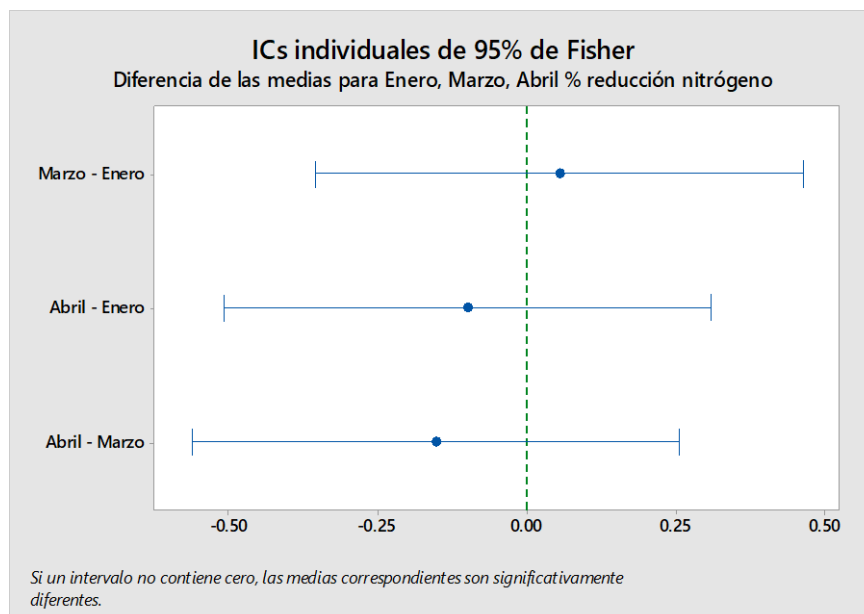
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
Marzo - Enero	0.055	0.167	(-0.354, 0.464)	0.33	0.755
Abril - Enero	-0.099	0.167	(-0.508, 0.310)	-0.59	0.575
Abril - Marzo	-0.154	0.167	(-0.563, 0.255)	-0.92	0.393

Nivel de confianza simultánea = 89.08%

ICs individuales Fisher % reducción nitrógeno en mg/L



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab.

Apéndice 6. Comparaciones en parejas de Fisher para el porcentaje de remoción de fósforo en mg/L en función del tiempo

Comparaciones en parejas de Fisher

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Marzo	3	0.85279	A
Enero	3	0.593	A
Abril	3	0.584	A

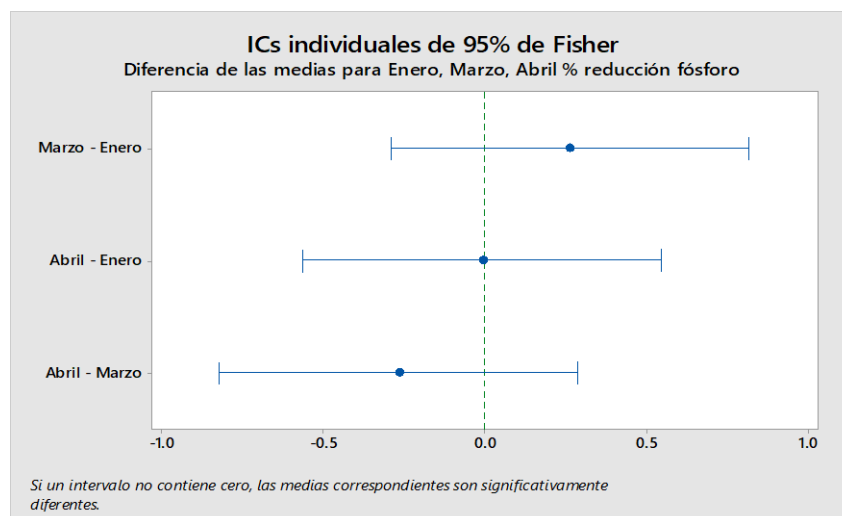
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
Marzo - Enero	0.259	0.227	(-0.296, 0.815)	1.14	0.296
Abril - Enero	-0.009	0.227	(-0.564, 0.546)	-0.04	0.968
Abril - Marzo	-0.269	0.227	(-0.824, 0.286)	-1.19	0.281

Nivel de confianza simultánea = 89.08%

IC's individuales Fisher % reducción fósforo en mg/L



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab.

Para los Apéndices del 7 al 10 se utilizó la información del Anexo 9.

Apéndice 7. **Parámetro crítico: DQO en mg/L semana 4**

RESULTADOS PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - DQO en mg/L DICIEMBRE 2020 SEMANA 04			
Tiempo / parámetro	DQO en mg/L Entrada	DQO en mg/L Salida	% de reducción
Muestreo 1	1 800	56	96,89
01/12/2021			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Parámetro crítico: nitrógeno en mg/L semana 4**

RESULTADOS PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - NITRÓGENO en mg/L DICIEMBRE 2020 SEMANA 04			
Tiempo / parámetro	Nitrógeno total en mg/L Entrada	Nitrógeno total en mg/L Salida	% de reducción
Muestreo 1	40,00	16,3	59,25
01/12/2021			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Parámetro crítico: fósforo en mg/L semana 4**

RESULTADOS PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - FÓSFORO en mg/L DICIEMBRE 2020 SEMANA 04			
Tiempo / parámetro	Fósforo total en mg/L Entrada	Fósforo total en mg/L Salida	% de reducción
Muestreo 1	8,00	1,15	85,63
01/12/2021			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Parámetro crítico: pH semana 4**

RESULTADOS PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - pH diciembre 2020 SEMANA 04			
Tiempo / parámetro	pH Entrada	pH Salida	Valor norma
Muestreo 1	6,14	6,3	6 a 9
15/02/2021			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Parámetro crítico: DQO en mg/L semana 10**

PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - DQO en mg/L ENERO 2021 SEMANA 10				
Fecha / Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra prom
	11/01/2021	12/01/2021	13/01/2021	Semana 10
DQO en mg/L Entrada	3 320	2 280	660	2 086,67
DQO en mg/L Salida	23,4	29,5	81	44,63
% de remoción	99.30 %	98.71 %	88 %	
Media	95,24 %			
Desv. Estandar	0,07			
C.V.	14,62			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. **Parámetro crítico: nitrógeno en mg/L semana 10**

PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - Nitrógeno en mg/L ENERO 2021 SEMANA 10				
Muestra / Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra prom
	11/01/2021	12/01/2021	13/01/2021	Semana 10
Nitrógeno en mg/L Entrada	14	14	6	11,33
Nitrógeno en mg/L Salida	13,5	8,5	2	8,00
% de remoción	3.57 %	39.29 %	66.67 %	29,41 %
Media	36.51%			
Desv. Estandar	0.32			
C.V.	1.15			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Parámetro crítico: fósforo en mg/L semana 10**

PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - FÓSFORO en mg/L ENERO 2021 SEMANA 10				
Muestra / Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra prom
	11/01/2021	12/01/2021	13/01/2021	Semana 10
Fósforo en mg/L Entrada	37,8	22,7	8,8	23,10
Fósforo en mg/L Salida	7	7,5	6,2	6,90
% de remoción	81,48 %	66,96 %	29,55 %	70,13 %
Media	59,33 %			
Desv. Estandar	0,27			
C.V.	2,21			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Parámetro crítico: pH semana 10**

PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - pH ENERO 2021 SEMANA 10				
Muestra / Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra prom
	11/01/2021	12/01/2021	13/01/2021	Semana 10
pH Entrada	6,22	5,49	4	5,24
pH Salida	7,49	7,36	7,22	7,36

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Parámetro crítico: DQO en mg/L semana 12**

PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - DQO en mg/L ENERO 2021 SEMANA 12				
Muestra / Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra prom
	25/01/2021	26/01/2021	27/01/2021	Semana 12
DQO en mg/L Entrada	370	1 590	1 310	1 090,00
DQO en mg/L Salida	34	52	60	48,67
% de remoción	90,81 %	96,73 %	95,42 %	95,54 %
Media	94.32 %			
Desv. Estándar	0,03			
C.V.	30,34			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. **Parámetro crítico: nitrógeno en mg/L semana 12**

PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - NITRÓGENO en mg/L ENERO 2021 SEMANA 12				
Muestra / Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra prom
	25/01/2021	26/01/2021	27/01/2021	Semana 12
Nitrógeno en mg/L Entrada	17	8	30	18,33
Nitrógeno en mg/L Salida	5,7	4,9	4,7	5,10
% de remoción	66,47 %	38,75 %	84,33 %	72,18 %
Media	63,18 %			
Desv. Estandar	0,23			
C.V.	2,75			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. **Parámetro crítico: fósforo en mg/L semana 12**

PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - FÓSFORO en mg/L ENERO 2021 SEMANA 12				
Muestra / Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra prom
	25/01/2021	26/01/2021	27/01/2021	Semana 12
Fósforo en mg/L Entrada	9,2	21	23,7	17,97
Fósforo en mg/L Salida	4,95	5,3	2,45	4,23
% de remoción	46,20 %	74,76 %	89,66 %	76,44 %
Media	70,21 %			
Desv. Estandar	0,22			
C.V.	3,18			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. **Parámetro crítico: pH semana 12**

PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - pH ENERO 2021 SEMANA 12				
Muestra / Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra prom
	25/01/2021	26/01/2021	27/01/2021	Semana 12
pH Entrada	5,64	5,96	6,82	6,14
pH Salida	7,55	7,59	7,7	7,61

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 19. **Parámetro crítico: DQO en mg/L semana 16**

RESULTADOS PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - DQO en mg/L FEBRERO 2021 SEMANA 16			
Tiempo / parámetro	DQO en mg/L Entrada	DQO en mg/L Salida	% de reducción
Muestreo 1	2 001	73	96,35
15/02/2021			

Fuente: elaboración propia

Apéndice 20. **Parámetro crítico: nitrógeno en mg/L semana 16**

RESULTADOS PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - NITRÓGENO en mg/L FEBRERO 2021 SEMANA 16			
Tiempo / parámetro	Nitrógeno total en mg/L Entrada	Nitrógeno total en mg/L Salida	% de reducción
Muestreo 1	31	30,5	0
15/02/2021			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 21. **Parámetro crítico: fósforo en mg/L semana 16**

RESULTADOS PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - FÓSFORO en mg/L FEBRERO 2021 SEMANA 16			
Tiempo / parámetro	Fósforo total en mg/L Entrada	Fósforo total en mg/L Salida	% de reducción
Muestreo 1	22,00	4,80	78,18
15/02/2021			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 22. **Parámetro crítico: pH semana 16**

RESULTADOS PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - pH FEBRERO 2021 SEMANA 16			
Tiempo / parámetro	pH Entrada	pH Salida	Valor norma
Muestreo 1	6,82	7,52	6 a 9
15/02/2021			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 23. **Parámetro crítico: DQO en mg/L semana 19**

PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - DQO en mg/L MARZO 2021 SEMANA 19				
Muestra / Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra prom
	10/03/2021	11/03/2021	12/03/2021	Semana 19
DQO en mg/L Entrada	2 035	2 600	3 630	2 755
DQO en mg/L Salida	66	120	113	99,67
% de remoción	96,76 %	95,38 %	96,89 %	96,38 %
Media	96,34 %			
Desv. Estandar	0,01			
C.V.	115,74			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 24. **Parámetro crítico: nitrógeno en mg/L semana 19**

PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - NITRÓGENO en mg/L MARZO 2021 SEMANA 19				
Fecha / Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra prom
	10/03/2021	11/03/2021	12/03/2021	Semana 19
Nitrógeno en mg/L Entrada	13	12	25	16,67

Continuación del Apéndice 24

PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - NITRÓGENO en mg/L MARZO 2021 SEMANA 19				
Fecha / Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra prom
	10/03/2021	11/03/2021	12/03/2021	Semana 19
Nitrógeno en mg/L Salida	9,9	5,8	12,4	9,37
% de remoción	23,85 %	51,67 %	50,40 %	43,80 %
Media	41,97 %			
Desv. Estandar	0,16			
C.V.	2,67			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 25. **Parámetro crítico: Fósforo en mg/L semana 19**

PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - FÓSFORO en mg/L MARZO 2021 SEMANA 19				
Fecha / Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra prom
	10/03/2021	11/03/2021	12/03/2021	Semana 19
Fósforo en mg/L Entrada	22,3	26,8	29	26,03
Fósforo en mg/L Salida	3,24	3,58	4,72	3,85
% de remoción	85,47 %	86,64 %	83,72 %	85,22 %
Media	85,28%			
Desv. Estandar	0,01			
C.V.	58,08			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 26. **Parámetro crítico: pH semana 19**

PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - pH MARZO 2021 SEMANA 19				
Muestra / Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra prom
	10/03/2021	11/03/2021	12/03/2021	Semana 19
pH Entrada	5,21	6,41	5,39	5,67
pH Salida	7,31	7,33	7,2	7,28

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 27. **Parámetro crítico: DQO en mg/L semana 26**

PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - DQO en mg/L ABRIL 2021 SEMANA 26				
Muestra / Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra prom
	27/04/2021	28/04/2021	29/04/2021	Semana 26
DQO en mg/L Entrada	2 050	2 100	975	1 708,33
DQO en mg/L Salida	111	115	108	111,33
% de remoción	94,59 %	94,52 %	88,92 %	93,48 %
Media	92,68 %			
Desv. Estandar	0,03			
C.V.	28,50			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 28. **Parámetro crítico: nitrógeno en mg/L semana 26**

PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - NITRÓGENO en mg/L ABRIL 2021 SEMANA 26				
Fecha / Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra prom
	27/04/2021	28/04/2021	29/04/2021	Semana 26
Nitrógeno en mg/L Entrada	24	27	25	25.33

Continuación del Apéndice 28

PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - NITRÓGENO en mg/L ABRIL 2021 SEMANA 26				
Fecha / Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra prom
	27/04/2021	28/04/2021	29/04/2021	Semana 26
Nitrógeno en mg/L Salida	18	18,9	18,8	18,57
% de remoción	25,00 %	30,00 %	24,80 %	26,71 %
Media	26,60 %			
Desv. Estandar	0,03			
C.V.	9,03			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 29. **Parámetro crítico: fósforo en mg/L semana 26**

PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - FÓSFORO en mg/L ABRIL 2021 SEMANA 26				
Fecha / Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra prom
	27/04/2021	28/04/2021	29/04/2021	Semana 26
Fósforo en mg/L Entrada	2	1,53	0,57	1,37
Fósforo en mg/L Salida	0,35	0,3	0,5	0,38
% de remoción	82,50 %	80,39 %	12,28 %	71,95 %
Media	58,39 %			
Desv. Estandar	0,40			
C.V.	1,46			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 30.

Parámetro crítico: pH semana 26

PARAMETROS CRÍTICOS DURANTE LA PUESTA EN MARCHA - pH ABRIL 2021 SEMANA 26				
Muestra / Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra prom
	27/04/2021	28/04/2021	29/04/2021	Semana 26
pH Entrada	6,7	6,29	10,88	7,96
pH Salida	7,71	7,84	7,77	7,77

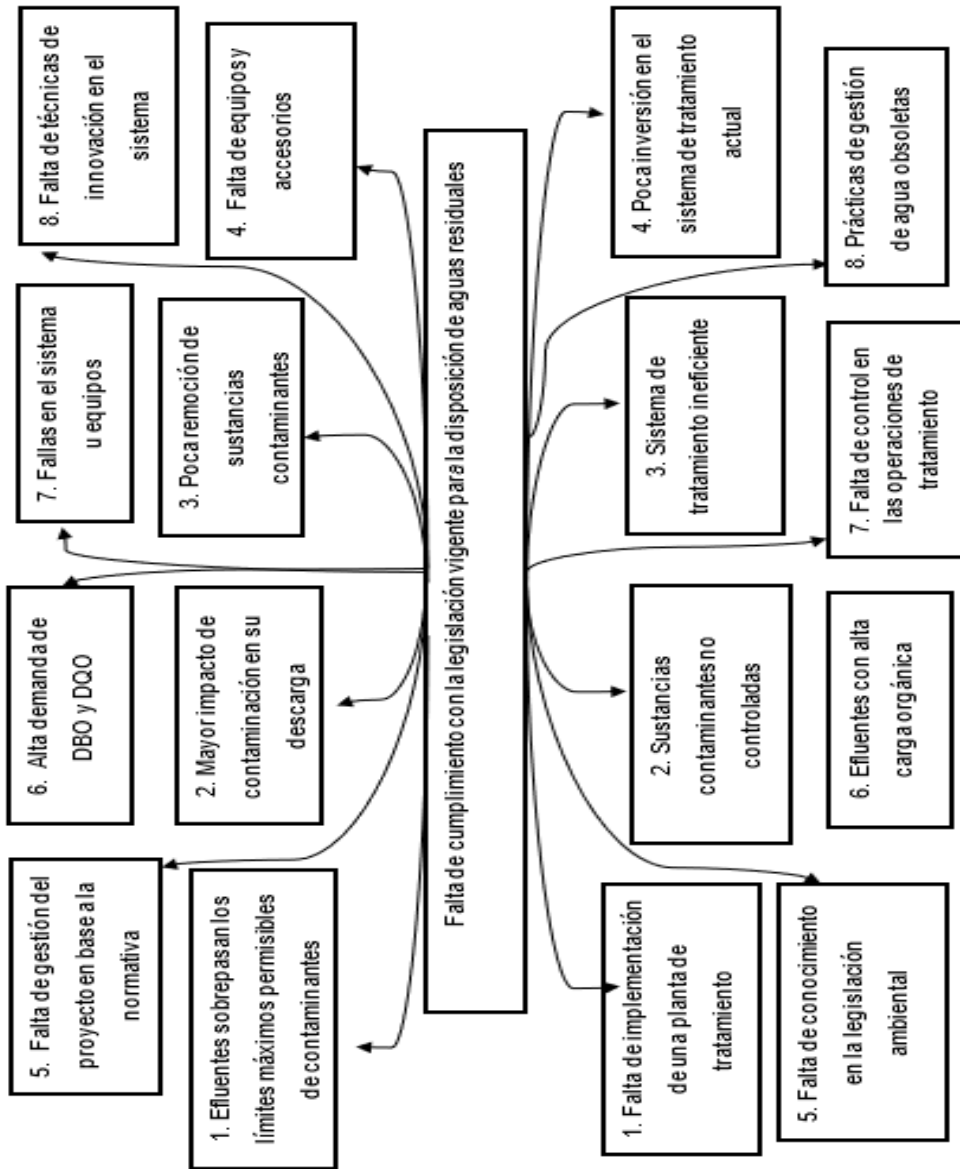
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 31. **Tabla de requisitos académicos**

Carrera	Área	Curso	Temas relacionados
Ingeniería química	Área de Química	Química 3	Metrología
		Química 4	Química del agua, porcentaje de reducción
		Análisis Cualitativo	Disociación de ácidos en el agua
		Análisis Cuantitativo	Métodos fisicoquímicos para análisis de aguas residuales
		Ecología	Contaminantes del agua
		Química Ambiental	Legislación guatemalteca
	Operaciones unitarias	Flujo de Fluidos IQ-2	Transferencia de momentum
	Área complementaria	Procesos químicos industriales	Tratamiento de Agua
		Diseño de equipos	Parámetros de diseño y operación
		Control de contaminantes	Tratamiento de Aguas Residuales, residuos líquidos
		Bioingeniería	Reactores industriales, funcionamiento, teoría
	Área ambiental	Calidad del agua	Contaminantes del agua
	Ciencias Básicas y Complementaria	Estadística 1	Estadística descriptiva
		Estadística 2	Análisis de varianza

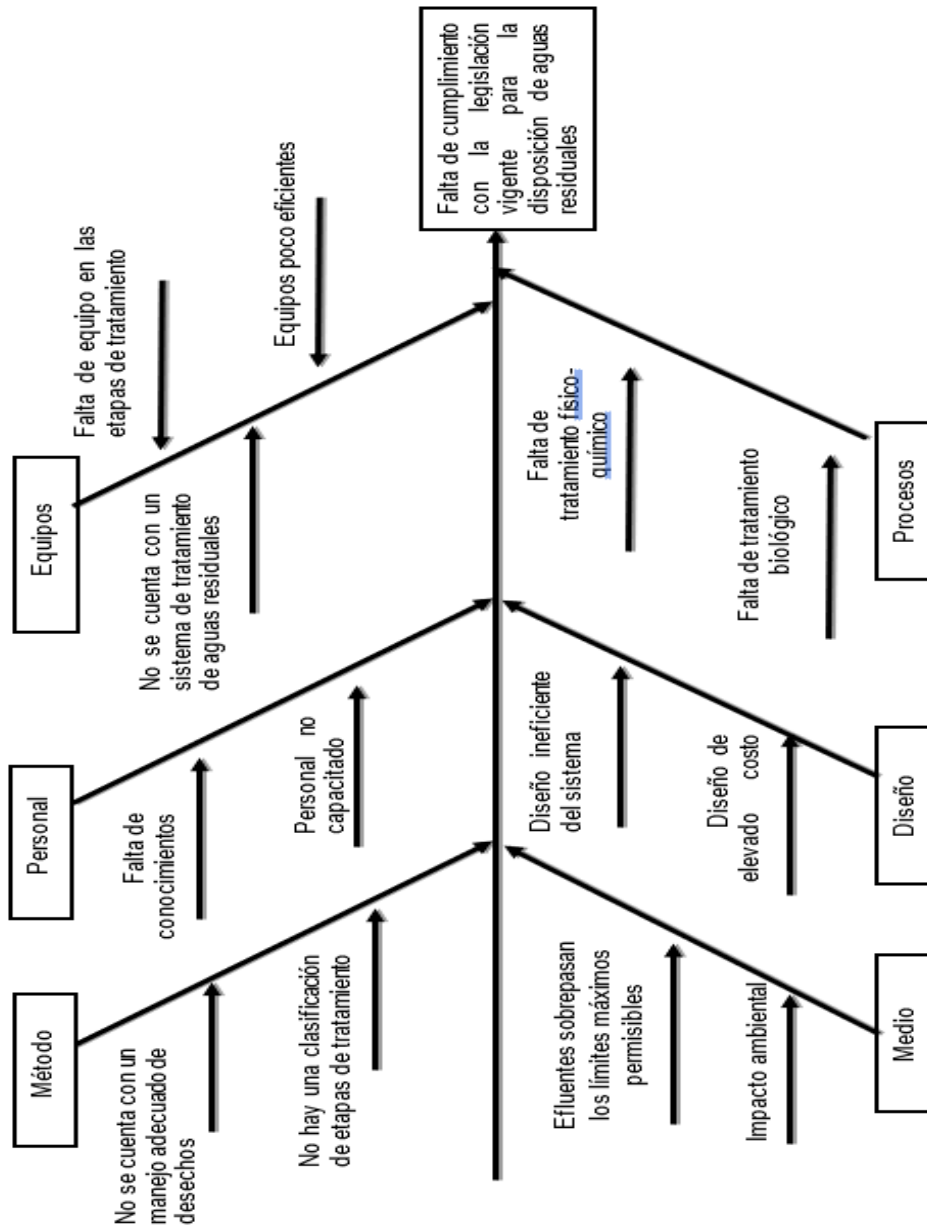
Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

Apéndice 32. Árbol del problema



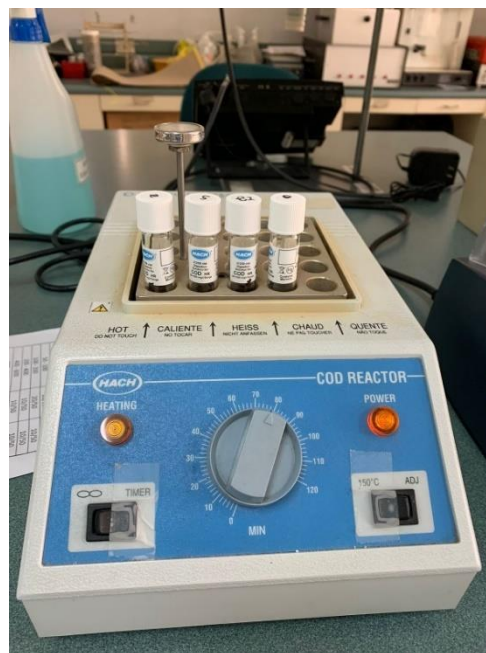
Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

Apéndice 33. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

Apéndice 34. **Espectrofotómetro y reactor HACH para la determinación de concentración de contaminantes**



Fuente: [Fotografía de Fabiola Fernández]. (Laboratorio INFOM, 2021).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 35. Realización de la técnica empleada para la determinación de contaminantes en las aguas residuales



Fuente: [Fotografía de Fabiola Fernández]. (Laboratorio INFOM, 2021).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 36. **Período de puesta en marcha del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales**



Fuente: [Fotografía de Fabiola Fernández]. (Planta de tratamiento, 2021). Colección particular. Guatemala.

ANEXOS

Anexo 1. Informe de resultados de análisis punto 3 módulos 4 y 7 aguas especiales – julio 2016



9ª. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
E-mail: informacion@ecoquimsa.com
Página Web: ecoquimsa.cc
PBX: (502) 2322 356

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Unipharm, S.A.
Responsable: Ing. Alma Lucía Samayoa
Dirección: Kilómetro 18 carretera al Pacífico Villa Nueva

Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Planta Unipharm
Referencia cliente: Punto No. 3 Aguas Especiales
Módulo 04 y 07
Fecha de monitoreo: 26 de julio de 2016
Hora de monitoreo: 06:30 a 18:30
Tipo de muestra: Agua residual especial
Código de muestra: 16-2011-3
Lote: 16-2011

Horas de Descarga: 24.00
Muestra simple o compuesta: Compuesta
Responsable del muestreo: WALTER COSAJAY
Temperatura de almacenaje: 5 °C
Recipiente utilizado: Plástico, vidrio y bolsa estéril
Método de muestreo: PRO19-MUE
Método de preservación: INS04-MUE
Ubicación: N 14°31'26.6"
O 90°35'50.2"

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 26 de julio de 2016
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 20:10
Fecha de informe: 08 de agosto de 2016

Análisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultados	LMP ⁽²⁾
Caudal Promedio	L/s	---	0.0009	---
Carga de DBO	Kg/día	---	0.16	---
Color	u Pt/Co	1	219	1,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L - O ₂	10	2,040	---
Demanda Químico de Oxígeno	mg/L - O ₂	5	3,260	---
Residuo DQO/DBO	---	---	1.6	---
Fósforo Total	mg/L - P	0.060	2.08	30
Grasas y Aceites	mg/L	5	6	50
Materia Feculenta	---	Presente/Ausente	Ausente	Ausente
Nitrogeno Total	mg/L - N	0.40	32.70	50
pH (e-sab)	---	0.01	6.67	6 a 9
Sólidos Sedimentables	ml/L	0.1	<0.1	---
Sólidos Suspendedos	mg/L	10	72	400
Temperatura promedio (in-situ)	°C	0.1	25.76	TCR +/- 7
Coliformas fecales	NMP/100ml	1.8	920,000	< 1 x 10 ³

(1) L/s = Litros por segundo; Kg/día = Kilogramos por día; mg/L = ppm; u Pt/Co = Unidades platino cobalto.

NMP/100 mL = número más probable por 100 mililitros.

(2) LMP: Límite Máximo Permisible según Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, Artículo No. 19 y 20, Etapa No. 2.

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

Laboratorio ECOQUIMSA
Inga. Bárbara Pinto Clason
Ingeniera Química
Colegiada No. 1714

8/11

Fuente: Ecoquimsa (2016). Informe de resultados de análisis 2016 punto 3.

Anexo 2. Informe de resultados de análisis punto 5 lavandería y tratamiento de aguas – julio 2016



9ª. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guate
 E-mail: informacion@ecoquimsa.cc
 Página Web: ecoquimsa
 PBX: (502) 2322 3

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Unipharm, S.A.
 Responsable: Ing. Alma Lucia Samayoa
 Dirección: Kilómetro 18 carretera al Pacífico Villa Nueva

Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Planta Unipharm
 Referencia cliente: Punto No. 5 Aguas Especiales Lavandería y Tratamiento de Aguas
 Fecha de monitoreo: 26 de julio de 2016
 Hora de monitoreo: 06:30 a 18:30
 Tipo de muestra: Agua residual especial
 Código de muestra: 16-2011-6
 Lote: 16-2011

Horas de Descarga: 24.00
 Muestra simple o compuesta: Compuesta
 Responsable del muestreo: WALTER COSAJAY
 Temperatura de almacenaje: 5 °C
 Recipiente utilizado: Plástico, vidrio y bolsa estéril
 Método de muestreo: PRO-19-MUE
 Método de preservación: INS04-MUE
 Ubicación: N 14°31'29.2" O 90°35'49.4"

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 26 de julio de 2016
 Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 20:10
 Fecha de informe: 08 de agosto de 2016

Análisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultados	LMP ⁽²⁾
Caudal Promedio	L/s	---	0.0027	---
Carga de DBO	Kg/día	---	0.037	---
Color	u Pt-Co	1	127	1,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L - O ₂	10	161	---
Demanda Química de Oxígeno	mg/L - O ₂	5	257	---
Relación DQO/DBO	---	---	1.6	---
Fósforo Total	mg/L - P	0.15	1.44	30
Grasas y Aceites	mg/L	5	< 5	50
Materia Floculante	---	Presente/Ausente	Ausente	Ausente
Nitrógeno Total	mg/L - N	0.25	21.10	50
pH (in-situ)	---	0.01	7.71	6 a 9
Sólidos Sedimentables	mL/L	0.1	< 0.1	---
Sólidos Suspendedos	mg/L	10	34	400
Temperatura promedio (in-situ)	°C	0.1	32.57	TCR +/- 7
Coliformes fecales	NMP/100mL	1.8	13,000,000	< 1 x 10 ⁵

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

(2) LMP: Límite Máximo Permisible según Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, Artículo No. 19 y 20, Etapa No. 2.

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

Laboratorio ECOQUIMSA
 Inga. Bárbara Pinto Classon
 Ingeniera Química
 Colegiado No. 1714

Fuente: Ecoquimsa (2016). Informe de resultados de análisis 2016 punto 5.

Anexo 3. Informe de resultados de análisis punto 3 módulos 4 y 7 aguas especiales – enero 2017



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

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Unipharm, S.A.
Responsable: Ing. Alma Lucía Samayoa
Dirección: Kilómetro 18 carretera al Pacífico Villa Nueva

Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Planta Unipharm
Referencia cliente: Punto No. 3 Aguas Especiales
Módulo 04 y 07
Fecha de monitoreo: 26 de enero de 2017
Hora de monitoreo: 08:45 a 20:45
Tipo de muestra: Aguas residual especial
Código de muestra: 17-235-3
Lote: 17-235

Horas de Descarga: 24.00
Muestra simple o compuesta: Compuesta
Responsable del muestreo: MAURICIO FUENTES
Temperatura de almaceño: 5 °C
Recipiente utilizado: Plástico, vidrio y bolsa esteril
Método de muestreo: PRO19-MUE
Método de preservación: INS04-MUE
Ubicación: N 14°3'26.60"
O 90°35'50.20"

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 26 de enero de 2017
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 21:35
Fecha de informe: 03 de febrero de 2017

Análisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultados	LMP ⁽²⁾
Caudal Promedio	L/s	---	0.34	---
Carga de DBO	Kg/día	---	37.96	---
Cloruro	mg/L - Cl ⁻	0.010	< 0.010	1
Cobalto	u Pt/Co	1	272	1,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L - O ₂	10	1,275	---
Demanda Química de Oxígeno ⁽³⁾	mg/L - O ₂	5	2,040	---
Relación DQO/DBO	---	---	1.6	---
Fósforo Total	mg/L - P	0.060	4.00	30
Cinzas y Aceites	mg/L	5	8	50
Materia Proteica	---	Presente/Ausente	Ausente	Ausente
Nitrógeno Total	mg/L - N	0.40	2.00	50
pH (en sitio)	---	0.01	7.19	6 a 9
Sólidos Sedimentables	mL/L	0.1	< 0.1	---
Sólidos Suspensivos	mg/L	10	42	400
Temperatura promedio (en sitio)	°C	0.1	24.0	TCR +/- 7
Coliformes fecales	NMP/100mL	1.8	540,000	< 1 x 10 ⁵

(1) L/s = Litros por segundo; Kg/día = kilogramos por día; mg/L = ppm; u Pt/Co = Unidades platino cobalto.
NMP/100 mL = número más probable por 100 mililitros.
(2) LMP: Límite Máximo Permisible según Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, Artículo No. 19 y 20, Epoca II, 2.
(3) El análisis de DQO (Método: Copenor NOD 29 014 M) es acreditado COGUAHOR NITADSOVEC 17205 2005 según ODA-LE-051-13

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

Laboratorio ECOQUIMSA

Lic. Edgar del Pozo
Químico
Colegiado No. 4943

Anexo 4. Informe de resultados de análisis punto 5 lavandería y tratamiento de aguas – enero 2017



9ª. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
 Email: informacion@ecoquimsa.com.gt
 Página Web: ecoquimsa.com
 PBX: (502) 2322 3600

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Unipharm, S.A.
 Responsable: Ing. Alma Lucia Samayoa
 Dirección: Kilómetro 18 carretera al Pacífico Villa Nueva

Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Planta Unipharm
 Referencia cliente: Punto No. 5 Aguas Especiales Lavandería y Tratamiento de Aguas
 Fecha de monitoreo: 26 de enero de 2017
 Hora de monitoreo: 08:15 a 20:15
 Tipo de muestra: Agua residual especial
 Código de muestra: 17-235-6
 Lote: 17-235

Horas de Descarga: 24:00
 Muestra simple o compuesta: Compuesta
 Responsable del muestreo: MAURICIO CIFUENTES
 Temperatura de almacenaje: 5 °C
 Recipiente utilizado: Plástico, vidrio y bolsa estéril
 Método de muestreo: PRO19-MUE
 Método de preservación: INS04-MUE
 Ubicación: N 14°31'29.2" O 90°35'49.4"

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 26 de enero de 2017
 Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 21:35
 Fecha de informe: 03 de febrero de 2017

Análisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultados	LMP ⁽²⁾
Caudal Promedio	L/s	---	0.40	---
Carga de DBO	kg/día	---	6.28	---
Cloruro	mg/L - Cl ⁻	0.010	< 0.010	1
Color	u Pt-Co	1	346	1,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L - O ₂	10	180	---
Demanda Química de Oxígeno ⁽³⁾	mg/L - O ₂	5	288	---
Relación DCO/DBO	---	---	1.6	---
Fósforo Total	mg/L - P	0.060	13.60	30
Grasas y Aceites	mg/L	5	< 5	50
Materia Proteica	---	Presente/Ausente	Ausente	Ausente
Nitrógeno Total	mg/L - N	0.40	87.50	50
pH (a-25)	---	0.01	6.45	6 a 9
Sólidos Sedimentables ⁽⁴⁾	mL/L	0.1	0.5	---
Sólidos Suspendedos	mg/L	10	48	400
Temperatura Promedio (a-25)	°C	0.1	29.3	TCR -4-7
Coliformes fecales	NMP/100mL	1.8	2,400,000	< 1 x 10 ³

(1) L/s = Litros por segundo; kg/día = kilogramos por día; mg/L = ppm; u Pt-Co = Unidades platino cobalto; NMP/100 mL = número más probable por 100 mililitros.
 (2) LMP: Límite Máximo Permisible según Acuerdo Gubernativo No. 236-2005, Artículo No. 18 y 20, Etapa No. 2.
 (3) El análisis de DCO (Método: Caganor NDO 29 014 H) es acreditado COGUMOR NTO/SOTREC 17025-2005 según OGA-LE-051-13
 (4) El sedimento se presenta como floculo, por lo que el resultado es aproximado.

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

Laboratorio ECOQUIMSA

Lic. Edgar del Pozo
 Químico
 Colegiado No. 4943

17/18

Fuente: Ecoquimsa (2017). Informe de resultados de análisis 2017 punto 5.

Anexo 5. Informe de resultados de análisis punto 3 módulos 4 y 7 aguas especiales – febrero 2018



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

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Unipharm, S.A.
Responsable: Arq. Vera Peralta
Dirección: Kilómetro 18 carretera al Pacífico, Villa Nueva

Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Planta Unipharm
Referencia cliente: Punto No. 3 Aguas especiales módulo 04 y 07
Fecha de monitoreo: 13 de febrero de 2018
Hora de monitoreo: 07:20 a 17:50
Tipo de muestra: Agua residual especial
Código de muestra: 18-404-3
Lote: 18-404

Horas de Descarga: 24.00
Muestra simple o compuesta: Compuesta
Responsable del muestreo: LUIS MARTÍNEZ
Temperatura de almacenaje: 5 °C
Recipiente utilizado: Plástico, vidrio y bolsa estéril
Método de muestreo: PRO19-MUE
Método de preservación: INS04-MUE
Ubicación: N 14°31'26.60"
O 90°35'50.20"

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 13 de febrero de 2018
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 19:40
Fecha de informe: 22 de febrero de 2018

Análisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultados	LMP ⁽²⁾	Método de análisis ⁽³⁾
Caudal Promedio	L/s	---	0.46	---	---
Carga de DBO	Kg/día	---	66.7	---	---
Cianuro	mg/L - CN ⁻	0.010	< 0.010	1	Spectroquant® Merck 09701
Color	u Pt-Co	1	736	1,000	STM 2120 C
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L - O ₂	10	1,680	---	STM 5210 B
Demanda Química de Oxígeno ⁽⁴⁾	mg/L - O ₂	10	3,320	---	COGUANOR NGO 29014 H8
Relación DQO/DBO	---	---	2.0	---	---
Fósforo Total ⁽⁴⁾	mg/L - P	0.040	3.00	30	Spectroquant® Merck 14848
Grasas y Aceites	mg/L	5	10	50	STM 5520 B
Materia Flotante	---	Presente/Ausente	Ausente	Ausente	Organoléptico
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾	mg/L - N	0.40	22.00	50	Spectroquant® Merck 14773
pH (in-situ)	---	0.01	5.53	6 a 9	STM 4500 H ⁺ B
Sólidos Sedimentables	mL/L	0.1	< 0.1	---	STM 2540 F
Sólidos Suspendedos	mg/L	10	84	400	STM 2540 D
Temperatura Promedio (in-situ)	°C	0.1	24.9	TCR +/- 7	STM 2550 B
Coliformes fecales	NMP/100mL	1.8	240,000	< 1 x 10 ⁷	STM 9221 E

(1) L/s = Litros por segundo; Kg/día = Kilogramos por día; mg/L = ppm; u Pt-Co = Unidades Platino Cobalto; NMP/100 mL = número más probable por 100 mililitros.
(2) LMP: Límite Máximo Permisible según Acuerdo Gubernativo No. 238-2008, Artículo No. 19 y 20, Etapa No. 2.
(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.
(4) Análisis acreditado COGUANOR NTG/SQ/EC 17025:2005 según OGA-LE-051-13.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.

Laboratorio ECOQUIMSA

Ing. Erick López Estrada
Ingeniero Químico Industrial
Colegiado No. 2152

8/18

Fuente: Ecoquimsa (2018). Informe de resultados de análisis 2018 punto 3.

Anexo 6. Informe de resultados de análisis punto 5 lavandería y tratamiento de aguas – febrero 2018



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

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Unipharm, S.A.
 Responsable: Arq. Vera Peralta
 Dirección: Kilómetro 18 carretera al Pacífico, Villa Nueva

Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Planta Unipharm
 Referencia cliente: Punto No. 5 aguas especiales lavandería y tratamiento de aguas
 Fecha de monitoreo: 13 de febrero de 2018
 Hora de monitoreo: 07:35 a 18:05
 Tipo de muestra: Agua residual especial
 Código de muestra: 18-404-6
 Lote: 18-404

Horas de Descarga: 24.00
 Muestra simple o compuesta: Compuesta
 Responsable del muestreo: LUIS MARTÍNEZ
 Temperatura de almacenaje: 5 °C
 Recipiente utilizado: Plástico, vidrio y bolsa estéril
 Método de muestreo: PRO19-MUE
 Método de preservación: INS04-MUE
 Ubicación: N 14°31'29.2" O 90°35'49.4"

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 13 de febrero de 2018
 Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 19:40
 Fecha de informe: 22 de febrero de 2018

Análisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultados	LMP ⁽²⁾	Método de análisis ⁽³⁾
Caudal Promedio	L/s	---	0.16	---	---
Carga de DBO	Kg/día	---	1.95	---	---
Cianuro	mg/L - CN ⁻	0.010	< 0.010	---	---
Color	u Pt-Co	1	175	1,000	Spectroquant® Merck 09701
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L - O ₂	10	144	---	STM 2120 C
Demanda Química de Oxígeno ⁽⁴⁾	mg/L - O ₂	10	321	---	STM 5210 B
Relación DQO/DBO	---	---	2.2	---	COGUANOR NGO 28014 HB
Fósforo Total ⁽⁴⁾	mg/L - P	0.040	2.10	30	Spectroquant® Merck 14848
Grasas y Aceites	mg/L	5	< 5	50	STM 5520 B
Materia Flotante	---	Presente/Ausente	Ausente	Ausente	Ogndesplco
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾	mg/L - N	0.40	18.00	50	Spectroquant® Merck 14773
pH (in-situ)	---	0.01	7.15	6 a 9	STM 4520 FT B
Sólidos Sedimentables	ml/L	0.1	< 0.1	---	STM 2540 F
Sólidos Suspendedos	mg/L	10	48	400	STM 2540 D
Temperatura Promedio (in-situ)	°C	0.1	28.4	TCR +/- 7	STM 2550 B
Coliformas fecales	NMP/100mL	1.8	130,000	< 1 x 10 ⁵	STM 8221 E

(1) L/s = Litros por segundo; Kg/día = Kilogramos por día; mg/L = ppm; u Pt-Co = Unidades Platino Cobalto; NMP/100 mL = número más probable por 100 mililitros.
 (2) LMP: Límite Máximo Permisible según Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, Artículo No. 19 y 20, Etapa No. 2.
 (3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.
 (4) Análisis acreditado COGUANOR NT/G/ISO/IEC 17025:2005 según OGA-LE-051-13.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.

Laboratorio ECOQUIMSA

Ing. Erick López Estrada
 Ingeniero Químico Industrial
 Colegiado No. 2152

17/18

Fuente: Ecoquimsa (2018). Informe de resultados de análisis 2018 punto 5.

Anexo 7. Informe de resultados de análisis punto 3 módulos 4 y 7 aguas especiales – marzo 2019



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

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Unipharm, S.A.
 Responsable: Ing. Vera Peralta
 Dirección: Kilómetro 18 carretera al Pacífico, Villa Nueva

Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Planta Unipharm
 Referencia cliente: Punto No. 3 aguas especiales módulo 04 y 07
 Fecha de monitoreo: 15 de marzo de 2019
 Hora de monitoreo: 08:10 a 18:10
 Tipo de muestra: Agua residual especial
 Código de muestra: 19-1217-3
 Lote: 19-1217

Horas de descarga: 13.00
 Muestra simple o compuesta: Compuesta
 Responsable del muestreo: WJALTER COSAWY
 Temperatura de almacenaje: 5 °C
 Recipiente utilizado: Plástico, vidrio y bolsa estéril
 Método de muestreo: PRO19-MUE
 Método de preservación: INS04-MUE
 Ubicación: N 14°31'26.60"
 O 90°35'50.20"

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 15 de marzo de 2019
 Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 20:10
 Fecha de informe: 25 de marzo de 2019

Análisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultados	LMP ⁽²⁾	Método de análisis ⁽³⁾
Caudal Promedio	L/s	---	0.25	---	---
Carga de DBO	Kg/día	---	20.1	---	---
Cobal	u Pt Co	1.40	16.00	500	STM 2120 C
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/L - O ₂	3	1,700	200	COGUANOR NTG 29014-7
Demanda Química de Oxígeno ⁽⁴⁾	mg/L - O ₂	3	3,230	---	COGUANOR N GO 29014-8
Relación DQO/DBO	---	---	1.9	---	---
Fósforo Total ⁽⁵⁾	mg/L - P	0.025	24.40	10	Spectroquant [®] Merck 14548
Cromo y Acetato	mg/L	5	14	10	COGUANOR NTG 77020-1
Materia Fibrante	---	Presente/Ausente	Ausente	Ausente	OgenMético
Nitrógeno Total ⁽⁶⁾	mg/L - N	0.30	132.0	20	Spectroquant [®] Merck 14773
pH (n-sku)	---	0.01	5.40	6 a 9	STM 4500-H B
Sólidos Sedimentables	mL/L	0.1	< 0.1	---	STM 2540 F
Sólidos Suspensivos	mg/L	2	86	100	STM 2540 D
Temperatura Promedio (n-sku)	°C	0.1	27.7	TCR +/- 7	STM 2650 B
Coliformes fecales	NMP/100 mL	1.8	350,000	< 1X10 ⁴	STM 9221 C y E

(1) L/s = Litros por segundo; Kg/día = kilogramos por día; mg/L = ppm; u Pt Co = Unidades Punto Cobalto.
 NMP/100 mL = número más probable por 100 mililitros.
 (2) LMP: Límite Máximo Permisible según Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, Artículo No. 21.
 (3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017.
 (4) Análisis acreditado: COGUANOR NTGASO/EC 17025:2005 según OGA-LE-051-13.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra bruta y recibida en la fecha indicada.

Laboratorio ECOQUIMSA
 Ing. Erick López Estrada
 Ingeniero Químico Industrial
 Colegiado No. 2152

Anexo 8. Informe de resultados de análisis punto 5 lavandería y tratamiento de aguas – marzo 2019



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

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Unipharm, S.A.
 Responsable: Ing. Vera Peralta
 Dirección: Kilómetro 18 carretera al Pacífico, Villa Nueva

Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Planta Unipharm Horas de descarga: 13.00
 Referencia cliente: Punto No. 5 aguas especiales Muestra simple o compuesta: Compuesta
 lavandería y tratamiento de aguas Responsable del muestreo: WJALTER COSAJAY
 Fecha de monitoreo: 15 de marzo de 2019 Temperatura de almacenaje: 5 °C
 Hora de monitoreo: 06:10 a 18:10 Recipiente utilizado: Plástico, vidrio y bolsa estéril
 Tipo de muestra: Agua residual especial Método de muestreo: PRO19-MUE
 Código de muestra: 19-1217-6 Método de preservación: INS04-MUE
 Lote: 19-1217 Ubicación: N 14°31'29.20"
 O 90°35'49.40"

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 15 de marzo de 2019
 Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 20:10
 Fecha de informe: 25 de marzo de 2019

Análisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultados	LMP ⁽²⁾	Método de análisis ⁽³⁾
Caudal Promedio	L/s	---	0.23	---	---
Carga de DBO	Kg/día	---	5.80	---	---
Color	u Pt-Co	1.40	27.00	500	STM 2120 C
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L - O ₂	3	516	200	COQUANOR NTG 290147
Demanda Química de Oxígeno ⁽⁴⁾	mg/L - O ₂	3	929	---	COQUANOR NTG 290144
Relación DQO/DBO	---	---	1.8	---	---
Fósforo Total ⁽⁵⁾	mg/L - P	0.025	2.30	10	Spectroquant® Merck 14548
Cinzas y Acidez	mg/L	5	9	10	COQUANOR NTG 170281
Materia Fibrosa	---	Presente/Ausente	Ausente	Ausente	Organoléptico
Nitrógeno Total ⁽⁶⁾	mg/L - N	0.30	12.60	20	Spectroquant® Merck 14773
pH (pH-alk)	---	0.01	7.61	6 a 9	STM 4504-F B
Sólidos Sedimentables	mL/A	0.1	< 0.1	---	STM 2540 F
Sólidos Suspendedos	mg/L	2	10	100	STM 2540 D
Temperatura Promedio (p-sib)	°C	0.1	27.8	TCR 4-7	STM 2550 B
Coliformes fecales	NMP/100 mL	1.8	< 1.8	< 1x10 ³	STM 9221 C y E

(1) L/s = Litros por segundo; Kg/día = kilogramos por día; mg/L = ppm; u Pt-Co = Unidades Platino Cobalto; NMP/100 mL = número más probable por 100 mililitros.

(2) LMP: Límite Máximo Permisible según Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, Artículo No. 21.

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017.

(4) Análisis acreditado: COQUANOR NTG/SQ/EC 17025:2005 según OGA-LE-051-13.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.

Laboratorio ECOQUIMSA

Ing. Erick López Estrada
 Ingeniero Químico Industrial
 Colegiado No. 2152

17/18

Fuente: Ecoquimsa (2019). Informe de resultados de análisis 2019 punto 5.

Anexo 9. Informe de resultados de análisis diciembre 2020

Analisis	Dimensional	Resultado	LMP
Color	u Pt.Co	29	500
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg.L - O ₂	55	200
Demanda Química de Oxígeno	mg.L - O ₂	105	---
Fósforo Total	mg.L - P	1.15	10
Grasas y Aceites	mg.L	< 5	10
Materia Fibrante	---	Ausente	Ausente
Nitrógeno Total	mg.L - N	19.30	20
pH (pH-villa)	---	6.30	6 a 9
Sólidos Sedimentables	mL/L	0.15	---
Sólidos Suspendidos	mg/L	41.00	100
Coliformes fecales	NMP/100ml	14,000	< 1X10 ⁷
Arsénico	mg.L - As	0.0047	0.1
Cadmio	mg.L - Cd	< 0.010	0.1
Cianuro	mg.L - CN	< 0.022	1
Cobre	mg.L - Cu	0.112	3

Fuente: Ecoquimsa (2020). *Resultados del monitoreo 2020.*

Anexo 10. Informe de resultados de análisis febrero 2021



9ª Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
 Email: informacion@ecoquimsa.com.gt
 Página Web: ecoquimsa.com
 PBX: (502) 2322-3600

MONITOREO DE AGUA RESIDUAL

UNIPHARM, S.A.
PLANTA UNIPHARM VILLA NUEVA

KILÓMETRO 18 CARRETERA AL PACÍFICO, VILLA NUEVA

PREPARADO POR:
LABORATORIO ECOQUIMSA
 9a. avenida 3-08 colonia Alvarado zona 2 de Mixco, Guatemala, Centroamérica
 PBX: 2322-3600
 ecoquimsa.com

Febrero 2021



9ª Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
 Email: informacion@ecoquimsa.com.gt
 Página Web: ecoquimsa.com
 PBX: (502) 2322-3600

RESULTADOS DEL MONITOREO

Los resultados de los análisis están consignados en el informe de Laboratorio ECOQUIMSA Lote número 21-745. Los resultados comprenden una muestra tomada en Planta Unipharm Villa Nueva. A continuación, se presenta una tabla con los resultados obtenidos y una columna con los límites máximos permitidos para un ente generador nuevo que descarga a cuerpo receptor, artículo 21 del Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Análisis	Dimensional	Resultado	LMP
Color	u Pt-Co	41	500
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L - D ₅	20	200
Demanda Química de Oxígeno	mg/L - D ₅	73	---
Ratión DQO/DBO	---	3.7	---
Fósforo Total	mg/L - P	4.80	10
Grasas y Aceites	mg/L	< 5	10
Materia Flotante	---	Ausente	Ausente
Nitrógeno Total	mg/L - N	30.50	20
pH (in-situ)	---	7.52	6 a 9
Sólidos Sedimentables	mL/L	< 0.1	---
Sólidos Suspendedos	mg/L	14.00	100
Temperatura (in-situ)	°C	24.3	TCR +/- 7
Coliformes fecales	NMP/100ml	630.0	10,000
Arsénico	mg/L - As	0.0041	0.1
Cadmio	mg/L - Cd	< 0.010	0.1

Fuente: Ecoquimsa (2021). *Resultados del monitoreo 2021.*