



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Artes en Energía y Ambiente

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES  
PROVENIENTES DEL PROCESO DE LAVADO DE VEHÍCULOS EN UN *CAR WASH***

**Inga. Krista Ivonne Aguilar Ovando**

Asesorado por la Mtra. Inga. Dinna Lissette Estrada Moreira

Guatemala, junio de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES  
PROVENIENTES DEL PROCESO DE LAVADO DE VEHÍCULOS EN UN CAR WASH**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**INGA. KRISTA IVONNE AGUILAR OVANDO**

ASESORADO POR LA MTRA. INGA. DINNA LISSETTE ESTRADA MOREIRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRA EN ARTES EN ENERGÍA Y AMBIENTE**

GUATEMALA, JUNIO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Mtro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
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. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Mtra. Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Mtro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Pablo Christian de Leon Rodríguez
SECRETARIA	Mtra. Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL PROCESO DE LAVADO DE VEHÍCULOS EN UN CAR WASH**

Tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 23 de mayo 2019.



**Inga. Krista Ivonne Aguilar Ovando**

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Mi esposo** Zaid Jacobo Lou Díaz. Por su apoyo incondicional y ser una fuente contante de motivación.
- Mis hijos** Por ser mi inspiración y mi razón para ser mejor.
- Mis padres** Rommel Christian Aguilar Morales y Ana María Ovando Alvarado. Por su apoyo y presencia constante.
- Mi hermana** Ellen Ivette Aguilar Ovando. Por su ejemplo de perseverancia y excelencia académica.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Mi casa de estudios.

**Facultad de Ingeniería**

Por brindarme los conocimientos y las herramientas básicas para seguir mi vocación.

**Escuela de Postgrados  
de la Facultad de  
Ingeniería**

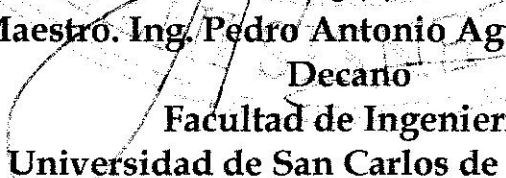
Por las oportunidades brindadas, su orientación y acompañamiento a lo largo de este proceso.

Ref.APT-2019-016

En mi calidad como Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente titulado: **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL PROCESO DE LAVADO DE VEHÍCULOS EN UN CAR WASH "** presentado por la Ingeniera Química Krista Ivonne Aguilar Ovando quien se identifica con Carné 100014408, procedo a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Maestro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, junio de 2019.

Cc archivo/LZLA.

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y verificar la aprobación del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL PROCESO DE LAVADO DE VEHÍCULOS EN UN CAR WASH"** presentado por la Ingeniera Química **Krista Ivonne Aguilar Ovando** quien se identifica con Carné **100014408**, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Energía y Ambiente; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Maestro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, junio de 2019.

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



Ref.APT-2019-016

Como Coordinador de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL PROCESO DE LAVADO DE VEHÍCULOS EN UN CAR WASH"** presentado por la Ingeniera Química Krista Ivonne Aguilar Ovando quien se identifica con Carné 100014408.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

**Maestro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque**  
**Coordinador(a) de Maestría**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**




Guatemala, junio de 2019.

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

En mi calidad como Asesor de la Ingeniera Química **Krista Ivonne Aguilar Ovando** quien se identifica con carné No. **100014408** procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL PROCESO DE LAVADO DE VEHÍCULOS EN UN CAR WASH"** quien se encuentra en el programa de Maestría en Artes en Energía y Ambiente en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
**Maestra. Inga. Dinna Lissette Estrada Moreira**  
**Asesor(a)**

**Ingeniera Química**  
**Dinna Lissette Estrada Moreira**  
Colegiado 666

Guatemala, junio de 2019.

Cc archivo/LZLA.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN.....	IX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Lavado de vehículos.....	3
2.1.1. Etapas del lavado de vehículos.....	3
2.1.1.1. Prelavado.....	3
2.1.1.2. Lavado.....	3
2.1.1.3. Acabado.....	4
2.1.1.4. Secado.....	4
2.1.2. Aspectos ambientales.....	4
2.1.2.1. Consumo de agua .....	4
2.1.2.2. Productos químicos .....	6
2.2. Aguas residuales .....	6
2.2.1. Composición de aguas residuales.....	7
2.2.1.1. Características físicas.....	7
2.2.1.1.1. Sólidos.....	7

2.2.1.2.	Características químicas inorgánicas.....	8
2.2.1.3.	Materia orgánica.....	8
2.2.1.4.	Tensoactivos .....	9
2.2.1.5.	Características biológicas.....	10
2.2.1.5.1.	Organismos patógenos .....	10
2.2.2.	Tratamiento de aguas residuales .....	10
2.3.	Operaciones unitarias de tratamiento de aguas residuales .....	11
2.3.1.	2.3.1 Tamizado grueso.....	11
2.3.2.	2.3.2 Sedimentación.....	12
3.	MARCO LEGAL .....	13
3.1.	Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.....	13
4.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
5.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	17
6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	21
	CONCLUSIONES.....	25
	RECOMENDACIONES .....	27
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	29
	APÉNDICES.....	33
	ANEXOS.....	37

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### TABLAS

- I. Tabla I. Consumo medio de agua por tipo de lavado de vehículos ..... 5
- II. Tabla II. Límites máximos permisibles para aguas residuales de  
descarga directa al medio ..... 14



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>L</b>	Litro
<b>ml</b>	Mililitro
<b>mg</b>	Miligramos
<b>mg/L</b>	Miligramo por litro
<b>NMP</b>	Número más probable
<b>ppm</b>	Partes por millón





## GLOSARIO

<b>Afluente</b>	El agua captada por un ente generador.
<b>Aguas residuales de Tipo especial</b>	Aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas.
<b>Caudal</b>	Volumen de agua por unidad de tiempo.
<b>Coliformes fecales</b>	Parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente.
<b>Cuerpo receptor</b>	Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.
<b>Efluente de aguas residuales</b>	Las aguas residuales descargadas por un ente generador.

<b>Entes generadores</b>	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.
<b>Límite máximo permisible</b>	Valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reúso y lodos.
<b>Punto de descarga</b>	Sitio en el cual el efluente de aguas residuales confluye en un cuerpo receptor o con otro efluente de aguas residuales.

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es determinar el manejo, el tratamiento y el potencial para reuso de las aguas residuales provenientes del proceso de lavado de vehículos en un *car wash*.

El *car wash* estudiado se encuentra ubicado dentro del área de parques de un centro comercial en la Ciudad Capital (tanto el centro comercial como el *car wash* han preferido permanecer anónimos en este estudio), y sus aguas residuales descargan directamente al medio, teniendo entonces un gran impacto ambiental.

El *car wash* da tratamiento a sus aguas residuales; sin embargo, los resultados de calidad de las mismas no cumplen con los límites máximos permitidos para descargas de aguas residuales al medio, contemplados en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y sus modificaciones y actualizaciones, requiriendo un diagnóstico técnico operativo del funcionamiento del sistema.

Durante el diagnóstico se determinó que el sistema de tratamiento de aguas residuales del establecimiento no cuenta con los procesos necesarios para tratar los contaminantes de las aguas de lavado de vehículos, y se procedió a diseñar un sistema basado en las características específicas del proceso y la calidad de las aguas crudas obtenidas.

Una vez aplicado el tratamiento apropiado para las aguas residuales, estas podrán ser incorporadas al medio o reincorporadas al proceso de lavado.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los establecimientos de lavado de vehículos presentan varias problemáticas ambientales al utilizar grandes cantidades de agua y no existir un control sobre la disposición de sus aguas residuales de tipo especial.

El Acuerdo Gubernativo 236-2006 establece ciertos parámetros que deben ser controlados para el vertido de aguas residuales al medio, pero estos parámetros no son suficientes para asegurar la calidad de las aguas residuales en todos los procesos productivos existentes, ya que los contaminantes que pueden encontrarse en estos procesos no son evaluados dentro del Acuerdo.

Lo anterior constituye un problema principalmente para establecimientos pequeños, en los que la falta de control y exigencias por parte de las entidades encargadas es casi nula.

El *car wash* estudiado utiliza una pequeña cantidad de agua (aproximadamente 420 litros por día) dentro de su lavado, y posee una planta de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, esta planta no fue diseñada específicamente para su proceso (la planta fue diseñada para tratar aguas negras con alto contenido de materia orgánica digerible), por lo que no cumple con la función de tratar el agua de forma apropiada para su disposición final.

Las aguas residuales son descargadas al río, luego de pasar por el proceso de tratamiento, constituyendo una fuente de contaminación.



## OBJETIVOS

### General

Determinar el manejo, el tratamiento y el potencial para reuso de las aguas residuales provenientes del proceso de lavado de vehículos en un *car wash*.

### Específicos

1. Elaborar un diagnóstico técnico operativo y ambiental del manejo y tratamiento de las aguas residuales provenientes del proceso de lavado de vehículos en un *car wash*.
2. Elaborar una propuesta de diseño para mejorar el sistema de tratamiento para las aguas residuales del proceso de lavado de vehículos en un *car wash*.





## RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Para este trabajo se seleccionó un caso específico, que sería estudiado en un tiempo determinado. El establecimiento a analizar es un *car wash* que opera dentro del parqueo de un centro comercial. El centro comercial se encuentra ubicado en el área sur de la ciudad capital y las aguas del *car wash* descargan directamente al río. Tanto el centro comercial como el *car wash* han preferido no indicar sus nombres dentro de este trabajo, por lo que serán referidos únicamente como *car wash* y centro comercial.

Para lograr los objetivos fijados para este proyecto, se trabajó lo siguiente: lectura del caso, reunión de datos disponibles, evaluación de datos, definición del problema, establecimiento de alternativas, diseño del nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales.

### **Evaluación de la información existente**

Se llevó a cabo una reunión con el personal administrativo del *car wash* y del centro comercial, para establecer las necesidades inmediatas del proyecto. Durante esta reunión se informó a los participantes sobre el proceso de diagnóstico y evaluación que se realizaría en el establecimiento de lavado de vehículos y sus alrededores, con el objetivo de establecer las fortalezas y debilidades actuales.

Con el aval de la administración se llevó a cabo una inspección de las instalaciones del establecimiento, incluyendo la estación de tratamiento de aguas residuales con la que actualmente cuenta.

Durante la visita de inspección se recopiló información con ayuda de los siguientes instrumentos:

- Observación directa: permite familiarizarse con los componentes de estudio, anotar y analizar las actividades que realizan los operarios, el proceso, los productos utilizados y el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Entrevistas: con administradores del *car wash* y del centro comercial y con el personal que labora en el *car wash*.
- Registros: se solicitó toda información escrita disponible sobre el establecimiento, esta información incluyó: análisis de aguas residuales realizados para cumplimiento de lo establecido en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, fichas técnicas de los productos de limpieza utilizados dentro del local para el lavado de vehículos y registros de mantenimiento y operación del sistema de tratamiento de aguas residuales existente.

### **Preguntas técnico-operativas**

- ¿Cómo se lleva a cabo el lavado de vehículos?
- ¿Cuál es el tiempo de lavado por vehículo?
- ¿En qué consiste el lavado de vehículos?
- ¿Qué equipo utilizan para el lavado de vehículos?
- ¿Qué productos utilizan durante el lavado de vehículos?
- ¿Qué tratamiento le dan a las aguas residuales que obtienen del lavado de vehículos?

- ¿A dónde descargan las aguas residuales del lavado de vehículos después del tratamiento?
- ¿Qué parámetros analizan para el agua de vertido al medio?
- ¿Cada cuánto realizan análisis de control de calidad del agua a las aguas de vertido al medio?
- ¿Cuál es el procedimiento de mantenimiento del sistema de tratamiento de las aguas residuales del lavado de vehículos?
- ¿Se cuenta con registros sobre los mantenimientos realizados al sistema de tratamiento de aguas residuales?



## INTRODUCCIÓN

La descarga de aguas residuales mal tratadas o sin tratamiento alguno a los cuerpos hídricos de Guatemala constituye una realidad y un problema de grandes magnitudes, difícil de resolver por varios factores entre los que se encuentran la falta de ordenamiento territorial, crecimiento poblacional desmedido y concentrado en las áreas urbanas, poca exigencia al cumplimiento legal ambiental, falta de una ley que especifique el tema del agua, falta de herramientas que motiven a los generadores de aguas residuales a velar por la calidad de las aguas de vertido, entre otros.

Según Guzmán (2014, p. 1) a pesar de ser Guatemala un país rico con suficiente recurso hídrico para abastecer a toda la población, tiene problemas de escasez y contaminación hídrica. La falta de tratamiento de las aguas residuales, así como la escasa aplicación de reglamentación ambiental han provocado que para el año 2003 más del 90 % de los ríos y lagos se encuentren contaminados.

En algunas regiones de la zona central del país este problema se agrava, debido a que existe menos control sobre los efluentes, por ello es muy común que descarguen directamente al medio.

Una opción en el caso de procesos productivos o servicios que tienen efluentes más pequeños es la instalación de sistemas de tratamiento pequeños y descentralizados, sobre todo en aquellos lugares donde no existe un sistema central.

Los objetivos de sistemas pequeños y descentralizados son: proteger la salud pública, proteger de la degradación o de la contaminación al medio receptor y reducir los costos de tratamiento mediante la retención de aguas y sólidos cerca de su punto de emisión, permitiendo en algunos casos su reutilización.

El presente trabajo es un estudio de caso en un *car wash*, con el objetivo de determinar el manejo, el tratamiento y el potencial para reuso de sus aguas, provenientes del lavado de vehículos.

El *car wash* estudiado cuenta con un sistema de tratamiento para sus aguas de desecho. Este sistema de tratamiento está compuesto por dos etapas, una fosa de lodos pequeña y un biodigestor empacado. Ninguna de las dos etapas se encuentra operando de la forma esperada, descargando aguas que no cumplen con los límites máximos permitidos para descarga al medio en algunos de los parámetros medidos. Es sistema de tratamiento de aguas residuales carece de canales de recolección para el agua del *car wash*, rejillas y filtros de cualquier tipo.

Para este trabajo se recopiló información sobre la operación del establecimiento, el proceso de lavado, las características de las aguas residuales del proceso y los detalles técnico operativos del sistema de tratamiento de aguas con el que cuenta.

Los fundamentos teóricos para el diseño se encuentran descritos en el cuerpo del trabajo, así como los requerimientos legales nacionales. Las variables de proceso se obtuvieron por medio de entrevistas al personal que labora en el *car wash*, por medio de mediciones directas.

Una limitación importante para el diseño del sistema de tratamiento fue la necesidad de conservar la simpleza y mantener las dimensiones reducidas, debido a las condiciones de espacio disponible para sus instalaciones.

Como resultado se obtuvo un diseño funcional, basado en el análisis de contaminantes específicos para las aguas crudas (aquellas que aún no han sido sometidas a ningún tipo de tratamiento) del proceso de lavado, que permite obtener aguas tratadas que cumplan con los requerimientos legales establecidos para aguas de vertido directo al medio y que al mismo tiempo permita que esta agua sean reutilizadas, si así se desea, dentro del mismo proceso de lavado.





## 1. MARCO REFERENCIAL

Un *car wash* es un establecimiento que se dedica a la limpieza interior y exterior de vehículos. El principal efluente generado en las instalaciones de lavado de vehículos es el agua sucia. De acuerdo con la guía de buenas prácticas para instalaciones de lavado de vehículos (2016, p. 8) el flujo de agua residual generado es ligeramente inferior al volumen de agua utilizado para el lavado de los vehículos y está relacionado con el método de lavado que se utilice.

El servicio de limpieza de vehículos tiene un impacto sobre el ambiente, debido al alto consumo de agua, al uso de productos de limpieza y la generación de aguas residuales.

La composición de las aguas residuales del lavado de vehículos es muy variable, dependiendo de factores como el tipo y uso de los vehículos a los cuales se presta el servicio, los productos de limpieza que se utilicen, los servicios que se ofrezcan, la temporada en la cual se lleven a cabo los lavados, entre otros; puede tener contaminación con metales pesados, detergentes e hidrocarburos, entre otros, que tienen un impacto negativo en los cuerpos receptores y/o pueden afectar a los procesos de tratamiento de aguas residuales comunes y la calidad de los lodos en las instalaciones de tratamiento.

En Guatemala no existe una ley de aguas o una normativa específica que regule la calidad del agua de vertido para establecimientos de lavado de vehículos, y el Acuerdo Gubernativo 236-2006 no tiene contemplados

parámetros específicos para aguas de procesos especiales, por lo que estas se someten al mismo conjunto de análisis que las aguas residuales normales. Estos análisis no contemplan contaminantes añadidos por el propio proceso del lavado de los vehículos, por lo que en general se desconoce la calidad real de las aguas de este tipo, al momento de ser desechadas.

La mayor parte de establecimientos de lavado de vehículos en Guatemala llevan a cabo el lavado de forma manual, con mayor o menor equipo para reducir el consumo de agua, y carecen de plantas de tratamiento diseñadas específicamente para su proceso, descargando sus aguas al sistema municipal, en el mejor de los casos (cuando existen sistemas municipales de tratamiento de aguas), o bien descargando directamente al medio.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Lavado de vehículos**

El lavado de vehículos es un proceso por medio del cual se elimina la suciedad de la superficie del vehículo. Generalmente se trabaja sobre la superficie externa del mismo; sin embargo en los servicios de lavado dentro de un *car wash* el lavado puede incluir la limpieza interior del vehículo también.

El proceso puede separarse en cuatro etapas generales: prelavado, lavado (que puede estar integrado por varias etapas), acabado (durante el cual puede incluirse el encerado) y el secado (opcional).

#### **2.1.1. Etapas del lavado de vehículos**

##### **2.1.1.1. Prelavado**

Esta etapa tiene como objetivo dejar la superficie del vehículo húmeda y lista para la aplicación de los detergentes. Para ello deberá remover las capas más gruesas o más adherida de suciedad, haciendo uso de agentes desincrustantes. En algunos casos esta etapa es realizada únicamente con agua a presión.

##### **2.1.1.2. Lavado**

Durante esta etapa, el vehículo es rociado con una solución de champú a través de los aspersores.

Su función, además de la limpieza, es suavizar la superficie de la pintura para maximizar la posterior acción de los cepillos, evitando que se raye la pintura.

El champú también puede ser aplicado manualmente con una esponja.

En algunos casos se aplica más de un champú para mejorar la remoción de la suciedad.

### **2.1.1.3. Acabado**

El acabado consiste en la remoción con agua limpia de todos los agentes de limpieza utilizados. En ocasiones incluye la aplicación de una capa de cera (posterior al primer aclarado) y un segundo aclarado para removerla.

### **2.1.1.4. Secado**

Es la última fase del proceso de lavado. Es una fase opcional que asegura que la superficie del vehículo no quede manchada con las gotas de agua que se sequen con el ambiente.

## **2.1.2. Aspectos ambientales**

### **2.1.2.1. Consumo de agua**

El consumo bruto de agua en el proceso de lavado de vehículos depende principalmente del tipo de lavado que se realice. La tabla I muestra los rangos de consumo de agua, según el tipo de lavado de vehículos que se lleve a cabo.

En Guatemala, el principal tipo de lavado que se encuentra dentro de las instalaciones que prestan este servicio es el lavado manual. Para facilitar el lavado y reducir el consumo de agua pueden utilizarse aspersores.

El consumo de agua también dependerá de la cantidad de vehículos a los cuales se preste servicio durante el día. Esta cantidad de vehículos se encuentra relacionada con el tamaño de las instalaciones del *car wash* y con la cantidad de operarios que laboren en él.

Tabla I. **Consumo medio de agua por tipo de lavado de vehículos**

Tipo de lavado	Consumo de agua (litros/lavado)
Puente de lavado	100 – 350
Túnel de lavado	200 – 650
Box de autolavado	70 – 80
Lavado de camiones	350 – 900
Lavado a mano*	50 - 500

*Fuente: Proyecto Life MinAqua, programa LIFE de la UE. 2016. Guía de buenas prácticas para instalaciones de lavado de vehículos. España: Grupo Fundación Ramón Noguera. 13 p*

### **2.1.2.2 Generación de agua residual**

El principal desecho generados en las instalaciones de lavado de vehículos es el agua sucia.

De acuerdo con la guía de buenas prácticas para instalaciones de lavado de vehículos (2016, p. 8) el flujo de agua residual será ligeramente inferior al consumo de agua del *car wash*, ya que puede haber pérdidas del orden de 10 litros por vehículo en vehículos tipo sedán y entre 25 y 30 litros en camiones, por evaporación y arrastre de los mismos.

Este efluente debe ser evacuado de las instalaciones ya sea a través de la red de alcantarillado público o vertiendo directamente al medio; en algunos casos también puede ser reutilizado dentro del proceso.

La composición de las aguas residuales, llamadas aguas residuales especiales, es muy variable y depende de factores como: la ubicación de las instalaciones de lavado, la temporada, la carga de vehículos lavados, el tipo de vehículos, los servicios de lavado que se ofrezcan dentro del establecimiento, los productos de lavado utilizados, entre otros.

#### **2.1.2.2. Productos químicos**

Para el lavado de vehículos se utiliza una amplia gama de productos que pueden distribuirse en tres grupos:

- Productos para la limpieza del vehículo y sus acabados: detergentes y ceras.
- Productos para el mantenimiento y limpieza de la propia instalación
- Productos para el tratamiento de agua residual y/o control de malos olores (si es necesario).

#### **2.2. Aguas residuales**

Son aquellas que han perdido sus características originales debido al uso.

## **2.2.1. Composición de aguas residuales**

Según Crites y Tchobanoglous (1997, p. 21) los constituyentes de las aguas residuales pueden ser clasificados en tres grupos: constituyentes físicos, químicos y biológicos.

Existe una gran cantidad de constituyentes dentro de los tres grupos anteriores; sin embargo, los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos son los de mayor importancia, por lo que las instalaciones para el tratamiento de aguas residuales suelen ser diseñadas para su remoción.

### **2.2.1.1. Características físicas**

Las principales características físicas de un agua residual son: contenido de sólidos, distribución de partículas por tamaño, turbiedad, color, transmitancia/absorbancia, olor, temperatura, densidad y conductividad.

#### **2.2.1.1.1. Sólidos**

Las aguas residuales contienen concentraciones muy variadas de sólidos. Estos sólidos presentan una amplia variación en su tamaño. Los materiales gruesos suelen ser removidos de la muestra antes de ser analizada para realizar la determinación la concentración de sólidos.

### **2.2.1.2. Características químicas inorgánicas**

Los constituyentes químicos inorgánicos incluyen: elementos individuales (calcio, cloro, hierro, cromo, zinc) y compuestos como nitratos y sulfatos.

Los constituyentes químicos inorgánicos de mayor interés para el tratamiento de las aguas residuales comprenden nutrientes, constituyentes no metálicos y gases. Entre los nutrientes inorgánicos están el amoníaco libre, el nitrógeno orgánico, nitritos, nitratos, fósforo orgánico y fósforo inorgánico. El nitrógeno y el fósforo resultan de gran interés, debido a que han sido identificados como los principales nutrientes causantes de eutrofización.

Otras características químicas inorgánicas que también se analizan para las aguas residuales son: pH, alcalinidad, metales, gases.

### **2.2.1.3. Materia orgánica**

Según Chrites y Tchobanoglous (1997, p. 57) la materia orgánica en aguas residuales está constituida principalmente por proteína (40 % a 60 %), carbohidratos (25% a 50%) y grasas y aceites (8 % a 12 %). La urea es otro componente importante de las aguas residuales frescas.

Actualmente se utilizan como parámetros de medición de la cantidad de compuestos orgánicos en aguas residuales la demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO5), y la demanda química de oxígeno (DQO5)



#### **2.2.1.4. Tensoactivos**

También llamados agentes de actividad superficial o jabones, son moléculas orgánicas de gran tamaño que se componen de un grupo fuertemente hidrofóbico y uno fuertemente hidrofílico. Estas moléculas alteran la tensión superficial (disminuyen la atracción de las moléculas de agua entre sí en la superficie) de los líquidos, especialmente el agua.

Los tensoactivos son utilizados como agente limpiador, debido a que facilitan la remoción de aceites, grasas y partículas de polvo de las superficies.

Este tipo de sustancias presentan la desventaja al ser utilizados en agua dura tienden a formar sales con los cationes de los metales, formando natas que suelen acumularse en la interface aire agua y pueden causar la aparición de espuma en la superficie de los cuerpos receptores y vertimientos de aguas residuales tratadas.

Los jabones y detergentes son biodegradables; sin embargo, esta biodegradabilidad se encuentra limitada si estos compuestos se encuentran en exceso en un cuerpo de agua.

Los tensoactivos suelen contener dentro de su composición polifosfatos o fosfatos, nutrientes que son causa principal de la eutrofización de los cuerpos de agua.

La determinación de su presencia en las aguas residuales se lleva a cabo por medio de la prueba de reacción al azul de metileno (SAAM).

### **2.2.1.5. Características biológicas**

Presencia de organismos en las aguas residuales. Son especialmente importantes aquellos organismos patógenos de origen humano, debido a que son causantes de enfermedades.

Según Crites y Tchobanoglous, los principales grupos de organismos presentes en aguas superficiales y aguas residuales están conformados por bacterias, hongos, algas, protozoos, plantas y animales y virus.

#### **2.2.1.5.1. Organismos patógenos**

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales suelen provenir de desechos humanos que están infectados o que son portadores de una enfermedad determinada. Pueden encontrarse principalmente bacterias, parásitos y virus.

Dentro de los patógenos más comunes se encuentran las bacterias excretadas por el hombre, que suelen ser causantes de enfermedades del tracto gastrointestinal.

### **2.2.2. Tratamiento de aguas residuales**

Proceso por medio del cual se busca, a través de medios físicos, químicos y/o biológicos o una combinación de los mismos, mejorar las características de las aguas residuales.

Generalmente, los tratamientos de las aguas residuales se clasifican en tres etapas principales:

- Primario: procesos de tratamiento previo tales como rejillas y cámaras de desarenado, destinados a remover de las aguas residuales todos aquellos componentes de gran tamaño que floten o caigan al fondo con facilidad.
- Secundario: emplea tratamientos biológicos para llevar a cabo el proceso de degradación y descomposición de los contaminantes orgánicos degradables.
- Terciario: se aplica cuando las concentraciones residuales del tratamiento secundario son inadecuadas.

### **2.3. Operaciones unitarias de tratamiento de aguas residuales**

Constituyen operaciones individuales de tratamiento que son aplicadas a las aguas residuales, con el fin de remover los contaminantes en cantidades suficientes para llevar a cabo la disposición final.

#### **2.3.1. 2.3.1 Tamizado grueso**

La primera operación unitaria dentro de una planta de tratamiento de aguas residuales. Su finalidad es interceptar y retener sólidos gruesos presentes en el agua residual cruda.

Pueden clasificarse en rejillas de limpieza manual y mecánica, rejillas finas de limpieza mecánica y tamices de plato perforado. Pueden presentar aberturas

(separación de barras) que van desde los 3.2 cm en las rejillas finas, hasta aberturas superiores a los 12.5 cm en los tamices gruesos.

### **2.3.2. 2.3.2 Sedimentación**

Consiste en la separación de las partículas suspendidas con peso específico mayor al del agua, por acción de la fuerza de gravedad.

El objetivo es remover rápidamente los residuos sólidos sedimentables y el material flotante para así disminuir la concentración de sólidos suspendidos. La sedimentación primaria forma parte del pretratamiento de las aguas residuales. Los sedimentadores primarios pueden remover entre el 50 % y el 70 % de los sólidos suspendidos.

### **3. MARCO LEGAL**

#### **3.1. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006**

Este Acuerdo Gubernativo corresponde al *“Reglamento de las descargas y reusos de aguas residuales y la disposición de lodos”*. Fue emitido en mayo de 2006 y tiene como objetivo establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reuso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos, con el fin de proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provocados por la actividad humana, propiciar la recuperación de los cuerpos de agua en proceso de eutrofización y promover el desarrollo de los recursos hídricos del país.

El Acuerdo Gubernativo ha sufrido varias reformas, buscando reducir los límites máximos permisibles de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores. La última modificación se llevó a cabo en 2017 y se encuentra contenida en el Acuerdo Gubernativo No. 138-2017.

El ente encargado de velar por el cumplimiento de dicho acuerdo es el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Los parámetros de medición y los límites máximos permisibles vigentes se encuentran indicados en la tabla II.

Tabla II. Límites máximos permisibles para aguas residuales de descarga directa al medio

		Fecha máxima de cumplimiento			
		Dos de mayo de dos mil diecinueve	Dos de mayo de dos mil veintitrés	Dos de mayo de dos mil veintisiete	Dos de mayo de dos mil treinta y uno
		Etapas			
Parámetros	Dimensionales	Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	grados Celsius	TCR+/-7	TCR+/-7	TCR+/-7	TCR+/-7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	50	10	10	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	275	200	100	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	150	70	20	20
Fósforo total	Miligramos por litro	40	20	10	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1 x10 <sup>7</sup>	< 1 x10 <sup>4</sup>	< 1 x10 <sup>4</sup>	< 1 x10 <sup>4</sup>
Arsénico	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	1	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	3	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.02	0.02	0.01	0.01
Níquel	Miligramos por litro	2	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	0.4	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10
Parámetros	Dimensionales	Uno	Dos	Tres	Cuatro
Color	Unidades platino cobalto	1000	750	500	500
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	250	100	100	100

Fuente: datos extraídos del Acuerdo Gubernativo No. 138-2017

## 4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación se llevó a cabo de acuerdo a la metodología propuesta. Se sostuvieron entrevistas con el personal administrativo del *car wash* y del centro comercial, para obtener información y las autorizaciones correspondientes para tomar datos y mediciones.

Se realizó una visita al *car wash* para observar el proceso y conocer el sistema de tratamiento de aguas residuales existente en ese momento.

Se tomaron muestras de las aguas residuales del centro comercial para ser analizadas en un laboratorio y determinar la calidad del agua. Los resultados de los análisis se encuentran en el Anexo No. 5 de este documento.

Con la información recabada se procedió a analizar el funcionamiento del sistema de tratamiento existente y a proponer un nuevo sistema que cumpliera con los requerimientos, tanto del *car wash*, como del centro comercial y del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

Los resultados obtenidos de todo el proceso de investigación se encuentran en la siguiente sección (sección 5, presentación de resultados).





## 5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El análisis de los componentes de las aguas residuales crudas del *car wash* (muestreando a la salida del proceso de lavado) reportó como principales contaminantes los sólidos suspendidos, con un valor de 1,878 mg/L; y los tensoactivos, con un valor de 2.94 mg/L.

Los servicios prestados por el establecimiento son: limpieza exterior, lustrado, pulido, limpieza de motor, limpieza de interior, lavado de tapicería, aspirado y siliconado interior. Los vehículos que se trabajan son en su mayoría sedanes y vehículos agrícolas tipo pick up, principalmente sucios con polvo y lodo.

El lavado de vehículos se lleva a cabo de forma manual, con mangueras. El consumo de agua es de 2,930 litros por semana (Aproximadamente 419 litros por día), y los productos utilizados durante los servicios prestados por el *car wash* son: champú con cera Evulientt, el cual constituye el único producto de uso diario que se enjuaga durante el lavado (Anexo No. 4), desengrasante (producto utilizado 1 o 2 veces al mes), silicón exterior, pasta de pulir, pasta de lustrar, silicón interior y aroma interior.

El caudal pico del proceso se estableció en 630 litros por día (estimados directamente, a partir de la capacidad de atención máxima de vehículos) con un máximo de 7 vehículos trabajados por hora. En donde el lavado de cada vehículo tarda aproximadamente 30 minutos.

Las aguas residuales son muestreadas dos veces al año siguiendo lo establecido por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, y los resultados del muestreo indican un alto contenido de coliformes fecales, no cumpliendo con el límite máximo permitido para el vertido directo al medio. Dentro de los parámetros analizados no se incluye jabones, grasas o hidrocarburos.

El sistema actual de tratamiento de aguas residuales está compuesto por:

- Canal de colecta de aguas residuales del proceso de lavado: este canal colecta tanto las aguas residuales del proceso de lavado de vehículos como las aguas pluviales de la mitad del parqueo del centro comercial, debido a las pendientes y la ubicación en la cual se encuentra el *car wash*. No posee ningún tipo de rejilla o tamizado grueso, por lo que este canal se asolva frecuentemente y requiere una frecuencia alta de limpieza para su mantenimiento.
- Fosa de lodos: se desconocen las dimensiones, debido a que no existen planos ni registros de la construcción.
- Biodigestor: tanque rotoplast de aproximadamente 1.6m de diámetro, empacado, que funge como digestor.
- Tubo de descarga al medio: tubería de PVC que descarga directamente al medio.

La propuesta del nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales tiene las siguientes etapas (ver vistas de planta y perfil en apéndice 1):

- Canales de captación de las aguas residuales del lavado.
- Rejillas para tamizado grueso: como tratamiento primario para retirar los sólidos de gran tamaño y basura que pueda haber sido arrastrada durante el lavado de vehículos.
- Sistema de gradas de aireación: cuatro gradas de bajada, que siguen el desnivel del terreno en el cual serán construidas, que constituyen cuatro pilas pequeñas con desnivel, por las cuales el agua desciende por gravedad. Las cuatro gradas tienen largo promedio de 50 cm y un ancho promedio de 50 cm. Estas gradas servirán como etapa de aireación para facilitar la biodegradación del jabón utilizado en el proceso de lavado.
- Fosa de lodos: con dimensiones de 2.8 cm de largo, 70 cm de ancho y profundidad de 55 cm. Tiene la entrada en la parte superior y la descarga a 45 cm del fondo.
- Tuberías, conexiones y cajas de registro.

El proceso completo funciona por gravedad. En el punto más bajo del sistema puede instalarse una bomba que permita regresar las aguas residuales a las instalaciones de lavado para ser reutilizadas dentro del proceso (por el momento la descarga es directa al medio).



## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Actualmente, el sistema de tratamiento de aguas residuales del *car wash* no cumple con la función de dejar las aguas aptas para su descarga al medio, debido a:

- Se encuentra sub-dimensionado: no tiene capacidad para tratar el caudal de las aguas residuales provenientes del *car wash* más el caudal de las aguas pluviales de la mitad del parqueo del centro comercial, que son encausadas hacia el sistema, debido a las pendientes del terreno.
- No cuenta con el mantenimiento necesario para su buen funcionamiento. El mantenimiento es irregular, no existiendo registros del mismo ni procedimientos escritos.
- No fue diseñado para tratar las aguas de desecho del lavado de vehículos, por lo que no cuenta con una etapa para la eliminación de jabones (el segundo contaminante más importante de las aguas del *car wash* en estudio), y por el contrario, incluye un biodigestor, a pesar que el tratamiento carece de materia orgánica como contaminante.

Aún cuando el proceso de lavado de vehículos en el caso examinado presenta una carga baja de contaminante, y que entre estos no se encuentra materia orgánica, se encontró un alto contenido de coliformes en las aguas tratadas, en el punto de descarga directa al río (ver anexo 1). Esta

contaminación se genera directamente en el biodigestor, al cual no se ha dado mantenimiento durante al menos 5 años (no existen registros de los mantenimientos realizados).

Tampoco existen análisis de calidad de aguas para control del funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales. Las aguas son analizadas dos veces al año en cumplimiento con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y los parámetros analizados son exclusivamente aquellos que el Acuerdo establece como obligatorios en un análisis rutinario. Estos análisis no incluyen jabones, grasas e hidrocarburos (contaminantes comunes de las aguas de lavado de vehículos).

Para este estudio se realizó un análisis completo de los contaminantes en las aguas crudas del *car wash*, y se determinó que los contaminantes principales son los sólidos sedimentables y los jabones, no se detectó presencia de hidrocarburos o grasas, por lo que no es necesario tratar estos contaminantes.

El sistema de tratamiento de aguas tampoco cuenta con canales de captación apropiados, por lo que se mezclan las aguas de lluvia con las aguas de proceso, sobrepasando por mucho (en temporada de lluvia) la capacidad del sistema actual de tratamiento de aguas residuales, para corregir esta situación es necesario llevar a cabo separación de las aguas, no permitiendo el ingreso al sistema de las aguas pluviales. Además, lo anterior se encuentra normado en el Acuerdo Gubernativo.

En la propuesta para el nuevo sistema de tratamiento se incluyen las etapas faltantes (como rejillas gruesas y aireación) y se dimensionan los equipos tomando en cuenta el caudal pico y el caudal promedio de operación

del *car wash*. Se elimina el biodigestor por ser totalmente innecesario dentro del proceso y se proponen análisis de calidad de agua para control del funcionamiento del sistema, así como la creación de registros sobre la operación del mismo.

Los productos de limpieza utilizados por el *car wash*, en su mayoría, son libres de enjuague. El único producto de uso diario que requiere enjuague es el champú de lavado. Este es biodegradable, por lo que, con una etapa de aireación dentro del tratamiento, no dejará residuos que puedan contaminar el cuerpo receptor.





## CONCLUSIONES

1. La carga de contaminantes de las aguas residuales del *car wash* es baja (sólidos suspendidos = 1,878 mg/L y tensoactivos = 2.94 mg/L) (ver Anexo 1), debido a las características del proceso y a los productos de limpieza que se utilizan (estos productos son biodegradables), sin embargo, sus valores se encuentran por encima de los valores permitidos para vertido al medio (sólidos suspendidos no mayor a 275 mg/L) de acuerdo al Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 y su modificación en el Acuerdo Gubernativo No. 138-2017.
2. Las aguas residuales del *car wash* pueden ser descargadas directamente al medio, previo tratamiento con el sistema propuesto en este estudio (ver sección de resultados).
3. Las aguas residuales del *car wash* pueden ser recirculadas al proceso de lavado para su reuso con el mismo sistema de tratamiento propuesto.
4. Las actuales instalaciones para tratamiento de aguas residuales del *car wash* no proporcionan aguas de calidad aceptable para su vertido al medio, debido a varios problemas con su diseño, dimensionamiento, manejo y mantenimiento.
5. Es posible plantear un diseño simple que se adapte al proceso y que sea capaz de dar a las aguas residuales las características apropiadas, para su vertido al medio o su reutilización dentro del proceso de lavado.



## RECOMENDACIONES

1. Separar las aguas de lluvia de las aguas residuales del lavado de vehículos. El agua proveniente del proceso debe ser tratada previa su descarga en el medio o reuso. No hacer la separación puede incurrir en una falta al Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.
2. Llevar a cabo el vaciado, limpieza y cierre del biodigestor, para evitar la contaminación de las aguas residuales con coliformes fecales.
3. Implementar controles y registros sobre la limpieza, manejo y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales.
4. Llevar a cabo análisis de control de la calidad del agua de salida del sistema de tratamiento. Estos análisis deben realizarse con una frecuencia de 1 análisis completo cada tres meses (el análisis completo incluye todos los parámetros especificados en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006), y añadir el análisis de tensoactivos (que no forma parte del listado de parámetros mencionados por el Acuerdo), para asegurar el buen funcionamiento del sistema.
5. Seguir utilizando productos biodegradables para el lavado de vehículos, para hacer más fácil la eliminación de sus residuos durante el tratamiento.

6. Implementar un control del volumen de agua consumido diariamente, para establecer las variaciones que tienen lugar dentro del establecimiento a lo largo del año. Para ello es posible colocar un contador en la entrada de agua al proceso de lavado.
  
7. Reutilizar las aguas de desecho del lavado de vehículos, previo tratamiento con el sistema propuesto en este trabajo de investigación, para reducir el consumo de agua potable en el proceso. Las aguas de reuso pueden ser integradas en mezcla al proceso de lavado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Albarracín Heredia, E. O. (2018). *Sistema de tratamiento de agua residual autolavado Samiwall*. Trabajo de graduación de Tecnólogo en Gestión Ambiental y Servicios Públicos. Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 37 p.
2. Canjura Astorga, K. L. y Lemus, Z. J. (2003). *Propuesta de un sistema de tratamiento para las aguas residuales provenientes de lavaderos públicos del municipio de Nejapa*. Trabajo de graduación de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador. 111 p.
3. Cárdenas Castañeda, D. C. (2008). *Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales para su reuso en el proceso productivo de una industria de jabones*. Trabajo de graduación de Ingeniero Ambiental y Sanitario. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de La Salle. 149 p.
4. Crites, R. y Tchobanoglous, G. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. 1ª ed. Colombia: McGraw-Hill, p 776.
5. Espigares García, M. y Pérez López, J. A. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Universidad de Granada. España: Servicio de Publicaciones.

6. Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 3ª ed. México: CECSA. 107 p.
7. Gobierno de Guatemala. (2006). *Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Guatemala.
8. Gobierno de Guatemala (s.f.) *Situación de la contaminación en Guatemala*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN); Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (URL/IARNA); Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA/DEWA).
9. Guzmán Sáenz, N. y Quiñones De La Cruz, F. J. (2014). *Las aguas residuales municipales en Guatemala, un problema en crecimiento*. "Excellence in Engineering To Enhance a Country's Productivity". Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2014). Ecuador.
10. Hernán Rodríguez, C. (2007). *Tensoactivos aniónicos en agua – Método SAAM*. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 9 p.
11. Perry, R. H. *Manual del Ingeniero Químico*. 7ª ed. España: McGraw-Hill. 6-64 p.

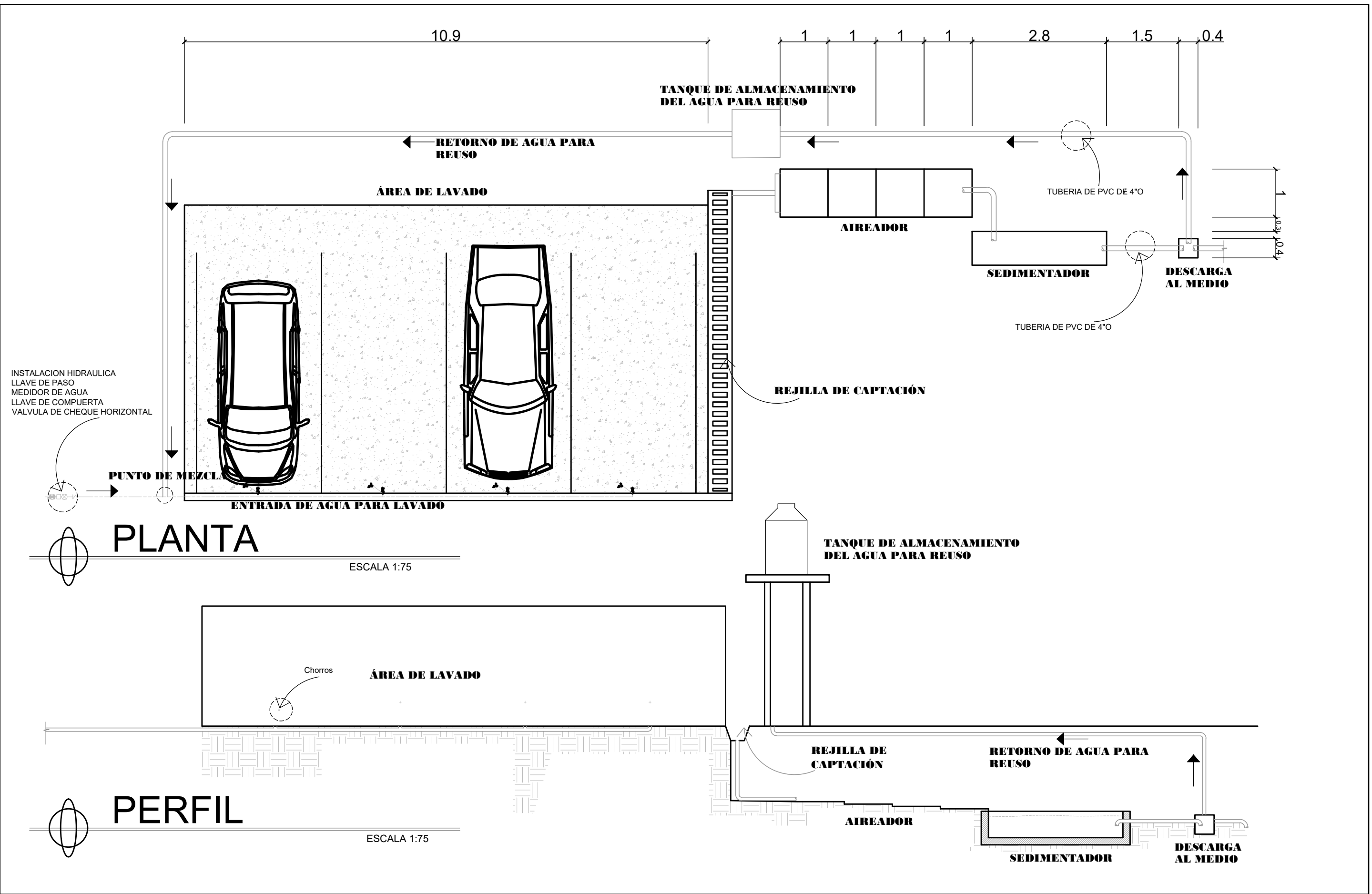
12. Piló Poz, A. (2013). *Diseño de la investigación de las condiciones actuales de operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales del Área Metropolitana de Guatemala: El Caso de la planta de Ciudad Peronia*. Trabajo de graduación de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 86 p.
13. Proyecto Life MinAqua, programa LIFE de la UE. (2016). *Guía de buenas prácticas para instalaciones de lavado de vehículos*. España: Grupo Fundación Ramón Noguera. 95 p.
14. Rodríguez Pastor, M. (1996). *Contribución al estudio de la degradación anaerobia de tensoactivos aniónicos: alquilbencenosulfonatos lineales, alquil sulfatos y alcoholes etoxilados sulfatos*. Trabajo de graduación de Doctor en Ingeniería Química. Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante. 279 p.
15. Tavera García, J. A. (2015). *Manejo, tratamiento y reuso del agua en la estación de lavado de vehículos "Los Ángeles" Kennedy, Bogotá D.C.* Trabajo de graduación de Tecnólogo en Gestión Ambiental y Servicios Públicos. Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 113 p.





## **APÉNDICES**

Apéndice 1. **Vista de planta y de perfil de las etapas del sistema de tratamiento de aguas residuales para el *car wash***



<p><b>PROYECTO</b></p> <p><b>SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CAR WASH</b></p>	<p><b>CONTENIDO</b></p> <p><b>VISTA DE PLANTA Y PERFIL</b></p>	<p><b>DISEÑO</b></p> <p><b>KRISTA AGUILAR OVANDO</b></p>	<p><b>FECHA</b></p> <p><b>25/04/2019</b></p>	<p><b>ESCALA</b></p> <p><b>1/75</b></p>
--	--	--	--	---



**Apéndice 2. Análisis de calidad de las aguas residuales crudas para el proceso de lavado de vehículos en el car wash**

Parámetros analizados:					Límites Máximos Permisibles Entes Generadores Nuevos Acuerdo 236-2006
PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA	descarga a cuerpo receptor
Potencial de Hidrogeno pH (in situ)	unidades	1	6.90	SMWW 4500H-B	6 a 9
Temperatura (in situ)	° C	---	20.5	Termómetro	TCR ±7
* Aceites y Grasas	mg/l	5	N.D.	EPA 1664	10
Materia Flotante	---	---	ausente	Visual	ausente
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/l	10	28	Oxitop-Merck Análogo SMWW 5210D	ver nota
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	25	94	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D	no especificado
* Sólidos Suspendidos	mg/l	10	1878	SMWW 2540D	100
* Sólidos Sedimentables	ml/l	0.1	6	SMWW 2540F	no especificado
* Nitrógeno Total	mg/l	10.9	N.D.	Digestión alcalina persulfato colorimétrico HACH	20
* Fósforo Total	mg/l	0.05	0.05	Spectroquant Merck Análogo EPA 365.2+3, SMWW 4500-P E, DIN EN ISO 6878	10
* Arsénico As	mg/l	0.002	N.D.	UNICAM AN40177_E10/03C	0.1
* Cadmio Cd	mg/l	0.02	N.D.	SMWW 3111B	0.1
Cianuros	mg/l	0.05	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo ISO 6703, EPA 335.2	1
* Cobre Cu	mg/l	0.03	N.D.	SMWW 3111B	3
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/l	0.1	N.D.	Spectroquant Merck, análogo SMWW 3500-Cr D y DIN 38405-24	0.1
* Mercurio Hg	mg/l	0.004	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C	0.01
* Níquel Ni	mg/l	0.05	N.D.	SMWW 3111B	2

Fuente: elaboración propia, datos tomados del análisis realizado por Ecosistemas S. A. 2018.

Apéndice 3. **Análisis de calidad de las aguas residuales crudas para el proceso de lavado de vehículos en el *car wash*, parámetros no obligatorios, según Acuerdo Gubernativo No. 236-2006**

					Límites Máximos Permisibles Entes Generadores Nuevos Acuerdo 236-2006
PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA	descarga a cuerpo receptor
* Plomo Pb	mg/l	0.05	N.D	SMWW 3111B	0.4
* Zinc Zn	mg/l	0.01	N.D	SMWW 3111B	10
Color Aparente	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	1150	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409	500
Color Real	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	31	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409	
Hidrocarburos MNP	mg/l	5	N.D	EPA 1664	no especificado
Tensoactivos (SAAM)	mg/l	0.05	2.94	Spectroquant Merck Análogo EPA 425.1, SMWW 5540C, EN 903	no especificado
** Coliformes Fecales	NMP/100ml	1.8	$4.9 \times 10^2$	NMP	$< 1 \times 10^4$

Fuente: elaboración propia, datos tomados del análisis realizado por Ecosistemas S. A.

2018

## ANEXOS

### Anexo 1. Ficha técnica del champú utilizado en el proceso de lavado de vehículos en el *car wash*: datos generales.



DIVISION AUTOMOTRIZ

#### HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD (MSDS)

<b>SECCIÓN I IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO E INFORMACION DEL FABRICANTE</b>			
NOMBRE COMERCIAL DE LA SUSTANCIA		SHAMPOO CON ULTRA CERA Ebullient®	
MARCA (SI POSEE)		Ebullient®	
TIPO DE PRODUCTO		Shampoo	
NOMBRE DE LA COMPAÑÍA FABRICANTE O TITULAR		Ebullient International, S.A.	
DIRECCIÓN DEL FABRICANTE		Colonia el Naranjo, 27 avenida 7-14 zona 4, Mixco Guatemala	
PAIS		Guatemala	
# TELEFONO	2269-5387	# FAX	N/A
TELEFONOS DE EMERGENCIA		2251-3560, 2232-0735	
FECHA DE EMISION O FECHA DE ULTIMA REVISIÓN DE LA MSDS			17/01/2018
<b>SECCION II CLASIFICACION</b>			
CLASIFICACION SEGÚN EL ANEXO D			Clase 9: Misceláneos
<p>ROMBO NFPA 704</p> <p>AZUL: Riesgo para la salud                      ROJO: Inflamabilidad                      AMARILLO: Reactividad                      BLANCO: Riesgo especial</p>			

Fuente: ficha técnica del producto proporcionada por el distribuidor

**Anexo 2. Ficha técnica del champú utilizado en el proceso de lavado de vehículos en el car wash: composición e identificación de riesgos y efectos por exposición .**

<b>SECCION III COMPOSICION E INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES PELIGROSOS</b>		
<b>NOMBRE COMUN O GENERICO DEL COMPONENTE PELIGROSO</b>	<b>PORCENTAJE EN PESO</b>	<b>No. De CAS</b>
<b>Lauril Éter Sulfato de Sodio</b>	12.29%	9004-82-4
<b>Formaldehído</b>	0.10%	50-00-0
<b>SECCION IV IDENTIFICACION DE LOS RIESGOS Y EFECTOS POR EXPOSICIÓN</b>		
<b>EFECTO POR:</b>	<b>DETALLE</b>	
INHALACION	No se esperan efectos adversos bajo condiciones típicas de uso.	
INGESTION	Puede causar un ligero malestar estomacal e intestinal si se ingiere en cantidades pequeñas. No dejar al alcance de los niños.	
CONTACTO CON LOS OJOS	Irrita los ojos incluso en cantidades pequeñas, puede causar molestias e incluso vista borrosa por aproximadamente 10 minutos.	
CONTACTO CON LA PIEL	No se esperan efectos adversos bajo las condiciones típicas de uso, el contacto prolongado con el producto puede causar resequedad de la piel.	
CANCEROGENISIDAD	N/D (No determinado)	
MUTAGENICIDAD	N/D	
TERATOGENICIDAD	N/D	
NEUROTOXICIDAD	N/D	
OTROS	N/D	

Fuente: ficha técnica del producto proporcionada por el distribuidor

**Anexo 3. Ficha técnica del champú utilizado en el proceso de lavado de vehículos en el car wash: Composición e identificación de riesgos y efectos por exposición.**



DIVISION AUTOMOTRIZ

EQUIPO DE PROTECCIÓN RESPIRATORIA	No es necesario
EQUIPO DE PROTECCIÓN OCULAR	Lentes protectores
EQUIPO DE PROTECCIÓN DERMICA	Traje especial
DATOS DE CONTROL A LA EXPOSICIÓN (TLV, PEL, STEL, cuando existan)	N/D
<b>SECCIÓN X PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS</b>	
COLOR, OLOR Y APARIENCIA	Amarillo, fluido con olor característico
GRAVEDAD ESPECÍFICA ( $\pm 0.10$ )	1.10
SOLUBILIDAD EN AGUA Y OTROS SOLVENTES	Soluble en agua
PUNTO DE FUSIÓN	N/D
PUNTO DE EBULLICIÓN	N/D
pH	2.29 – 5.29
VISCOSIDAD	N/D
ESTADO DE AGREGACIÓN A 25°C y 1 atm.	Líquido
Los parámetros de la sección de propiedades físicas y químicas del producto fueron determinados a una temperatura de 25° C.	
<b>SECCIÓN XI ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD</b>	
ESTABILIDAD (térmica, a la luz, etc.)	Estable.
INCOMPATIBILIDAD	Evitar el contacto con la humedad para no afectar la calidad del producto.
RIESGOS DE POLIMERIZACIÓN	No ocurrirá.
PRODUCTOS DE LA DESCOMPOSICIÓN PELIGROSOS	No ocurrirá.
<b>SECCIÓN XII INFORMACIÓN SOBRE TOXICOLOGÍA</b>	
DOSIS LETAL MEDIA ORAL (DL <sub>50</sub> )	>1,600 mg/kg (Rata) Observaciones: Basado en datos de materiales similares
DOSIS LETAL MEDIA DÉRMICA(DL <sub>50</sub> )	>5,000 mg/kg (Conejo) Método: Direcciones de Prueba OECD 402 Valoración: La sustancia o mezcla no presenta toxicidad cutánea aguda.
CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA POR INHALACIÓN (CL <sub>50</sub> )	N/D
<b>SECCIÓN XIII INFORMACIÓN DE LOS EFECTOS SOBRE LA ECOLOGIA</b>	
Inestabilidad: Producto estable Resistencia / Degradabilidad: Producto degradable en el mediano plazo Efecto ambiental: No se conocen para el producto.	
<b>SECCIÓN XIV CONSIDERACIONES SOBRE LA DISPOSICIÓN FINAL DEL PRODUCTO</b>	
Reglamentaciones: Eliminar según las reglamentaciones ambientales locales y nacionales. Recomendaciones para el tratamiento de residuos: No son necesarias en condiciones normales y previstas de uso.	

Fuente: ficha técnica del producto proporcionada por el distribuidor



**Anexo 4. Resultados del análisis de calidad del agua realizado a la salida del sistema de tratamiento, previo a la descarga al río.**

<i>Determinaciones fisicoquímicas</i>	Agua residual especial (Tomada de entrada a rotoplast)  (No. Lab.1812874)	Agua residual especial (Tomada de salida final de rotoplast)  (No. Lab.1812875)		Artículo No. 29 Cuerpo receptor Antes 2006 Acuerdo Gubernativo 236-2006 (06/05/2006).			
				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
Demanda química de oxígeno (DQO) (%)	65,0	47,0	mg O <sub>2</sub> /L	No regulado			
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (%)	36,0	23,0	mg O <sub>2</sub> /L	No regulado	No regulado	No regulado	200
Relación DQO-DBO	1,8	2,0		No regulado	No regulado	No regulado	No regulado
Sólidos sedimentables (%)	<0,1	<0,1	ml/L	No regulado	No regulado	No regulado	No regulado
Materia flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
				Si Cumple	Si Cumple	Si Cumple	Si Cumple
Sólidos en suspensión (%)	16,0	10,0	mg/L	600	400	150	100
				Si Cumple	Si Cumple	Si Cumple	Si Cumple
Grasas y aceites	<2,0	<2,0	mg/L	100	50	25	10
				Si Cumple	Si Cumple	Si Cumple	Si Cumple
Color verdadero	12,0	6,0	Pl/Co	1500	1000	750	500
				Si Cumple	Si Cumple	Si Cumple	Si Cumple
Nitrógeno total	0,9	<0,5	mg/L	100	50	25	20
				Si Cumple	Si Cumple	Si Cumple	Si Cumple
Fósforo total	0,14	0,38	mg/L	75	30	15	10
				Si Cumple	Si Cumple	Si Cumple	Si Cumple
Coliformes fecales (%)	220000	>1600000	NMP/100ml	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>3</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>
				No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple

Fuente: Análisis de calidad del agua realizado por FQLab. 2017