



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EFLUENTE
HÍDRICO DE UNA LAVADORA DE ENVASE DE VIDRIO, UTILIZADA EN UNA
EMBOTELLADORA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA, GUATEMALA**

María Fernanda Vásquez Portillo

Asesorado por el Ing. Mario Roberto Hernández Morán

Guatemala, junio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EFLUENTE
HÍDRICO DE UNA LAVADORA DE ENVASE DE VIDRIO, UTILIZADA EN UNA
EMBOTELLADORA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARÍA FERNANDA VÁSQUEZ PORTILLO

ASESORADO POR EL ING. MARIO ROBERTO HERNÁNDEZ MORÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, JUNIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
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:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EFLUENTE HÍDRICO DE UNA LAVADORA DE ENVASE DE VIDRIO, UTILIZADA EN UNA EMBOTELLADORA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 16 de marzo de 2015.



María Fernanda Vásquez Portillo



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



000060

ADSE-MEAPP-002-2015

Guatemala, 16 de marzo de 2015.

Director:
Víctor Manuel Monzón
Escuela de Ingeniería Química
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **María Fernanda Vásquez Portillo** con carné número **2007-14670**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Energía y Ambiente**.

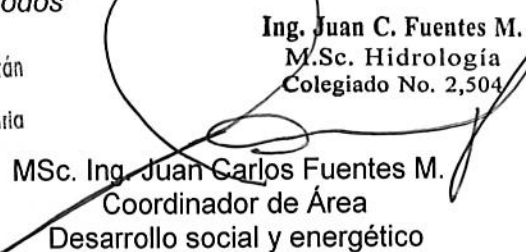
Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y enseñad a todos"


MSc. Ing. Mario Roberto Hernández M.
Asesor (a)

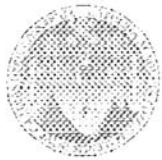
Mario Roberto Hernández Morán
Ingeniero Civil
Master en Ingeniería Sanitaria
Colegiado No. 4,518


Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504
MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.
Coordinador de Área
Desarrollo social y energético


Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
/la



Ref.EIQ.TG.078.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la estudiante, **MARÍA FERNANDA VÁSQUEZ PORTILLO**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en ENERGÍA Y AMBIENTE** titulado **"DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL EFLUENTE HÍDRICO DE UNA LAVADORA DE ENVASE DE VIDRIO, UTILIZADA EN UNA EMBOTELLADORA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA, GUATEMALA"**.
Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, junio de 2015

Cc: Archivo
Copia: Colegio de Ingenieros Químicos de Guatemala
VMM/ale





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EFLUENTE HÍDRICO DE UNA LAVADORA DE ENVASE DE VIDRIO, UTILIZADA EN UNA EMBOTELLADORA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA, GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **María Fernanda Vásquez Portillo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Angel Roberto Sic García
Decano

Guatemala, 16 de junio de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por bendecirme tanto, día con día y permitirme ir cumpliendo cada uno de mis sueños.
- Mi mamá** Gloria Isabel Portillo Girón, por quererme tanto y tenerme tanta paciencia. Ser esa persona que me levantaba en mis noches de desvelo y siempre tenerme listo algo de comer. Te quiero mucho.
- Mi papá** Fernando José Vásquez Ibáñez, por apoyarme y ayudarme cuando lo necesitaba. Siempre se que sos el que va a estar ahí para ayudarme. Te quiero mucho.
- Mi hermano** José Eduardo Vásquez Portillo, por ser mi compañía en diversos momentos, y espero poder haber sido de alguna forma un buen ejemplo para vos.
- Mis hermanas** Dios me las puso en la vida y a pesar de la distancia agradezco tenerlas.
- Mi abuela** Julia Raquel Ibáñez Lara (q. e. p. d.), por siempre inspirarme a querer ser mejor y grande.

Gracias por todo lo que hacías por nosotros, te extrañamos.

Mi familia

Porque sin darme cuenta, siempre me motivaban a esforzarme. Quiero agradecer especialmente a Eddy y Rosaura Portillo, sin el apoyo que me brindaron, probablemente este momento hubiera llegado más tarde.

Mis amigos

Por compartir tantas alegrías, tristezas y penas a mi lado. Me ayudaron en momentos difíciles e inclusive en explicaciones, tareas, desvelos, regaños. Especialmente mis eternos amigos Jacqueline García, Betsabé Rivera y Luis Fernando Montenegro, los quiero un montón. Igual a mis amigos de batalla, Walter Mansilla, Paula Boiton y Karen Morales, gracias por su apoyo y siempre entre todos presionarnos para salir, probablemente no hubiera sido igual sin ustedes.

**Esas personas
especiales**

Espero que se sepan a quién me refiero, siempre por ayudarme a crecer y buscar mis sueños. Dios me ha ido poniendo en el camino a varios de ustedes. Muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por haber sido mi segunda casa por casi 6 años consecutivos. Crecí mucho durante este tiempo.
Facultad de Ingeniería	Por haberme permitido recibir la educación, por lo que ahora soy premiada.
Mis catedráticos	Porque cada uno, con su forma de ser me ha enseñado, no solo de los cursos recibidos, sino de cómo ser en la vida.
Empresa de prácticas	Pharmalat y Embotelladora La Mariposa, por haberme permitido sacar mis prácticas finales, formando para mi carrera profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. OBJETIVOS	5
4. JUSTIFICACIÓN	7
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
6. ALCANCES.....	11
7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	13
8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	23
9. CONTENIDO.....	25
10. MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	29

11.	RESULTADOS ESPERADOS	35
12.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	37
13.	RECURSOS.....	39
14.	BIBLIOGRAFÍA	41

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

TABLAS

I.	Tiempo de llenado en segundos, de una cubeta de 5 galones con el agua de rebalse de la lavadora.....	30
II.	Caracterización física del efluente de la lavadora.....	32
III.	Caracterización fisicoquímica del efluente de la lavadora.....	33
IV.	Cronograma de actividades.....	37
V.	Presupuesto base para la investigación.....	39

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
l	Dimensional para litros
pH	Identifica la acidez o alcalinidad de una sustancia, en base a la concentración de iones hidrógeno que posea.
Q	Quetzal, moneda de Guatemala

GLOSARIO

Aforo	Medida del caudal de una corriente de agua.
Agua residual	Aguas que han recibido su uso y cuyas calidades han sido modificadas.
Agua residual de tipo especial	Las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas.
Aguas servidas	Son las aguas residuales domésticas y que son el resultado de las actividades cotidianas de las personas.
Caudal	Cantidad de fluido, medido en volumen, que se mueve en una unidad de tiempo.
Efluente	Término empleado para nombrar a las aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias, generalmente a los cursos de agua; o que se incorporan a estas por el escurrimiento de terrenos causado por las lluvias.

Imperativo	Exigencia, obligación. Que impera o manda.
Imprescindible	Que no se puede prescindir de ello.
Insumos	Bien que se emplea en la producción de otros bienes, como materia prima o factor de producción.
Mitigar	Moderar, aplacar o suavizar la dureza de algo.
Proliferar	Multiplicarse abundantemente el número o la cantidad de una cosa.

RESUMEN

Una lavadora de envases de vidrio utilizada en la línea de producción de una embotelladora localizada en la ciudad de Guatemala, usa 67 500 litros de agua por cada proceso de lavado, la cual se procederá a analizar el efluente para verificar que el agua residual cumpla con los límites máximos permisibles según legislación vigente para su disposición final.

Dicho análisis se verificará con base en los límites establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. El acuerdo evalúa diversos parámetros fisicoquímicos, determinando si el agua residual cumple dichos parámetros, para velar que la disposición final del efluente no afecte el medio ambiente o a ningún sector aledaño. De acuerdo con los resultados obtenidos, se procederá a brindar una solución, ya sea para darle un reúso al volumen de agua utilizada que se desecha o bien describir un tratamiento apropiado para el cumplimiento de los parámetros.

1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de mitigar los efectos provocados al medio ambiente, se deben buscar alternativas para el manejo adecuado de los recursos naturales utilizados industrialmente. En una lavadora de envases de vidrio, utilizada en una línea de producción de una embotelladora localizada en la ciudad de Guatemala, se usan 67 500 litros de agua por cada proceso de lavado, de la cual se analiza el efluente para verificar que el agua residual cumpla con los límites máximos permisibles según legislación vigente para la disposición final de aguas residuales, resultados que brindan la pauta para poder tratar adecuadamente el agua, inclusive poder reutilizarla. Debajo de la línea de producción se tiene una cisterna que está en desuso, por lo que la empresa tiene los recursos para poder tratarla y darle un reúso.

Para poder determinar la factibilidad de un tratamiento, es necesario conocer las propiedades del efluente al finalizar el proceso de lavado, por lo que es primordial la caracterización fisicoquímica del mismo. Dicha caracterización, brinda la base esencial para analizar y realizar acciones posteriores para su reutilización o disposición final, pudiendo así minimizar costos de operación, mejorar el manejo del recurso hídrico y tener un proceso amigable con el ambiente.

La investigación constará de 6 partes:

- Situación actual de la empresa: se describe el proceso del lavado de los envases de vidrio, así como los insumos utilizados, cual es la procedencia del agua utilizada y el volumen total de la misma, para analizar la cantidad

que pudiera ser aprovechada. En este apartado se realizan un muestreo para determinar la cantidad del agua de rebalse de la lavadora.

- Lavadora de proceso: se contemplan todas las especificaciones de la lavadora utilizada, así como de los insumos, las concentraciones de los reactivos que son aplicados, cuáles son, cuántas veces se utiliza la lavadora.
- Características del agua residual: este apartado comprende el marco teórico base para la investigación, las propiedades que componen el agua residual, los tipos de muestras que pueden realizarse, sus parámetros fisicoquímicos, con referencia del Acuerdo Gubernativo 236-2006.
- Tratamientos de aguas residuales: se describen los distintos tipos de tratamiento que existen para tratar las aguas residuales, así como parámetros que deben tomarse en cuenta para la correcta elección del mismo, el cual se elige a partir de la caracterización inicial del efluente evaluado.
- Presentación de resultados: se analizan muestreos de agua para determinar los parámetros fisicoquímicos del efluente de la lavadora de envases de vidrio.
- Discusión de resultados: con los resultados obtenidos en la investigación, se concluye si es necesario realizar un tratamiento del agua de lavado para que ésta cumpla con el Acuerdo Gubernativo 236-2006, información que puede posteriormente utilizarse para evaluar la disposición final o la reutilización del efluente.

2. ANTECEDENTES

Según Acuerdo Gubernativo 236-2006, publicado el 5 de mayo de 2006, las aguas residuales necesitan cumplir con ciertos límites aceptables para su disposición final, velando por la protección del medio ambiente; posterior al Acuerdo Gubernativo 60-89, *Reglamento de requisitos mínimos y sus límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas*.

En estudios de años anteriores se han realizado las caracterizaciones de los efluentes, los cuales no han cumplido con los límites estipulados, de lo cual han surgido distintas metodologías para monitorear las descargas y evitar que afecten el medio ambiente, como el trabajo de graduación de López (2002), sobre la caracterización de aguas residuales de una industria de fabricación de fragancias, de Ramírez (2004), sobre la disposición de aguas residuales de una industria galvanizadora y Ríos (2011), sobre aguas residuales de una industria farmacéutica.

En todos los estudios en mención, se evaluaron los parámetros fisicoquímicos, con los cuales se propone realizar un tratamiento a los efluentes evaluados para cumplir con la normativa, así como buscar ahorros en costos y espacio para cada una de las empresas; lo cual sirve como base para saber qué tipo de tratamiento elegir en caso que el efluente de la lavadora de envases que se desea evaluar no cumpla con el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Es imperativo verificar que la disposición final se realice correctamente, así como buscar las formas para su reutilización y aprovechar al máximo el recurso hídrico. En caso que no cumplan con la reglamentación, se deben

establecer los mecanismos para su cumplimiento. En el trabajo de graduación de Quiñonez (2009), sobre mejoras en la descarga de aguas residuales, se concluyó que la empresa evaluada, si tenía sus resultados dentro de los límites máximos permisibles, brindando un parámetro comparativo para que el resto de industrias también lo cumplan, ya que el agua es un bien de consumo básico y que se utiliza para una gran cantidad de procesos, por lo cual debe darse un manejo adecuado al mismo, evitando así un desgaste natural del recurso no renovable.

También es importante hacer mención que se deben verificar, no sólo las disposiciones como tal, sino la distribución que se le da a la misma, teniendo fallas administrativas, financieras y mal servicio, así como la valorización que se le da al recurso. En la distribución del recurso, las grandes empresas pagan una cuota, sin tomar en cuenta diversos aspectos, como contaminación de acuíferos en las descargas, en el trabajo de graduación de Robledo (2001), se establece que para regular esta situación, deben crearse políticas para pago de externalidades y el no establecimiento de derechos para contaminar. Este tipo de estudios, brindan la pauta para concientizar a empresas para gestionar de mejor manera su recurso hídrico, como el caso de la embotelladora.

Para esta investigación se plantea la problemática de falta de manejo de más de 60 000 litros de agua por proceso de lavado, utilizados en una lavadora de envases de vidrio, por lo que se analizará si el efluente cumple con los límites aceptables de disposición final, establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

3. OBJETIVOS

General

Caracterizar las propiedades físicas y químicas del efluente hídrico utilizado en una lavadora de envases de vidrio de una embotelladora.

Específicos

- Caracterizar los parámetros físicos y químicos del efluente hídrico de la lavadora.
- Cuantificar la cantidad total de agua utilizada en la lavadora por uso, incluyendo el agua de rebalse.
- Verificar el cumplimiento de la disposición final de aguas residuales con base a legislación vigente.
- Describir un tratamiento de agua para el efluente de la lavadora.

4. JUSTIFICACIÓN

En una embotelladora se cuenta con un equipo para el lavado de envases de vidrio, el cual utiliza 67 500 litros por proceso de lavado, es utilizada dependiendo de la planificación de producción, a la cual debe añadirse el agua de rebalse en la operación de la misma. El manejo y disposición de evacuación debe ser gestionado de una manera eficiente, minimizando el consumo y reduciendo así el impacto ambiental causado.

La necesidad de esta investigación, radica en que no se posee un manejo adecuado sobre el uso del recurso hídrico empleado, por lo que se necesita caracterizar fisicoquímicamente el efluente de la lavadora y cuantificar el volumen total utilizado, información que posteriormente será utilizada para gestionar adecuadamente el recurso. Dicha investigación pertenece al área de *Gestión y tratamiento del agua: evacuación final de efluentes líquidos*, que corresponde a la Línea de Investigación de Gestión Ambiental, de la Maestría de Energía y Ambiente de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Los principales beneficiarios del proyecto es la empresa como tal, ya que aumenta su contribución con el ambiente, hasta lograr la reducción de costos por disminución de consumo del recurso hídrico. El efluente podría ser utilizado inclusive para los servicios generales y de ser posible ser reutilizado en el proceso de lavado.

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En una embotelladora se utiliza una lavadora de envases de vidrio. La misma posee tres distintos tanques, donde cada uno cumple una función. En el primero se utiliza una concentración inicial de hidróxido de sodio, que sirve para la limpieza de los mismos, en el segundo se reduce la concentración del hidróxido para evitar la formación de espuma en el lavado y en el último se agregan aditivos especiales para la eliminación de olores.

Brindando un diagnóstico inicial del proceso, se conoce el volumen de aforo de la lavadora, de 67 500 litros de agua, agua que es desechada luego de su función de limpieza. La cantidad de agua utilizada es considerable, tomando en cuenta que puede haber hasta tres usos de la lavadora por día, lo cual plantea un problema ambiental en la utilización no óptima de un recurso no renovable.

De esta problemática, se plantea la pregunta central de la investigación: ¿Este efluente cumple con los límites máximos permisibles, según la legislación vigente sobre la disposición final de aguas residuales?

Y al analizar el funcionamiento de la misma, se complementa con: ¿Cuáles son las características físicas del efluente?, ¿cuáles son las características químicas del efluente?, ¿se da algún tratamiento al agua residual proveniente de la lavadora?, ¿cuál es el volumen total utilizado?, ¿existe un flujo volumétrico de rebalse?, ¿el agua de salida puede ser reprocesada?

Para mejorar las características físicas y químicas del efluente de salida, se debe realizar una caracterización, así como una cuantificación del total de agua que se desecha, información que posteriormente puede ser utilizada para analizar de qué manera puede ser aprovechado el recurso hídrico, para minimizar del efecto sobre el medio ambiente. Así como determinar si la disposición actual cumple con los parámetros establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*.

6. ALCANCES

El análisis a realizar, está regulado por el alcance que tiene la investigación, el cual puede ser de diversos tipos:

- Descriptivo

Se procederá a caracterizar los parámetros físicos y químicos del efluente de la lavadora de envases de vidrio. Los resultados de los análisis realizados serán proporcionados por la empresa en donde se lleva a cabo el proceso de lavado.

- Técnico

Se describirán los parámetros en los dos primeros tanques de la lavadora de envases de vidrio, que utilizan agua e hidróxido de sodio. Dichos resultados pueden posteriormente ser utilizados por la empresa para proponer una forma de mejorar uso del recurso hídrico.

- Resultados esperados

Conocer los parámetros físicos y químicos del efluente hídrico de la lavadora, brindando información necesaria a la embotelladora para la toma de decisiones en cuanto a la gestión del recurso empleado.

7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

El recurso hídrico es fundamental para la vida, por lo que es importante incentivar el correcto uso y manejo del mismo, desde residencias domiciliarias, comercios, el sector público, recreación y la industria. Principalmente en el sector industrial, se utiliza un gran volumen de agua para diversos procesos, donde surge la importancia de tener un manejo adecuado en la disposición final de la misma, para evitar la afección al medio ambiente, así como a los seres vivos que puedan estar en contacto.

En Guatemala, fue publicado el 5 de mayo de 2006, el Acuerdo Gubernativo 236-2006, específico para aguas residuales, donde se establecen los límites aceptables que las descargas deben cumplir para poder ser desechados al ambiente; posterior al Acuerdo Gubernativo 60-89, *Reglamento de requisitos mínimos y sus límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas*.

Dentro de la normativa se establecen diversos parámetros, tanto físicos como químicos y biológicos.

Los parámetros físicos son aquellos que corresponden a los sentidos del tacto, gusto, oído y olfato. Entre estos se encuentran la temperatura, el color, el olor, entre otros. Los parámetros químicos se relacionan con la capacidad del agua de mezclarse con otros compuestos, formando otros compuestos diferentes o precipitados, como la alcalinidad, presencia de metales, la dureza. Los parámetros biológicos se miden por la ausencia o presencia de microorganismos, que pueden brindar distintas características al agua,

principalmente los organismos patógenos, que son los causantes de muchas enfermedades y proliferan rápidamente.

Todos los parámetros brindan características sobre la calidad del agua, las cuales pueden ser interpretadas para establecer la reutilización de la misma, ya sea en algún proceso industrial, para riego o inclusive para servicios sanitarios; y también para medir la afección que pueda tener al ambiente y brindarle un tratamiento adecuado para que sus afecciones sean mínimas.

Con el diseño de investigación presentado: *Caracterización fisicoquímica del efluente hídrico de una lavadora de envase de vidrio*, se pretende determinar si se cumple los parámetros de descarga de aguas residuales, y en caso contrario, realizar las medidas necesarias para minimizar la afección al ambiente y lograr a mediano plazo el cumplimiento de dichos parámetros.

En la embotelladora, se da un proceso de lavado de envase, para su posterior llenado y distribución. Este proceso se realiza en una lavadora especial para envases de vidrio, que contiene un aforo de 67 500 litros de agua. Este volumen se va posteriormente al drenaje, constituyéndose como agua residual.

Las aguas residuales son aquellas provenientes de descargas domésticas e industriales, con cierta concentración de contaminantes de materia orgánica disuelta o coloidal y de sólidos en suspensión. Para poder caracterizar las mismas, es decir determinar sus propiedades fisicoquímicas, es necesario realizar muestreos específicos, los cuales pueden ser mediante el método simple o el compuesto:

- *“La muestra simple nos da las características del agua residual en el momento en que la muestra es tomada”¹.*

Se utiliza cuando el comportamiento del flujo es constante, y cuando las muestras compuestas, pueden brindar datos erróneas de parámetros como pH y temperatura.

- Las muestras compuestas, son la unión de muestras simples tomadas en diversos momentos.

Los muestreos que se realizan al efluente, tienen la finalidad de determinar el cumplimiento de los límites máximos permisibles para las descargas al ambiente.

Estos límites están regulados por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, el cual debe cumplirse:

- Por cualquier ente que genere aguas residuales.
- Las personas que descarguen las aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público.
- Las personas que produzcan aguas residuales para su reúso.
- Las personas que reúsen total o parcialmente las aguas residuales.
- Las personas que sean responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

¹ Ramalho, R. S. (2003) *Tratamiento de aguas residuales*. España: Editorial Reverté, S.A. p. 78.

- Parámetros físicos

Los parámetros físicos son fácilmente medibles, brindando una aproximación de la calidad del agua, regularmente con ayuda del sentido del gusto, oído o tacto. Entre estos se encuentran:

- Temperatura: regularmente la temperatura del agua residual es mayor que la temperatura del agua para consumo humano, debido al agua que proviene del uso doméstico o industrial que contiene un mayor grado de calor. Es determinante para el desarrollo de la actividad bacteriana, por lo que es muy importante su medición *in situ*.

“El efecto de un cambio en la temperatura se manifiesta en un cambio en la cantidad de nutrientes, así como gases solubles, de los cuales el más importante es el oxígeno. Si la temperatura aumenta, se aceleran las reacciones que envuelven la disolución de sólidos, pero decrece la solubilidad de los gases, por lo que no se oxidan los elementos orgánicos”².

Esta característica de la temperatura, al no ser controlada, puede contribuir a la formación de lodos, ya que se disminuye la oxidación de elementos orgánicos, que a su vez puede causar el ambiente idóneo para la proliferación de bacterias o algún organismo patógeno, además que pierde la oxigenación de la misma, al disminuir la cantidad de nutrientes presentes.

- Color: capacidad de una sustancia de absorber radiaciones del espectro visible. No es un indicativo para poder determinar qué

² Campos Gómez, I. (2003) *Saneamiento Ambiental*. Costa Rica: EUNED. p. 51.

elementos se encuentran en una muestra de agua evaluada, aunque algunos contaminantes se manifiestan con base en ciertos colores en las mismas, debido a la concentración de los sólidos que tenga la muestra. *“Los sólidos en suspensión brindan un color llamado aparente, mientras que los sólidos disueltos proporcionan el color verdadero”*³.

En el ámbito industrial/comercial, el color es un parámetro que debe controlarse, ya que los consumidores regularmente demandan un agua que se vea cristalina.

- Sólidos totales: *“los sólidos totales son la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a una temperatura entre 103°C y 105°C hasta que se evapore”*⁴.

Dependiendo de su naturaleza, pueden ser orgánicos e inorgánicos; por su tamaño, filtrables y no filtrables; por su sedimentabilidad, en sedimentables y no sedimentables.

- Turbidez: *“un agua se considera turbia cuando contiene materia coloidal o en suspensión”*⁵. Provoca la reducción de transparencia del agua, debido a la presencia de material insoluble como arcilla, materia orgánica, materia inorgánica, microorganismos, entre otros.

³ Campos Gómez, I. (2003) *Saneamiento Ambiental*. Costa Rica: EUNED. p. 49.

⁴ Delgadillo, O.; Camacho, A.; Pérez, L. & Andrade, M. (2010) *Depuración de Aguas Residuales por medio de Humedales Artificiales*. Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA). p. 56.

⁵ Mendoza, J.A. & Palomares, A. (1998) *Ciencia y tecnología del medio ambiente*. Valencia: Servicio de Publicaciones, REPROVAL, S.L. p. 15.

- Parámetros químicos

Los parámetros químicos se refieren a la capacidad que tiene el agua de reaccionar con otros elementos, que no pueden ser determinados a simple vista, a diferencia de los físicos. Entre estos se encuentran:

- pH: *“el conocimiento exacto del pH es esencial en cuanto a la calidad física y la constitución de los materiales de las instalaciones (...) y también en cuanto a los tratamientos de corrección”*.⁶

Es una medición que determina la alcalinidad o acidez de una sustancia, en base a la concentración de iones hidrógeno que la misma posea. Su medición se realiza mediante un potenciómetro o mediante papel tornasol. Este parámetro varía con la temperatura.

- Coloides: partículas que se encuentran suspendidas en la solución, que puede ser causantes de la turbidez de la misma.
- Demanda de Oxígeno: puede caracterizarse como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). La primera se refiere a la concentración de materia biodegradable contenida en la muestra, *“... se calcula a partir de la medida de la disminución de la concentración de oxígeno disuelto, después de incubar una muestra durante un período determinado de tiempo (habitualmente 5 días, DBO5)”*.⁷

⁶ Gomella, C. & Guerre, H. (1977) *Tratamiento de Aguas para Abastecimiento Público*. España: Editores Técnicos Asociados, S.A. p. 31.

⁷ Domènech, X. & Peral, J. (2006) *Química Ambiental de Sistemas Terrestres*. España, Barcelona: Editorial Reverté, S.A. p. 190

La segunda se establece mediante una reacción redox entre la muestra con un oxidante químico fuerte. Corresponde a la oxidación química de las sustancias oxidables comprendidas en la muestra.

- Grasas y aceites: son grasas animales y vegetales, solamente se descomponen con ácidos y álcalis. Dan el problema de formar una capa en la superficie de agua o suelo, y evitan que el mismo esté en contacto con aire, es decir con oxígeno, que es la base para los procesos de tratamiento y descomposición.
- Nitratos: puede causar problemas ya que en un medio reductor, el nitrato puede pasar a nitrito, nitrógeno o amoníaco. Se puede determinar por espectrofotometría.
- Fosfatos: precipita fácilmente como fosfato cálcico, contribuyendo a la alcalinidad de las aguas, puede llegar a ser crítico en la eutrofización de aguas superficiales.
- Metales pesados: *“una necesidad frecuente en los vertidos industriales es la eliminación de metales pesados. Este puede que sea todo el tratamiento requerido para un vertido o un tratamiento para proteger el biológico posterior de la elevada toxicidad de algunos metales”*⁸. Entre estos metales se encuentran el cadmio, el cromo, el mercurio, el cobre, el plomo, el níquel, el arsénico, otros.

⁸ Rigola Lapeña, M. (1990) *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*. España: Editorial Marcombo, S.A. p. 192.

- Tratamiento de agua

Es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales.

- Tipos de tratamiento de agua

El tratamiento de aguas residuales debe llevar una serie de pasos para lograr la minimización del impacto al ambiente del efluente de agua.

Según Ramalho (2003: 91-105) y & Sans Fonfría (1989:93-134), para la transformación de las propiedades del agua pueden usarse tanto procesos físicos como químicos, llevado a cabo durante los siguientes pasos:

- Pretratamiento: busca acondicionar el agua residual para facilitar los tratamientos propiamente dichos. Puede incluir rejillas, tamices, desarenadores y desengrasadores.
- Tratamiento primario: es un tratamiento fisicoquímico, que busca reducir la materia orgánica suspendida por medio de la precipitación o sedimentación, con o sin reactivos, o por medio de diversos tipos de oxidación química (esta última no es muy recomendable, ya que presenta costos elevados).
- Tratamiento secundario: es un tratamiento biológico. Se utiliza para eliminar la contaminación orgánica disuelta, que es muy costosa de eliminar por medios fisicoquímicos. Consisten en la oxidación

aerobia de la materia orgánica (en lechos de partículas, lagunas de oxidación, entre otros), o en eliminación anaerobia (como en digestores cerrados).

- Tratamiento terciario: puede ser fisicoquímico, biológico o una mezcla de ambos, para tratar de mejorar la calidad final del agua.

Hay ciertos criterios que son muy importantes tomar en cuenta para la elección del proceso de tratamiento de agua (Yanez 2003, 2-28):

- Área disponible para la construcción del sistema de tratamiento.
- Naturaleza de los desechos.
- Grado de tratamiento o calidad del efluente requerido.
- Conceptos prácticos.

8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

- General

El efluente de la lavadora cumple con las regulaciones vigentes sobre la disposición final de aguas residuales.

- Específicas

- Los parámetros físicos del efluente de la lavadora se encuentran dentro del límite máximo permisible que establece la legislación vigente sobre la disposición final de aguas residuales.
- Los parámetros químicos del efluente de la lavadora se encuentran dentro del límite máximo permisible que establece la legislación vigente sobre la disposición final de aguas residuales.

9. CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS
ORIENTADORAS

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

1.1. Proceso de lavado

1.1.1. Tipo de proceso

1.1.2. Diagrama de flujo del proceso

1.2. Recurso hídrico

1.2.1. Origen

1.2.2. Volumen utilizado

1.2.2.1. Volumen de aforo

1.2.2.2. Agua de rebalse

2. LAVADORA DE PROCESO

2.1. Ficha técnica

2.2. Reactivos utilizados

2.2.1. Hidróxido de sodio

2.2.2. Aditivos

2.3. Períodos de uso

3. AGUAS RESIDUALES

3.1. Definición de agua residual

3.2. Muestreo de agua residual

3.2.1. Muestra simple

3.2.2. Muestra compuesta

3.3. Características del agua residual

3.3.1. Características físicas del agua residual

3.3.1.1. Temperatura

3.3.1.2. Color

3.3.1.3. Materia flotante

3.3.1.4. Sólidos suspendidos totales

3.3.2. Características químicas del agua residual

3.3.2.1. Potencial de hidrógeno

3.3.2.2. Grasas y aceites

3.3.2.3. Demanda bioquímica de oxígeno

3.3.2.4. Demanda química de oxígeno

3.3.2.5. Nitratos

3.3.2.6. Fosfatos

3.3.2.7. Metales pesados

3.3.2.8. Características biológicas

4. TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

4.1. Tipos de tratamiento de agua residual

4.1.1. Pretratamiento

4.1.2. Tratamiento primario

4.1.3. Tratamiento secundario

4.1.4. Tratamiento terciario

4.2. Selección de un tipo de tratamiento

5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Caracterización del efluente hídrico de la lavadora

5.1.1. Parámetros físicos

5.1.2. Parámetros químicos

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Interpretación de parámetros fisicoquímicos del efluente hídrico de la lavadora

6.2. Propuesta de tratamiento para el efluente hídrico de la lavadora

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ANEXOS

10. MÉTODOS Y TÉCNICAS

Para el diseño de investigación seleccionado se realiza un estudio descriptivo, determinando los niveles de descarga del recurso hídrico de la lavadora de proceso, parámetros establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, en Guatemala, donde se han realizado estudios similares para verificar el cumplimiento del mismo.

De los estudios evaluados, uno cumple con la legislación, en cuanto a la descarga se refiere, siendo el trabajo de graduación de Quiñonez (2009), sobre mejoras en la descarga de aguas residuales.

El resto de estudios evaluados, incluyen una propuesta de tratamiento de agua residual, para gestionar que los parámetros de descarga cumplan con la legislación vigente, como en los trabajos de graduación de López (2002), sobre la caracterización de aguas residuales de una industria de fabricación de fragancias, de Ramírez (2004), sobre la disposición de aguas residuales de una industria galvanizadora y Ríos (2011), sobre aguas residuales de una industria farmacéutica.

Para establecer los niveles de descarga, se utilizan variables cualitativas y cuantitativas, bajo un enfoque metodológico. El diseño se lleva a cabo en 4 fases:

- Fase I: se necesita conocer el volumen total de agua que está actualmente siendo desechado, posterior al proceso de lavado y que pueda ser reutilizado. El aforo de la lavadora es de 67 500 litros, sin embargo hay un

efluente de rebalse que no tiene medición directa como tal. El flujo de rebalse se calculará mediante el método volumétrico, midiendo el tiempo, en segundos, que toma para que el efluente llene una cubeta de 5 galones (18.93 litros), brindando una aproximación del caudal. Es un método inexacto, sin embargo, considerando la cantidad de aforo de la lavadora, el volumen de rebalse no es representativo y de esta manera se evita incluir en el presupuesto de la investigación la adquisición de un medidor de flujo para este fin.

Se realizarán cuatro mediciones consecutivas en el tiempo en el que la lavadora opera a su máximo funcionamiento. Estas mediciones se realizarán por una semana adicional, para tener una muestra representativa de datos y obtener un caudal promedio.

Los datos se recolectarán de la siguiente manera:

TABLA I. Tiempo de llenado en segundos, de una cubeta de 5 galones con el agua de rebalse de la lavadora

Tiempo en segundos	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Medición 1							
Medición 2							
Medición 3							
Medición 4							

Fuente: elaboración propia.

Además, se tomarán los datos de cuántas veces se usa la lavadora por tres semanas consecutivas, para tener un dato promedio de uso y poder cuantificar el agua total que se desecha.

Esta fase corresponde al objetivo 4 de la investigación, que corresponde a un análisis cuantitativo y que no está ligado con la caracterización del efluente, que se realiza en la siguiente fase.

- Fase II: se realizará una caracterización física del agua de salida de la lavadora, tomando en cuenta que se hará el análisis únicamente para los dos primeros tanques de la lavadora que utilizan hidróxido de sodio. Para estos dos tanques no se tienen establecidos los parámetros de disposición final, a diferencia del tercero, que utiliza aditivos para eliminación de olores, el cual tiene un manejo especial a cargo del proveedor de los aditivos.

Para esta fase se tomarán 5 muestras del efluente de la lavadora, para obtener un dato promedio de los parámetros a evaluar y poder inferir correctamente en los resultados.

Los muestreos se realizarán en diversos momentos del funcionamiento de la lavadora, el primero al iniciar el lavado, los siguientes tres cuando la lavadora se encuentre en su máximo funcionamiento y el último cuando se esté concluyendo el proceso.

En esta fase se analizan parámetros cualitativos, que se realizarán con equipo de la empresa.

Los datos se recolectarán de la siguiente manera:

TABLA II. **Caracterización física del efluente de la lavadora**

Parámetro	Unidades Dimensionales	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Máximos permisibles iniciales
Temperatura	Grados Celsius						TCR +/- 7
Materia flotante	Ausencia / presencia						Presente

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grado Celsius.

Fuente: elaboración propia.

- Fase III: se realizará una caracterización fisicoquímica del agua de salida de la lavadora, tomando en cuenta que se hará un análisis únicamente para los dos tanques de la lavadora, igual que la fase II.

Para esta fase se tomarán 5 muestras del efluente de la lavadora, tomadas en diversos momentos del funcionamiento de la misma, para obtener un dato promedio de los parámetros a evaluar y poder inferir correctamente en los resultados. La muestra se llevará a un laboratorio seleccionado por la empresa, que brindará resultados cuantitativos para su posterior análisis.

Los muestreos se realizarán en diversos momentos del funcionamiento de la lavadora, el primero al iniciar el lavado, los siguientes tres cuando la lavadora se encuentre en su máximo funcionamiento y el último cuándo se esté concluyendo el proceso.

Los datos se recolectarán de la siguiente manera:

TABLA III. Caracterización fisicoquímica del efluente de la lavadora

Parámetro	Unidades Dimensionales	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Máximos permisibles iniciales
Grasas y aceites	Miligramos por litro						1 500
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro						3 500
Nitrógeno total	Miligramos por litro						1 400
Fósforo total	Miligramos por litro						700
pH	Unidades de pH						6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros						$< 1 \times 10^8$
Arsénico	Miligramos por litro						1
Cadmio	Miligramos por litro						1
Cianuro total	Miligramos por litro						6
Cobre	Miligramos por litro						4
Cromo hexavalente	Miligramos por litro						1
Mercurio	Miligramos por litro						0.1
Níquel	Miligramos por litro						6
Plomo	Miligramos por litro						4
Zinc	Miligramos por litro						10
Color	Unidades platino cobalto						1 500

Fuente: elaboración propia.

- Fase IV: con la interpretación de los resultados del laboratorio para los parámetros cuantitativos y los resultados de los parámetros cualitativos, se concluirá si los mismos cumplen con los límites máximos permisibles regulados por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, y en caso contrario, se hará una propuesta para lograr su cumplimiento.

En esta fase, también se realizará el informe final.

- Técnicas de análisis de información

Los análisis para la caracterización, serán proporcionados por un laboratorio seleccionado por la empresa, sin embargo, para el método volumétrico, para cuantificar el total de agua que se desecha por proceso de lavado se harán uso de técnicas de estadística descriptiva e inferencial.

Primero, se realizará una tabla de datos para recopilar la información de cada muestra de volumen y tiempos, que pertenece a la estadística descriptiva, rama de la ciencia que sirve para recopilar, ordenar y facilitar la interpretación de datos. Luego, con los datos ordenados, se hará uso de estadística inferencial, que rama que sirve para poder analizar correctamente los resultados, para obtener una medición de caudal promedio, que es el volumen de agua sobre el tiempo.

11. RESULTADOS ESPERADOS

Al lograr caracterizar los parámetros físicos y químicos del agua de salida de la lavadora, se procederá a plantear las alternativas de solución para poder gestionar de mejor manera el recurso hídrico utilizado en el proceso de lavado, con el cual se cubren necesidades de tipo social, económico y ambiental.

El ámbito social y económico están estrechamente ligados, ya que con mejorar el manejo del recurso hídrico, se podría obtener más recurso para suministrarlo en las poblaciones aledañas, reduciendo costos del sector, así como los costos de producción de la empresa. En el ámbito ambiental, se ve claramente, que la correcta gestión implica un ahorro significativo en el uso del agua, siendo este un recurso imprescindible para la vida y que debe preservarse, además del cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Se detalla la calendarización de las distintas fases de la investigación en semanas:

TABLA IV. Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	FASE I					FASE II			FASE III				FASE IV				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Método volumétrico para agua de rebalse	■	■															
Muestreo de uso de la lavadora			■	■	■												
Caracterización fisicoquímica del agua residual						■	■	■	■	■	■	■					
Propuesta de tratamiento de agua													■	■	■		
Elaboración informe final																■	■

Fuente: elaboración propia.

13. RECURSOS

Para llevar a cabo la investigación propuesta, se necesitan los siguientes recursos:

- **Recurso humano:** el análisis será personal. Se necesitará realizar la medición del efluente de rebalse, esto se hará únicamente con una cubeta, de volumen conocido, y un cronómetro, con el apoyo del encargado de línea.
- **Financieros:** se establecen los recursos necesarios para la realización del análisis:

TABLA V. **Presupuesto base para la investigación**

MATERIAL/EQUIPO	COSTO
Implementos para medición	Q. 200,00
Uso de computadora	Q. 500,00
Papelería y útiles	Q. 500,00
Asesor	Q. 2 500,00
Muestreo de datos	Q. 12 500,00
TOTAL ESTUDIO	Q. 16 200,00

Fuente: elaboración propia.

- Tecnológicos: se utilizará un kit especial para el análisis fisicoquímico de la calidad del agua de salida.
- Acceso a información: será proveída por encargado del tema en la empresa, información de resultados únicamente para uso interno.
- Equipo: debido al tipo de análisis, solamente se necesita un cronómetro y una cubeta, en las cuales no se incurrirán en gastos, puesto que ya se tiene dicho recurso.
- Aspectos éticos: se verificará, con los resultados obtenidos, si el efluente cumple con las características de desecho de aguas residuales según Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. Si no cumple con el mismo, se realizará una propuesta de tratamiento.

14. BIBLIOGRAFÍA

1. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. Guatemala, 5 de Mayo de 2006.
2. Campos Gómez, I. (2003) *Saneamiento Ambiental*. Costa Rica: EUNED.
3. Delgadillo, O.; Camacho, A.; Pérez, L. & Andrade, M. (2010) *Depuración de Aguas Residuales por medio de Humedales Artificiales*. Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA).
4. Domènech, X. & Peral, J. (2006) *Química Ambiental de Sistemas Terrestres*. España, Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
5. Gomella, C. & Guerre, H. (1977) *Tratamiento de Aguas para Abastecimiento Público*. España: Editores Técnicos Asociados, S.A.
6. López, J. (2002) *Caracterización de las aguas residuales de una industria de fabricación de fragancias, y propuesta de tratamiento y disposición de las mismas*. Tesis de Licenciatura) USAC, Guatemala.
7. Mendoza, J.A. & Palomares, A. (1998) *Ciencia y tecnología del medio ambiente*. Valencia: Servicio de Publicaciones, REPROVAL, S.L.
8. Quiñónez, J. (2009) *Análisis y propuesta de mejoras en la descarga de aguas residuales, en una industria farmacéutica de medicamentos de venta libre*. (Tesis de Licenciatura) USAC, Guatemala.

9. Ramírez, M. (2004) *Caracterización, propuesta de tratamiento y disposición de las aguas residuales de una industria galvanizadora de tubería por inmersión en caliente*. (Tesis de Licenciatura) USAC, Guatemala.
10. Ríos, J. (2011) *Caracterización de las aguas residuales de una industria farmacéutica y propuesta de un proceso para la reducción y el control de los contaminantes presentes*. (Tesis de Licenciatura) USAC, Guatemala.
11. Ramalho, R. S. (2003) *Tratamiento de aguas residuales*. España: Editorial Reverté, S.A.
12. Rigola Lapeña, M. (1990) *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*. España: Editorial Marcombo, S.A.
13. Robledo, HJ. (2001) *Estimación económica de las principales externalidades de uso y manejo de los recursos naturales, en la subcuenca Matanzas, del río Polochic, Guatemala y propuesta de internalización monetaria*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 164 p.
14. Sans Fonfría, R. & Ribas, J. de P. (1989) *Ingeniería Ambiental: Contaminación y Tratamientos*. España: Editorial Marcombo, S.A.
15. Yánez, F. (2003) *Criterios para la selección de procesos de tratamiento de aguas residuales*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 2 – 28. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/05862/05862-06.pdf>

16. Zavala, S. (2009). *Guía a la redacción en el estilo APA, Sexta Edición*.
Lima: Recuperado de
http://www.suagm.edu/umet/biblioteca/pdf/guia_apa_6ta.pdf

