



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

**REÚSO DEL EFLUENTE TRATADO DEL PROCESO DE LAVADO DE  
PRENDAS TEXTILES DE LONA, PARA MITIGAR LA HUELLA AMBIENTAL  
EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN EN GUATEMALA**

**Ing. Diego Silva Linares**

Asesorado por el MBA, Ing. Marco Antonio García

Guatemala, abril de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REÚSO DEL EFLUENTE TRATADO DEL PROCESO DE LAVADO DE  
PRENDAS TEXTILES DE LONA, PARA MITIGAR LA HUELLA AMBIENTAL  
EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. DIEGO SILVA LINARES**

ASESORADO POR EL MBA ING(A). MARCO ANTONIO GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAGISTER ARTUM EN ENERGÍA Y AMBIENTE**

GUATEMALA, ABRIL DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdoba
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magali Herrera

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	MSc. Ing. Murphy Olimpo Paíz.
EXAMINADOR	MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes.
EXAMINADOR	MSc. Ing. Pablo de León
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magali Herrera

## **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:

### **REÚSO DEL EFLUENTE TRATADO DEL PROCESO DE LAVADO DE PRENDAS TEXTILES DE LONA, PARA MITIGAR LA HUELLA AMBIENTAL EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN EN GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería de estudios de Postgrado, con fecha de septiembre 2014.



**Diego Silva Linares**



FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC

**EP**  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2016-054

Como Coordinador de la Maestría en Energía y Ambiente y revisor del Trabajo de Graduación titulado **"REÚSO DEL EFLUENTE TRATADO DEL PROCESO DE LAVADO DE PRENDAS TEXTILES DE LONA, PARA MITIGAR LA HUELLA AMBIENTAL EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN EN GUATEMALA "** presentado por el Ingeniero Químico **Energía y Ambiente**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque  
Coordinador de Maestría  
Escuela de Estudios de Postgrado

Ing. Juan C. Fuentes M.  
M.Sc. Hidrología  
Colegiado No. 2,504



Guatemala, abril de 2016

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. Especializaciones: Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
**EP**  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2016-054

El 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 dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **"REÚSO DEL EFLUENTE TRATADO DEL PROCESO DE LAVADO DE PRENDAS TEXTILES DE LONA, PARA MITIGAR LA HUELLA AMBIENTAL EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN EN GUATEMALA"** presentado por el Ingeniero Químico **Diego Silva Linares**, correspondiente al programa de Maestría en Energía y Ambiente; apruebo y autorizo el mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*



MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Director

Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, abril de 2016.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. Especializaciones: Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
**EP**  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

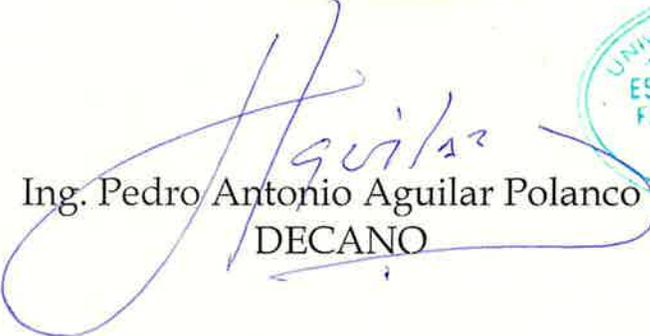
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

Ref. APT-2016-054

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 Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Energía y Ambiente titulado: **"REÚSO DEL EFLUENTE TRATADO DEL PROCESO DE LAVADO DE PRENDAS TEXTILES DE LONA, PARA MITIGAR LA HUELLA AMBIENTAL EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN EN GUATEMALA "** presentado por el Ingeniero Químico **Diego Silva Linares**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
DECANO



Guatemala, abril de 2016.

Cc: archivo/la

**Doctorado:** Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
- Mis padres** Alberto Silva y Gladys Margarita Linares. Su amor será siempre mi inspiración.
- Mis hermanos** Lucia, Alejandro, Gustavo, Isabel y Alberto. Por ser una importante influencia en mi vida y deseos de superación
- Mis tios** Gustavo y Mario Armando. Por ser dos ángeles a mi vida. Pablo y Jacobo. Por ser ejemplo de tenacidad y fuerza.
- Mis tias** Irma Aracely y Ana María. Por ser fuente importante de inspiración y superación.
- Mis amigos** Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**La Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por permitirme continuar mi preparación profesional de postgrado y pertenecer a tan importante casa de estudios universitarios.

**Facultad de Ingeniería**

Por ser la facultad que continuamente busca ofrecer opciones de superación al profesional guatemalteco.

**Mis amigos de la  
Facultad**

Cesar, Samuel y Josue, fueron una gran influencia durante mi etapa de estudios de postgrado.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	XV
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XVII
GLOSARIO .....	XIX
RESUMEN.....	XXIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XXV
OBJETIVOS.....	XXXIX
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO .....	XLI
INTRODUCCIÓN .....	XLVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Impacto ambiental.....	1
1.2 Historia.....	1
1.3 Tipos de impactos ambientales.....	2
1.4 Proceso de fabricación de prendas de lona .....	6
1.4.1Proceso general .....	6
1.4.2Descripción de cada área de proceso.....	7
1.4.3Proceso de lavado (Características) .....	9
1.5 Gestión de aguas residuales en la industria .....	10
1.5.1 Descripción general de la gestión .....	10

1.5.2	Caracterización de aguas residuales:.....	13
1.5.3	Tratamiento de aguas residuales.....	15
1.6	Tipos de tratamientos de aguas residuales .....	17
1.6.1	Tratamientos físico-químico o primario .....	17
1.6.2	Tratamientos biológicos (secundarios .....	19
1.6.3	Tratamientos terciarios .....	21
1.6.4	Tratamiento de los fangos.....	23
1.7	Reutilización por la gestión de aguas .....	24
1.8	Huella ambiental en los procesos de reutilización de recursos .....	26
2.	METODOLOGÍA .....	27
2.1	Tipo de proyecto .....	27
2.2	Alcance del proyecto .....	27
2.3	Fases del proyecto .....	28
2.4	Sujetos.....	30
2.5	Técnicas de análisis de información .....	31
2.6	Instrumentos de información .....	31
2.7	Instrumentos estadísticos .....	33
3.	RESULTADOS.....	37
3.1	Características fisicoquímicas de agua de proceso.....	37
3.2	Características fisicoquímicas de agua tratada .....	38
3.3	Características comparativas de flujos de agua (proceso y tratada).....	40

3.4	Comparativo de parámetros para determinación de reúso de efluente tratado.....	43
3.5	Establecimiento de parámetros de reutilización y sus valores .....	50
3.6	Determinación de flujo de reutilización diario y cálculo de huella ambiental reducida .....	50
3.7	Establecimiento de parámetros de reutilización y sus valores .....	53
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	55
	CONCLUSIONES .....	63
	RECOMENDACIONES.....	65
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
	ANEXOS.....	75
1	Tablas de resultados para proceso de investigación y evaluación. .	75
2	Cálculos de valor económico de ahorro .....	78
3	Mapa de ubicación cuenca María Linda en municipio de Guatemala.....	80
4	Acuerdo Gubernativo236-2006, Artículo 20. Parámetros de control para descarga de aguas residuales.....	81
5	Datos recabados para proyecto .....	82



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Proceso simplificado de elaboración de pantalones de lona. ....	XXVI
2. Ubicación geográfica de instalaciones de empresa evaluadas, marcadas por el recuadro de color rojo.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3. Esquema de la secuencia del proceso productivo. ....	7
4. Esquema de un proceso de tratamiento de aguas residuales. ....	16
5. Volumen de agua tratada para período histórico de febrero a abril 2014.....	40
6. Comportamiento del color en el efluente.....	41
7. Comportamiento de turbidez en efluente tratado. ....	42
8. Comportamiento de la conductividad para el efluente tratado de la planta.....	43
9. Comportamiento general de la conductividad en la mezcla de aguas para reúso ...	45
10. Correlación entre color y conductividad para efluente.....	46
11. Correlación entre color y turbidez de efluente.....	47
12. Correlación entre conductividad y turbidez para efluente.....	48
13. Comparativo histórico de conductividad de mezcla al 25% vs agua de proceso (valor ideal).....	49
14. Comparativo histórico de conductividad de mezcla al 12.5% vs agua de proceso (valor ideal).....	49
15. Volumen aprox. simulado de reutilización para proceso, a partir de período histórico 2014. ....	52

## TABLAS

I. Algunos parámetros de control para caracterización de aguas residuales.....	13
II. Parámetros de calidad de descarga de los efluentes, según Artículo 20 del Acuerdo Gubernativo.....	14
III. Descripción de etapas de tratamiento primario. Adaptación de CALIDAD, 2008 ....	19
IV. Valores estadísticos de parámetros de control para agua de proceso.....	37
V. Parámetros aplicables para proyecto .....	38
VI. Resultados estadísticos de parámetros de control para agua tratada .....	39
VII. Valores estadísticos de parámetros de control establecidos .....	44
VIII. Valores de control para proceso de reutilización de efluente, porcentajes de volumetría. ....	50
IX. Valor económico de ahorro por supuesto de uso tarifa social domiciliar.....	53
X. Datos fisicoquímicos de agua de proceso para lavado de prendas de lona .....	75
XI. Resultados promedio para valores fisicoquímicos de agua tratada. ....	76
XII. Parámetros comparativos de mezclas de agua tratada y agua de proceso (% de agua tratada).....	77
XIII. Rangos de consumo mensual para costos por EMPAGUA .....	78
XIV. Parámetros medidos para efluente de planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa evaluada. ....	82
XV. Parámetros medidos para agua de proceso de lavandería (agua pre lavado). ....	83

## LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
COV's	Carbono orgánico volátil.
Cr <sup>+6</sup>	Cromo hexavalente.
Cr <sup>+3</sup>	Cromo trivalente.
et.al.	<i>et alii</i> , significa “y otros”.
FAU	Unidades de atenuación de formazina.
IVA	Impuesto al valor agregado.
M	Metro.
m <sup>3</sup>	Metro cúbico.
m <sup>3</sup> /s	Metros cúbicos por segundo.
μS/cm	Microsiemens por centímetro.
mg/L	Miligramos por litro.
NTU	Unidades nefelométricas de turbidez.
pH	Unidad de medición de acidéz o basicidad de un compuesto químico.
Ppm	Partes por millón.
TCR	Temperatura del cuerpo receptor.
U. PtCo	Unidades de Platino Cobalto.



## GLOSARIO

<b>Aerobio</b>	Proceso que describe como los organismos vivos necesitan de oxígeno para realizar sus actividades.
<b>Afluente</b>	En ingeniería de procesos de tratamiento de aguas, se refiere al flujo de agua que ingresa a un sistema para ser tratada. Flujo de agua o río que contiene características a ser tratadas, mitigadas y/o mejoradas en un proceso unitario ingenieril.
<b>Anaerobio</b>	Proceso que describe como algunos organismos vivos que pueden realizar sus actividades sin la necesidad de utilizar oxígeno.
<b>Color</b>	En aguas residuales, el color puede indicar el origen de la contaminación, así como el buen estado o deterioro de los procesos de tratamiento. Generalmente se dimensiona el valor de color en unidades de Platino-Cobalto.
<b>Conductividad eléctrica</b>	Conocida como la corriente eléctrica que resulta del movimiento de partículas cargadas eléctricamente. En el agua, esta conductividad

se referencia a la capacidad de los sólidos dispersos en la misma que tienen la capacidad de realizar la transferencia eléctrica por sus propiedades elementales, como sales y/o metales.

**Efluente**

Se conoce como el efluente, a todo flujo de agua que es resultado de un proceso de tratamiento y refinación de la calidad de las aguas residuales que se generan en un proceso de manufactura industrial.

**Lodos activados**

Sistema biológico de tratamiento de aguas en el cual un sistema de cultivo de bacterias degrada la materia orgánica contenida como contaminación en un flujo de agua proveniente de una descarga de proceso. Este caldo biológico generado en una cisterna (lodos biológicos) se activan por medio de aireación, para garantizar que las bacterias oxidan la materia y permiten que la misma se vuelva un lodo sedimentable que realiza una absorción y adsorción física de los contaminantes, separando por decantación el agua tratada de los lodos con bacteria y contaminantes.

**Huella ambiental**

Este es un indicador del impacto ambiental generado por la demanda de recursos del ser humano y la capacidad de la naturaleza de

poder regenerar dichos recursos en un período.

**Huella hídrica**

La huella hídrica representa la cantidad de volumen de agua utilizado para producir un bien. Este es un indicador de la capacidad del consumo directo e indirecto de un proceso para elaborar un producto.

**Manto freático**

Capa, manto o nivel al cual se encuentra el agua disponible en el subsuelo, medido a partir de la superficie terrestre.

**Microcuenca**

Conocido también como un sector geológico de un altiplano en el cual se concentra el agua de lluvia y escurre a lo largo de un cauce (superficial o subterráneo) a lo largo de una extensión pronunciada en el área del altiplano hasta desembocar en un río, lago o desembocadura.

**Reutilización de efluente**

Proceso por el cual un flujo de agua que ha pasado por un proceso de tratamiento (secundario o terciario) tiene las condiciones adecuadas para ser utilizado nuevamente para un proceso alternativo de producción o en un mismo proceso productivo dentro de la empresa donde se generó la descarga inicial del agua tratada.

**Turbidez**

La turbidez es una medida del grado donde el agua pierde su transparencia, debido a la presencia de partículas en suspensión; mide la claridad del agua. Se puede medir en unidades nefelométricas o unidades de atenuación de formazina (NTU O FAU, respectivamente)

## RESUMEN

A nivel de huella ambiental, las textileras son organizaciones industriales que pueden generar muchos residuos y descargas, los cuales con un buen proceso de tratamiento se pueden obtener nuevos subproductos de posible reutilización que permitan reducir su impacto en la huella producida.

Una de las etapas que genera mayor cantidad de emisiones es la etapa de lavandería, ya que el consumo que se tiene de agua es alto y su calidad se ve alterada de manera constante. Para mitigar parte de la huella ambiental que se genera, las empresas optan por usar sistemas de tratamiento de aguas residuales especiales. Sin embargo, otra parte importante es la generación de técnicas operativas innovadoras para su posterior uso.

El presente proyecto describe, a partir del efluente generado por un sistema de tratamiento de una empresa de manufactura de textiles de lona, la oportunidad de reutilizar el flujo de agua tratada dentro del mismo proceso de lavandería, garantizando reducir de una forma más innovadora la huella ambiental que se produce por el efluente descargado al sistema del alcantarillado y de las prendas lavadas durante el proceso. El principal objetivo es la determinación de las características o parámetros de control necesarios para realizar la reutilización del flujo de aguas tratadas en el sistema, junto con la cantidad de agua en volumen que será necesaria poder ingresar como parte del flujo de agua necesario en el proceso.

El método utilizado para realizar la determinación de características consiste en la evaluación cualitativa del efluente con el agua de proceso, siendo los

parámetros fisicoquímicos los que serán la variable de evaluación y posterior control. Con un análisis estadístico de la media y la desviación estándar de cada uno, se estableció qué porcentaje de efluente puede ser retornado al proceso, partiendo de un análisis en volumen del mismo flujo de agua tratada.

Los resultados obtenidos para el control de reutilización del agua tratada fueron varios, pero se determinó que la conductividad eléctrica es el parámetro que permite de mejor forma el control del proceso, siendo su límite máximo determinado de 1050  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aproximadamente y reduciendo la huella ambiental de consumo de agua potable en el proceso, con un volumen de reutilización del agua tratada inyectada al sistema de 158  $\text{m}^3$  diarios, representando un 25% de aprovechamiento del recurso interno. A la vez, la huella ambiental hídrica se redujo para el proceso de lavandería en un 24.99%. En conclusión se pudo determinar que bajo los parámetros de operación de la empresa evaluada, la reutilización es posible controlando características fisicoquímicas propias del sistema y mitigando la huella ambiental provocada por el consumo volumétrico de agua proveniente de la red municipal de abastecimiento de agua potable.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

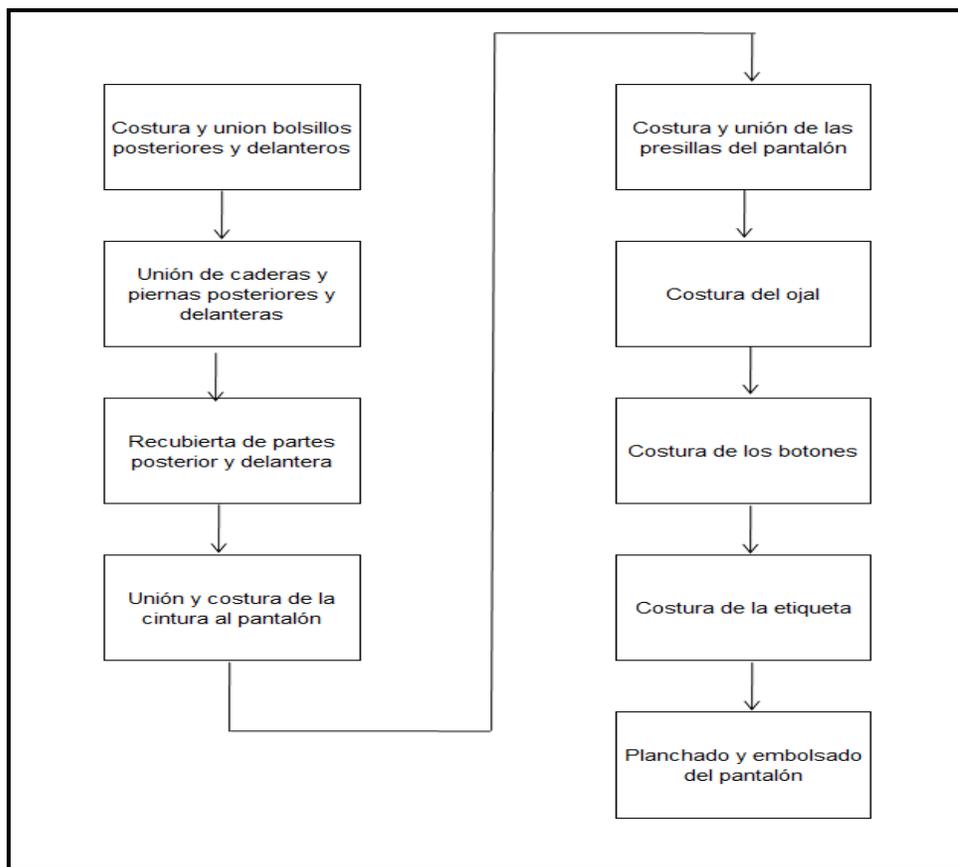
### **Antecedentes**

La fabricación de pantalones de lona conlleva procesos definidos y específicos para el ensamble, preparación y afinación del producto, en un mercado cada vez más exigente por ser provisto de prendas diferenciadas. El éxito que rige a toda fábrica de manufactura de prendas textiles depende básicamente del desarrollo de actividades productivas dirigidas y controladas (Alvarado Rey, 2006).

En su proyecto de investigación, Alvarado Rey (2006) indica: *“se hace imprescindible la estandarización de procedimientos de trabajo, que garanticen una aplicación uniforme de cada una de las técnicas de trabajo requeridas en una determinada área.”*(p.35). Como todo proceso de elaboración, el producto debe presentar un proceso ordenado. Esto garantiza que se tengan resultados positivos en el desempeño y gestión del producto.

La fabricación de una prenda de vestir conlleva varias etapas de ensamblaje, cosido, unificación y presentación. La Figura 1 muestra un esquema simplificado del proceso del pantalón de lona.

Figura 1: Proceso simplificado de elaboración de pantalones de lona.



Fuente: CALIDAD, 2008

Dentro del proceso de manufactura del pantalón de lona, se requiere de una etapa de lavado en la cual se ajusta la textura, coloración y detalle del pantalón. La aplicación de químicos en la etapa de lavado de la prenda permite mejorar la calidad del pantalón y a su vez ajusta las condiciones físicas y químicas del producto, dando una mejor calidad. (Alvarado Rey, 2006)

Dentro del proceso de lavado, cabe destacar como este implica operaciones complejas y detalladas. Alvarado Rey (2006) explica: “En el área de aplicación de químicos del proceso de acabados especiales y lavandería existen un sinnúmero de variables que intervienen en el resultado del proceso productivo, la eficiencia del área de trabajo y la calidad de cada una de las prendas procesadas”. (p. 35). También se manifiesta como para el proceso con agua, las variables de aplicación y descarga son múltiples y todas son descargadas directamente al sistema de drenajes internos del proceso.

El detalle de la descarga del agua de proceso es la base de esta investigación. Las aguas residuales generadas por cualquier industria se refieren a aguas que han pasado por un proceso productivo, en el cual su calidad inicial se ha visto alterada por un cambio físico y/o químico de sus propiedades. (Monroy Mahecha, 2010).

La depuración de los efluentes líquidos es una parte fundamental de la gestión ambiental en cualquier industria. Debe de ser asumida en su doble faceta de obligación medioambiental con la sociedad y como parte del proceso de producción.

Romero - Aguilar, et.al. (2009), Explican en su estudio de investigación Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica: “Las aguas residuales se definen como aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general, de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas”. (p. 158)

Describiendo para México: “Se generan alrededor de 200 m<sup>3</sup>/seg de aguas residuales, de las cuales reciben tratamiento sólo 36 % (CNA 2007), lo que indica que se requiere de mayor infraestructura y recursos humanos para mejorar la calidad de este bien, además de propuestas innovadoras que permitan implementar el tratamiento en diferentes condiciones ambientales y socioeconómicas)” (Romero-Aguilar, et al. 2009. P. 158)

Las innovaciones ambientales radican en procesos de tratamiento del agua residual de operaciones como la manufactura de pantalón de lona, industria de origen textil. Pinzón Gamboa (2010) en su tesis de investigación indica: “La mayoría de estas textileras son de tipo domésticas, no poseen plantas de tratamiento de aguas residuales, esto indica que todos los desechos que vienen de su proceso son vertidos directamente al río Xayá, provocando una contaminación del agua. Esto hizo que EMPAGUA deshabilitara el caudal del entrada al acueducto proveniente del río Xayá, perdiendo así un 14% de producción de la planta”. (p. 41)

Así como las industrias de origen PYMES, las grandes industrias deben establecer sistemas de tratamiento del agua residual.

Existen diversos sistemas de tratamiento de agua residual; sin embargo, la parte esencial del proceso de tratamiento es la caracterización o identificación de los contaminantes que puedan existir dispersos en la solución (Monroy Mahecha, 2010).

Monroy Mahecha (2010) define entre sus recomendaciones: “La caracterización del agua residual debe realizarse antes de iniciar el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, ya que estos datos serán de suma importancia, para el buen funcionamiento de la planta, debido a que los procesos biológicos dependen directamente de estos valores.” (p. 115)

Un proceso biológico de tratamiento son los humedales artificiales, de los cuales se pueden establecer que “Se basa en los principios de los sistemas naturales, ya que se acercan a lo que ocurre en la naturaleza, por lo que, a pesar de la intervención del hombre, se han catalogado como “sistemas naturales de tratamiento”. Por tal motivo, esta tecnología resulta altamente atractiva para ser aplicada en el tratamiento de aguas residuales por su versatilidad y rentabilidad económica”. (Romero – Aguilar, *et. Al.*, 2009, p. 158)

Como parte importante del control y mejora ambiental en el tratamiento de aguas residuales, la innovación implica buscar la oportunidad de reutilizar el producto resultante de este tipo de procesos ambientales. Por ejemplo, la agencia de protección de ambiente de Estados Unidos, EPA (Environmental Protection Agency) por sus siglas en ingles, describe algunos de los beneficios de reutilizar los sistemas de agua tratada como una mejora ambiental:

“El uso de aguas residuales tratadas como parte importante de procesos puede garantizar que fuentes hídricas se vean afectadas por descargas que no sean necesarias para el sistema. Esto en el caso de grandes descargas de agua tratada del sistema de tratamiento de San José / Santa Clara Water Pollution Control Plant, en el sur de la bahía de San Francisco puede producir un desequilibrio en la concentración natural de agua salada del área. En consecuencia en el año 1997 se completo un proyecto de reciclaje de aproximadamente \$140 millones para garantizar que el volumen de agua para

irrigación y uso en la industria sin amenazar las características del área fuera de por lo menos 21 millones de galones al día”. (USEPA, 2012)

También el aspecto de profesional en el control y asesoramiento del ambiente indica que la capacidad del país de mejorar nuestro ambiente natural esta en el control de nuestros recursos. El asesor de ambiente Ing. Edin Rodas, asesor experto independiente en Guatemala, explicó en una entrevista proporcionada para este proyecto: “Guatemala se encuentra en un proceso de crecimiento en el control de los impactos ambientales, pero todavía hay mucho camino por recorrer. La industria en general se ve afectada por un proceso de cumplimiento ante un acuerdo de descarga de aguas residuales que se ve con condiciones muy por debajo de lo requerido por los sectores internacionales gubernamentales de otros países. Con esto la oportunidad de generarse en el sector manufactura se ve afectado. Es importante ver cómo la huella ambiental sigue siendo un tema precario y no tomado en cuenta, pero que lentamente irá ingresando como parte importante de la agenda de Gobierno y por ende de la industria local.

El control por parte de las entidades locales para garantizar que el cumplimiento se vea en efecto realizado parte por la necesidad del país de generar mejores ingresos en materia de trabajo para el comercio local, así como garantizar que nuestros propios recursos sean mejor aprovechados. Solo con un control de la huella ambiental generada por cada industria se tendrá un correcto aprovechamiento de los recursos disponibles, en especial el recurso hídrico de nuestro país.” (2015)

## **Problema a evaluar**

“Desaprovechamiento del efluente proveniente de una planta de manufactura de prendas textiles de lona, ubicada en Guatemala para otra actividad interna de proceso general, y que ayude a reducir la huella ambiental por el consumo de agua potable de la microcuenca en donde se ubica la empresa”

## **Descripción de problema**

El sistema de tratamiento de aguas residuales industriales permiten que se cumplan con los parámetros definidos por el Decreto 236-2006 de Guatemala para la descarga de aguas de cualquier proceso. Este Decreto establece todos los factores de control biológico, químico y físico que se regulan de los efluentes procesados en una empresa y que los mismos vuelvan a las fuentes de donde se obtuvieron inicialmente.

En la empresa de manufactura de prendas textiles de lona evaluada, la cantidad de agua que se utiliza para el proceso productivo es superior a lo necesario en una residencia urbana. Como parte importante de su estudio de impacto ambiental, este volumen de agua debe ser tratado para que cumpla con el decreto regional establecido para la empresa.

En este punto se encuentra el principal factor de evaluación del problema descrito, ya que la cantidad de agua descargada supone un problema de falta de aprovechamiento de recursos, que impacta en la huella ambiental generada

por la empresa y de la cual se encuentra la oportunidad de evaluar su reutilización.

La cantidad de agua que se maneja como desecho ya tratado influye en una oportunidad de mejora para el proceso de lavado en la operación de manufactura de la prenda; también se está obviando la cantidad de agua que se requiere para realizar la operación productiva de lavado en la empresa.

Como punto de partida, la disponibilidad de un recurso por un proceso de transformación que garantiza el cumplimiento de acuerdos legislativos internos que permite identificar plenamente el problema que radica en la descarga del agua tratada generada por la planta, ésta no siendo aprovechada al máximo como parte importante de insumo disponible para la operación de la empresa, así como la fuente de oportunidad para la reducción de la huella ambiental generada.

La huella hídrica generada por el consumo de piezas de lona lavadas es tan elevada, que el recurso de un efluente tratado como alimentación alterna al proceso permitiría que esta huella pueda ser reducida del abastecimiento de la red de agua potable inicial. El consumo estimado de agua es de aproximadamente 630 a 635 m<sup>3</sup> diarios, esto es de acuerdo a consultas realizadas al personal interno de producción de lavandería, los cuales comentaron: "...se lavan alrededor de 200 piezas de lona lavadas en un equipo de lavandería industrial en una hora. Esto lleva a que se tenga un consumo estimado diario de agua de casi 632 m<sup>3</sup> diarios, a un horario de trabajo aproximado de 12 horas por un total de 17 lavadoras industriales". El total de

piezas lavadas en un día puede ascender hasta 40,800 piezas aproximadamente.

### **Preguntas**

Central: ¿Es posible utilizar el efluente del proceso de tratamiento de una planta de prendas textiles de lona como fuente de abastecimiento para la operación interna de producción y que a la vez permita reducir la huella ambiental hídrica generada por el consumo de agua potable en el proceso?

Auxiliares:

¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua de proceso interno y del efluente de descarga que se pueden controlar para reducir la huella ambiental del proceso?

¿El caudal de descarga del efluente es suficiente para abastecer el proceso de lavado de prendas y reducir el consumo de agua potable, el cual permitirá reducir la huella producida por el consumo del proceso de lavandería?

¿Cuáles son los valores de los parámetros fisicoquímicos mínimos a controlar del agua para reutilización del proceso de lavandería, para la reducción de la huella ambiental hídrica?

## **Justificación**

A partir del año 2012 al 2013 en el país se ha vivido un incremento productivo en el mercado textil, lo que ha presentado un incremento en el número de procesos y cantidad de producto disponible, para garantizar la demanda solicitada de piezas e indumentaria para el mercado extranjero.

Conforme a la alta demanda de producto, se tiene altos niveles de consumo de materiales y recursos primarios, entre ellos el agua. Como parte de las líneas de mitigación de impacto ambiental, el uso agua es considerado un recurso no renovable y en riesgo de contaminación latente, por lo que su estudio y manejo adecuado de distribución para operaciones de diferentes procesos es importante.

Esto genera la necesidad de investigar a profundidad en la industria y cómo se puede mejorar la calidad de los efluentes generados en las diferentes actividades operativas de la industria textil, para garantizar un manejo adecuado de las reservas acuíferas disponibles.

Los niveles de los mantos freáticos y la capacidad de regeneración por parte del ciclo hidrológico esta siendo un punto complejo con las actividades antrópicas hoy en día, por lo que dentro de las líneas académicas y tecnológicas de investigación se está buscando la capacidad en los procesos de reutilizar en un alto porcentaje las aguas que son utilizadas dentro de la operación industrial nuevamente.

Durante el año 2011, la industria textil generó en divisas un aproximado de Q1,500 millones, desplazando a la del café y azúcar, como productos exportables tradicionales del país. A su vez se generan año con año más de 100,000 empleos destinados a la subsistencia e ingreso de recursos para las familias de dichos empleados. Existen 146 fábricas de confección textil en la república de Guatemala, 41 empresas textiles y 22 empresas de hilos (Prensa Latina, 2012).

Algunas de las empresas textiles que se desenvuelven en el territorio guatemalteco son: Denimatrix, S.A., Imperial Group Sourcing Agent, Conceptos Textiles, Compañía de Maquila, S.A., entre otras (Asociación de la Industria del Vestuario y Textiles, 2015) . De acuerdo a la publicación descrita por la Asociación de Industrias de Vestuario y Textiles, Vestex (2015): “Para el año 2014, Guatemala tuvo una participación en millones de dólares de exportación de prendas textiles hacia Estados Unidos de aprox. \$. 1,322.20, lo que es un claro indicador de la participación en el mercado centroamericano del país en materia de producción y exportación textil. Esto también indica que la utilización de los recursos disponibles para la operación de manufactura son altos, especialmente la etapa de consumo hídrico en los proceso de lavado y acondicionamiento de las prendas textiles”.

Esto conlleva a que los procesos pilares de la fabricación, así como la etapa de lavado de las prendas, puedan tener mayor productividad y uso de insumos que garanticen un producto rentable. Para ello, el proceso de lavado necesita de un recurso hídrico suficiente para garantizar que el proceso de acondicionamiento en el lavado de la prenda tenga la solución adecuada de productos químicos. En la industria este detalle puede llegar a ser de por lo menos 2000 m<sup>3</sup> diarios

en un pico de proceso y en promedio un consumo de 650 m<sup>3</sup> diarios (datos aproximados).

Como parte importante del proceso, se ha destinado la instalación y operación de un proceso de tratamiento de las aguas residuales industriales provenientes de la etapa de lavado. Esto tomando en consideración que el Decreto Gubernativo 236-2006 establece que toda industria que genere y deseche como parte de su proceso al sistema nacional de drenajes aguas residuales especiales, debe establecer las correcciones de mitigación de impacto a través de un sistema de tratamiento de dichas aguas que garanticen que estas regresen con los parámetros mínimos necesarios para evitar un desastre ambiental hacia el estado y sus pobladores.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal analizar las características del efluente proveniente de la planta de tratamiento, para garantizar que el mismo puede ser utilizado como recurso complementario para la reducción de la huella ambiental hídrica del proceso de lavado de la prenda de lona. A su vez, la oportunidad de establecer que la cantidad en volumen es suficiente para poder garantizar la demanda del proceso, permitiría que el sistema primario de abastecimiento mantenga su capacidad de reabastecimiento natural y a la vez se reduzca el consumo de la línea municipal de agua y la microcuenca disponible.

Es importante tener como base de mejora geográfica y social, el abastecimiento utilizado del agua tratada interna permitirá evitar el consumo excesivo del actual manto freático, esto a través de los pozos que se utilizan como fuente de agua para el proceso. Esto garantizará que en mediano plazo, la recuperación del

manto se pueda dar de manera natural en las épocas de lluvia conforme al ciclo hidrológico del área.

Dentro de la línea de investigación de gestión y tratamiento del agua, la determinación de cuanto flujo volumétrico puede ser regresado con condiciones adecuadas a un proceso para su uso o reúso permite que las fuentes naturales no sufran desgaste de su calidad y aporte al medio natural; por lo tanto la reutilización de efluentes en sistemas productivos industriales permite que se maneje un control adecuado de los recursos naturales y, por consiguiente, se tenga un ambiente natural con mejor aprovechamiento y con impactos negativos reducidos a su mínima expresión posible.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar la capacidad de reutilizar el efluente de la planta de tratamiento interna de una empresa de manufactura de prendas textiles de lona, para los procesos productivos internos de lavandería, lo cual permita que la huella ambiental hídrica por el consumo de agua potable se reduzca.

### **Específicos**

1. Identificar los parámetros físico-químicos para reutilizar el efluente de la planta de tratamiento.
2. Comparar los parámetros fisicoquímicos de una mezcla volumétrica del efluente con el agua de proceso para determinar si es posible el reúso del efluente, para la reducción de la huella ambiental hídrica.
3. Establecer los valores de los parámetros fisicoquímicos de la mezcla de agua de proceso y efluente para la reutilización en el proceso de lavandería y realizar la reducción de la huella ambiental hídrica.
4. Establecer el caudal máximo disponible y el valor máximo de la huella ambiental hídrica a obtener, a partir de la mezcla encontrada para la reutilización en el proceso de lavandería.



## RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Para este proyecto de investigación se definió un estudio de tipo descriptivo. Las principales variables que se establecieron fueron la turbidez, el color y la conductividad eléctrica del efluente tratado. El proyecto se dividió en fases que permitieron lograr evaluar los objetivos principales planteados. Para ello, las fases fueron cuatro y se describen por cada una de las etapas de análisis del flujo de agua tratada:

En la primera fase, se realizó la evaluación fisicoquímica del efluente de la planta de tratamiento y del agua que se utiliza para el proceso de lavado. A este flujo se le analizó los parámetros de control que se manejan por el acuerdo nacional de control del agua tratada, Acuerdo Gubernativo 236-2006, específicamente los parámetros de temperatura, turbidez, pH, color y conductividad eléctrica (Ver Anexo 8.5 Datos de control de investigación). Los valores evaluados se procedieron a tomar nota y se utilizaron para ser evaluados en la segunda fase. En esta primera fase también se determinó el caudal de descarga del efluente de la planta de tratamiento en un día de operación. En la segunda fase, se analizó el comportamiento de las mezclas de efluente con agua de proceso así evaluar los parámetros de control, la reutilización, y para la reducción de la huella ambiental hídrica. Detalles como el color del afluente, conductividad eléctrica, pH, temperatura en la planta, permitieron establecer cualitativamente con controles estadísticos a detallar en la tercera fase, los controles de reducción de la huella ambiental hídrica y la reutilización del efluente.

En la tercera fase del proyecto, se determinó a partir de un análisis cualitativo estadístico, el comportamiento de cada parámetro en la mezcla de aguas. Esto a través de análisis fisicoquímicos que ya se monitoreaban en la empresa por los departamentos de calidad respectivos, se pudo determinar los valores de las variables establecidas y a la vez se propuso un porcentaje de mezclas volumétricas para establecer el valor más adecuado para la reducción de la huella ambiental hídrica. En esta fase, la evaluación fue en laboratorio y se determinaron a estas mezclas establecidas, desde el 25% hasta el 10% en volumen de efluente, los mismos parámetros tratados en ambos flujos individuales para concretar el comportamiento más adecuado.

En la cuarta fase, se establecieron los valores de los parámetros fisicoquímicos a controlar, y por lo tanto, se presentaron los resultados obtenidos para la reducción de la huella ambiental hídrica y de reutilización que se deben manejar. Para esta última fase, se estableció un análisis simple financiero a partir de una base de consumo domiciliar de agua en sistema internacional ( $m^3$ ). Con esto se logró obtener a partir del porcentaje evaluado para la reutilización en el sistema un valor aproximado en moneda local (Q.) y extranjera (\$.), considerando a la tasa de cambio en que se realizó el cálculo, cuanto monetariamente se puede lograr de ahorro en consumo de agua de proceso por el uso del efluente de la planta como materia prima reutilizada. Esto se complementó al cálculo del valor de la huella ambiental generada por el consumo normal de agua y al finalizar el proyecto con los valores volumétricos de agua potable sin el flujo de reutilización y con el flujo de reutilización.

## ALCANCES

Para fines del proyecto de investigación, el trabajo se delimitara de la siguiente manera:

Descriptivo:

- Se definirán conforme a la planta de tratamiento de aguas de tipo residual industrial en la empresa de procesamiento de prendas textiles de lona, las diferentes operaciones unitarias necesarias para llevar a cabo la operación de transformación del afluente a efluente. Esto conforme el proyecto se establece como un alcance descriptivo de los distintos sub procesos de cada etapa y los equipos, materiales, tiempos y cantidad de evaluaciones en campo que son requeridas para supervisar y garantizar que el equipo de trabajo está funcionando. A su vez se describirán, a partir del análisis en campo, cada una de las características fisicoquímicas y biológicas del efluente para establecer los criterios de operación necesarios del tratamiento del agua residual.

Tomando en consideración que es un proyecto descriptivo se integran como parte de los alcances lo siguiente:

- Se estableció únicamente que el desarrollo del mismo sea para el agua que está siendo tratada por la planta que se encuentra dentro de las instalaciones de la empresa y en la ciudad capital de Guatemala.
- Debido a la naturaleza del proceso de tratamiento, el agua tratada tiene como base fundamental de transformación el sistema de operación por lodos activados; por lo tanto, el proceso evaluado será únicamente para

establecer los parámetros de descarga de plantas con iguales características operativas.

- El proyecto estará siendo enfocado únicamente para la población que se encuentra dentro de las instalaciones de la empresa, esto con el fin de segmentar la población objetivo a beneficiarse con el proyecto de reutilización.
- Es responsabilidad del investigador de este proyecto llegar a determinar únicamente dentro de las instalaciones de la empresa la viabilidad del proyecto.
- Para el proyecto de investigación, el tiempo estimado será para el año 2014, en el cual se ha realizado la formulación de este proceso investigativo. Esto con el fin de establecer a partir de la información obtenida los resultados a futuro, tomando en cuenta las condiciones en las cuales se encuentren las instalaciones y así delimitar la cantidad de datos a evaluar.
- Los espacios a cubrir dentro del proyecto de investigación se delimitan a las instalaciones internas de la planta de tratamiento de aguas residuales y los puntos de abastecimiento del agua de proceso.
- Dentro del alcance del desarrollo de este proyecto de investigación se tomaron como parte de las bases de la ejecución del mismo, los conocimientos de los cursos de la maestría de Energía y Ambiente de: Gestión y Tratamiento del Agua, Métodos Estadísticos para la Monitorización de la Contaminación Ambiental, y Formulación, Gestión,

Seguimiento y Evaluación de Proyectos Energéticos (este último como base para el cálculo financiero de ahorro por uso del efluente tratado).

### **Unidad de análisis**

La investigación comprenderá la evaluación y determinación de cumplimiento de parámetros de agua tratada para reutilizarse en un proceso productivo interno, por lo cual se puede determinar que las unidades de análisis son:

- Humanos: colaboradores y empleados dentro de las instalaciones de la empresa de manufactura de pantalones de lona.
- Materiales: equipos de abastecimiento de agua para proceso, equipos auxiliares de mantenimiento de nivel de agua para proceso, etc.

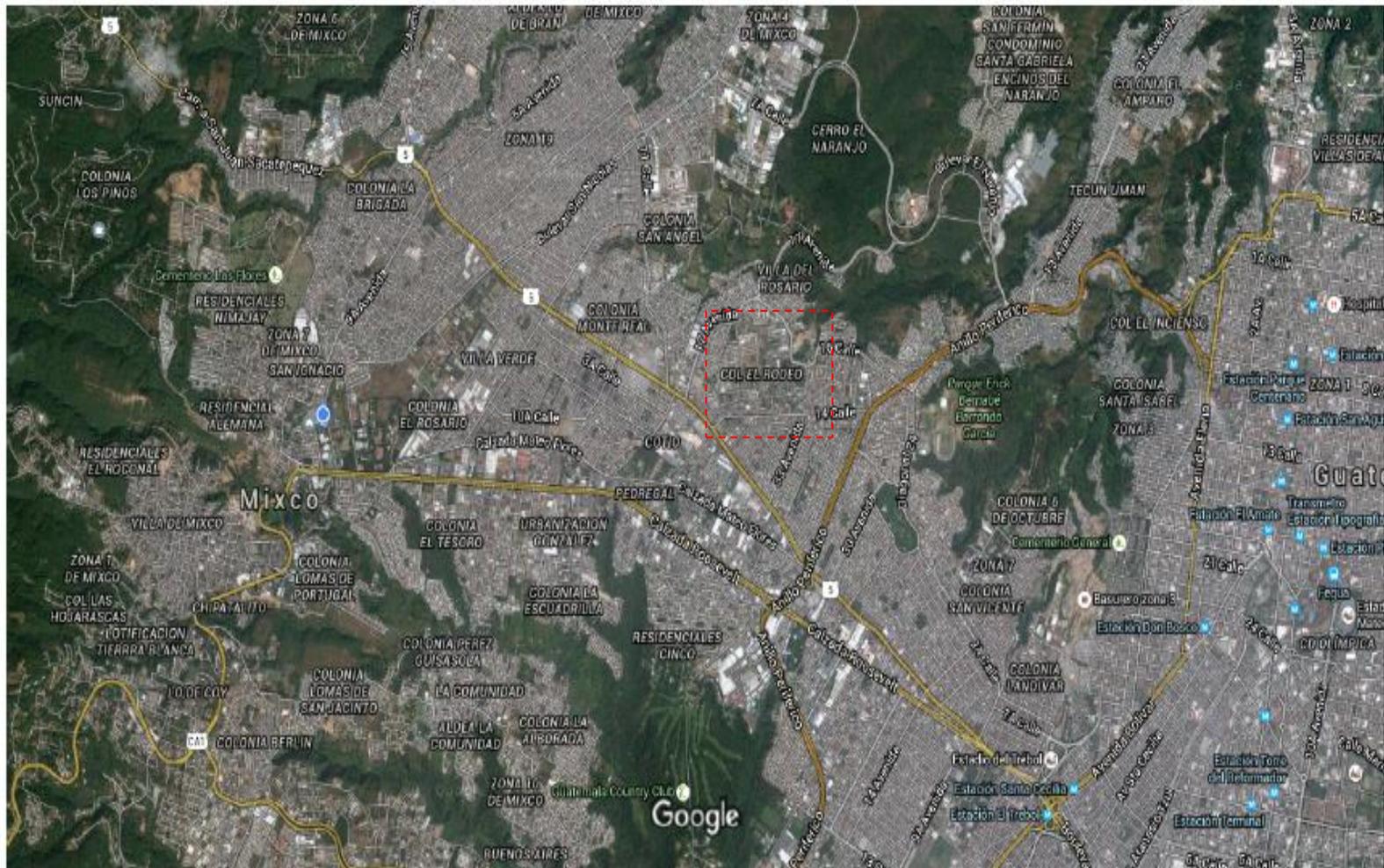
### **Ámbito geográfico**

El proyecto se desarrollará completamente dentro de las instalaciones de la empresa de manufactura de prendas textiles de lona, ubicada dentro de los límites territoriales de Guatemala. La ubicación geográfica exacta de la empresa es en la zona 07 de Mixco, entre las arterias viales de la calzada Mateo Flores y la Calzada San Juan, por lo que su ubicación de acuerdo a la, la ubica en la descripción de la Cuenca María Linda. Esta da cobertura de abastecimiento a 27 municipios, correspondientes a 4 departamentos como Guatemala, Sacatepéquez, Escuintla y Santa Rosa. (Suárez, 2011). En el Anexo 3 se describe la ubicación de la cuenca María Linda en los municipios que se desenvuelve.

**Período histórico**

El proyecto se desarrollará en los meses de julio a septiembre de 2014, siendo únicamente para la ciudad de Guatemala.

Figura 2. Ubicación geográfica de instalaciones de empresa evaluadas, marcadas por el recuadro de color rojo



Fuente: Googlemaps, Noviembre, 2015



## **INTRODUCCIÓN**

Todo proceso de manufactura de productos textiles posee diversas etapas para su elaboración. Dentro de la industria de fabricación de prendas de lona, la operación se extiende en algunas como el corte de la tela, el ensamblaje de las piezas cortadas, hasta procesos de mayor control y detalle como lo pueden ser el lavado de la prenda o el acabado de detalles con maquinaria especializada.

En el caso específico de pantalones de lona, el lavado es un proceso muy importante debido a que en el mismo se hacen mejoras, para incrementar la calidad y detalle del pantalón para la venta final hacia los consumidores. Durante el proceso, se hace uso de diferentes químicos que mejoran la calidad del lavado, por consiguiente, las características del agua que se descarga son variadas. Debido a ello las empresas se enfocan, en poder tratar de manera eficiente este tipo de aguas residuales.

El presente trabajo de investigación se centra en el problema de una planta de manufactura de pantalones de lona que posee una descarga de agua tratada hacia el sistema de drenajes municipales sin ser aprovechado el caudal que se genera para otros procesos o actividades internas. El proyecto propone: al realizar un análisis efectivo del efluente, que el mismo pueda ser utilizado nuevamente en el proceso de lavado para la prenda de lona, en este caso un pantalón ya ensamblado.

El reúso del agua tratada para el proceso de lavado, generaría ahorros internos para la empresa; también mitigaría la huella ambiental proveniente del abastecimiento por las fuentes municipales de agua; otra actividad de mejora sería el decremento de costos en su consumo energético por el bombeo del vital líquido. A nivel externo, el uso del efluente permitirá que los mantos freáticos del área se puedan reabastecer de manera continua y que estos no lleguen a afectar la disponibilidad del recurso necesario para las comunidades vecinas e inclusive que la misma planta de manufactura tenga un desabastecimiento prematuro de su insumo principal.

Los resultados que se esperan de este proyecto de investigación sería la confirmación de las características específicas del efluente de la planta, ya que son suficientes para soportar la demanda de agua en el proceso de lavandería; a su vez, se espera determinar los parámetros mínimos necesarios de control del agua, así como la cantidad mínima requerida para implementar en el proceso.

El esquema de solución incluirá detalle de la cantidad de agua disponible, a partir del proceso de tratamiento, así como de los parámetros de control necesarios, tanto en la etapa de lavado como en el punto de tratamiento de la planta. Esto permitirá establecer como referencia, los tiempos de uso del efluente dentro del proceso y sus puntos de uso máximo y mínimo a lo largo de un período completo de trabajo.

En el capítulo I se describirán los fundamentos teóricos para el proceso de tratamiento de aguas residuales de tipo industrial. Se presentarán como parte del capítulo las diferentes etapas mínimas requeridas para un proceso de

transformación de la calidad de un agua contaminada, por una operación de manufactura a parámetros aceptables de descarga hacia una fuente natural receptora o al sistema de alcantarillado municipal, acorde a la regulación nacional vigente como lo es el Acuerdo 236-2006 del país.

En el capítulo 2 se describirá en detalle la identificación y selección de los parámetros de calidad fisicoquímicos y microbiológicos. Estos procesos constituirán la base para la selección de los parámetros de control para la reutilización del efluente de la planta. Esto incluirá que en el capítulo se desarrollen evaluaciones en campo de la calidad del agua al ingresar al equipo de lavado, siendo de procedencia de la fuente original de abastecimiento; también se realizará el mismo proceso descrito en el capítulo para la fuente de agua tratada de la planta interna.

El capítulo 3 constará de la evaluación y descripción de las características establecidas en el capítulo anterior como determinantes para la reutilización del efluente. En el mismo se describirán los distintos análisis realizados para establecer los criterios mínimos de control para la planta de tratamiento de aguas de la empresa, así como los valores mínimos esperados que deben ser analizados en un período específico, para garantizar que el efluente con su porcentaje de mezcla garantice un uso adecuado en el proceso.

En el capítulo 4, se presentarán los resultados obtenidos del análisis de las variables anteriormente establecidas en el capítulo 3. Se describirán cuáles fueron los parámetros que se obtuvieron como resultado final de cada etapa del proceso del presente proyecto, tanto en el área de proceso de lavado como en el de tratamiento del afluente, proveniente de la planta de lavado. Se describirán las alternativas de uso y cuál es su capacidad de implementación, acorde a lo visto en los análisis de laboratorio practicado a las muestras de campo extraídas.

En el capítulo 5 se presentará descriptivamente todo el proyecto de reutilización del efluente de la planta de tratamiento hacia el sistema de lavado de prendas. En el mismo se detallarán los valores de los controles fisicoquímicos del agua y las proporciones de mezcla que deberán manejarse al momento de realizar la reutilización del efluente de la planta.

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. Impacto ambiental**

El planeta Tierra ha experimentado con el paso del tiempo innumerables cambios debido a la actividad antropogénica. Los recursos naturales y no naturales han formado parte de este incesante intercambio de actividades que dan como resultado una alteración en el estado natural del sistema terrestre de desarrollo biológico y no biológico que se ha establecido en la litosfera.

### **1.2. Historia**

Los distintos impactos generados por el mismo accionar del hombre se remontan a no menos de 200 años de historia. A partir de los años 1700 la población estaba empezando a experimentar cambios importantes en su avance tecnológico con la aparición de la explotación de minerales para su propio beneficio (Impacto Ambiental, 2012). Esto implica un aumento no solo de la necesidad del uso de los recursos, conlleva una gama de cambios drásticos en la forma de vida del ser humano, como un aumento de demografía en todos los países, necesidad de recursos inmediatos para la sustentación de alimentos, bienes, vestuario, enceres básicos, etc.

Con la llegada de la Revolución Industrial, se acentúa una verdad imposible de dejar de lado, el impacto negativo de los residuos generados por la misma industria que nos está abasteciendo de mejoras de calidad de vida. De acuerdo con el documento de Impacto Ambiental “El Planeta Herido”:

*“La sobreexplotación de los recursos es una realidad a lo largo de nuestra historia reciente. Las economías emergentes (China, India, etc.) luchan por conseguir situarse a la altura de los países más desarrollados. El consumo se dispara y el nivel de vida aumenta cada vez más en los países industrializados. La humanidad sigue creciendo y el aumento de la población causa un gran impacto ambiental sobre la Tierra y sobre los recursos finitos de ésta” (2012, pág. 132)*

Los seres humanos se han vuelto artífices de nuestra propia destrucción, ya que la sobreexplotación de los recursos conlleva a generar impactos negativos severos, los cuales se empiezan a manifestar en las diferentes formas climáticas existentes, gobernadas en principio básico por la presión y temperatura global.

### **1.3. Tipos de impactos ambientales**

A lo largo de la historia, los impactos generados por el hombre, se han presenciado en todos los recursos explotados para la subsistencia y desarrollo del ser humano en el planeta. Es importante entender que un impacto ambiental es una alteración del medio en donde uno o un grupo de seres vivos se interrelaciona y a la vez obtiene sus recursos de desarrollo y subsistencia (Gestión de Recursos Naturales, 2010)

Los impactos ambientales se pueden clasificar por su origen en:

- Impactos debido al aprovechamiento de los recursos.
- Impactos debido a la contaminación provocada por un proceso.
- Impactos debido a la ocupación de un territorio.

También los impactos ambientales pueden clasificarse de acuerdo a sus atributos, siendo estos descritos por la Gestión de Recursos Naturales (2010):

- Positivos o negativos
- Indirectos o directos
- Acumulativos
- Sinérgico
- Residual
- Temporal o permanente
- Reversible o irreversible
- Continuo o periódico

Es importante mencionar que para los descriptores de impactos ambientales, cada forma de acción o actividad generada por el ser humano es una forma de alterar el estado del medio en que se desenvuelve la sociedad. Principalmente los recursos circundantes y directos son los que se ven afectados o “impactados” en el medio, por lo que es normal ver que estos tengan síntomas de cambios en su estructura y/o apariencia.

Los recursos naturales son principalmente afectados por los impactos generados, es por ello que son los más susceptibles. Específicamente el agua es uno de los recursos en los que se degrada con mayor facilidad y su importancia en todo nivel biológico y energético para el desarrollo del ser humano es importante poder entender.

El agua es uno de los bienes más preciados con los que se cuenta en la tierra. Formando una capa de vida y desarrollo de ecosistemas cubre aproximadamente el 70% de la capa terrestre. Sin embargo la misma solo es

disponible para consumo de seres vivos en un 3%. Para los seres humanos, la disponibilidad de la misma se reduce a casi un 0.01% de este último porcentaje, ya que no toda esta disponible a nivel superficial. No solamente es fuente de vida, también la misma es fuente de desenvolvimiento tecnológico y energético ya que se utiliza para mucho procesos de tipo industrial.

Como impacto ambiental, el agua se ve severamente afectada por las descargas que continuamente reciben los cuerpos como lagos, ríos, riachuelos y reservorios subterráneos. En términos generales, toda industria que necesite energía y lo realice por las vías tradicionales de consumo energético de comburentes para transformación de agua líquida a vapor, genera descargas importantes de residuos directos a un flujo hídrico cercano.

Algunas de las industrias que presentan mayores niveles de impacto ambiental como generación de aguas residuales son, de acuerdo a Rodríguez, C. (2010)

- Siderúrgicas
- Ganaderas
- Textiles
- Generación de Energía a través de vapor

Las industrias textiles de prendas de vestir son parte de un sector importante de desarrollo laboral en Guatemala. De acuerdo al presidente del Programa Sobre Competitividad y Desarrollo Sostenible (2010, pág. 06):

*“En Guatemala, el sector textil y confección cuenta con una importante participación del capital nacional y extranjero. No obstante, esta industria experimenta una alta concentración de mercado dado que el 88% de las exportaciones tienen como destino los EE.UU, así como la presencia de*

*dos subsectores: uno enfocado en la producción nacional formado por pequeñas y medianas empresas (PYMEs) y otro volcado hacia las exportaciones formado por empresas grandes”*

Por ser una industria muy demandante, las empresas generan modificaciones de procesos para satisfacer la demanda que deben cumplir a su cliente final. Esto implica que el sector, no solo es líder en la producción de las prendas de vestir, también ofrece un producto diferenciado y generalmente se le llama este tipo de productos de “paquete completo”. Esto quiere decir que se incluyen acabados y procesos en cada una de las prendas diseñados al gusto de cada cliente que se interesa en el sistema de operación y producción regional.

Teniendo como referencia la capacidad de exportación a un mercado tan demandante como lo es Estados Unidos, como la capacidad de las empresas de poder abastecer el mercado demandante de un producto diferenciado, se puede concluir como de alto nivel de exigencia la satisfacción de la necesidad.

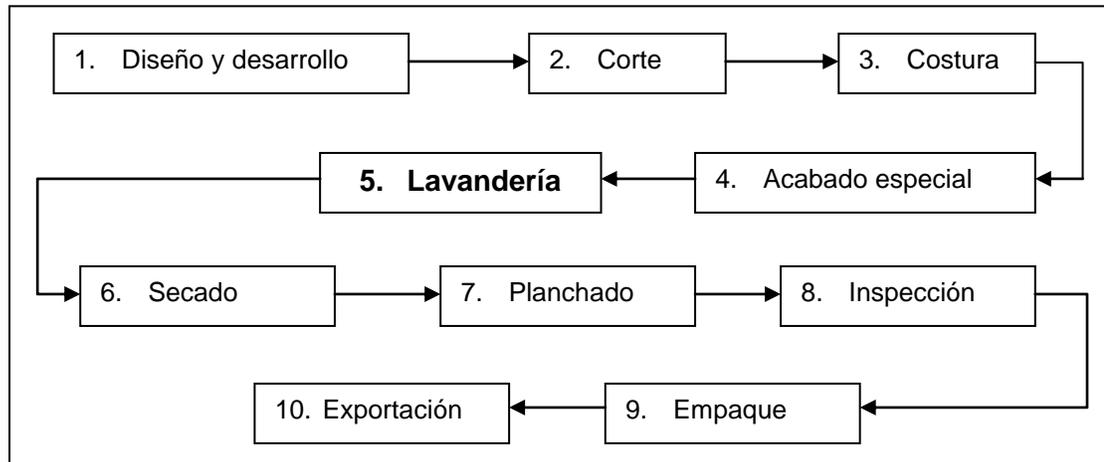
Conociendo la alta tendencia consumista del país cliente, la calidad de los recursos debe satisfacer los requisitos de producción necesarios, los cuales en muchos de los procesos conlleva a una generación de residuos igual de alta y considerable. Esto en todos los niveles de la cadena de producción. En el caso de las prendas de lona, la operación es variada y compleja.

## **1.4. Proceso de fabricación de prendas de lona**

### 1.4.1. Proceso general

De acuerdo con Mustafa Radi (2009): *“son diez los niveles que constituyen un esquema usual del proceso productivo de la confección de prendas de lona, desde el diseño hasta la distribución del producto”*. En la Figura 2 se observa como el proceso de desarrollo de un pantalón se hace de acuerdo a lo descrito anteriormente por Radi, M. (2009):

Figura 2. Esquema de la secuencia del proceso productivo



Fuente: Rey, Carlos Alvarado, 2006. (pág. 53).

La operación de lavandería es el proceso del cual se parte las medidas de mitigación iniciales de un proceso de gestión de aguas residuales, es por ello que la evaluación adecuada de las descargas que se realizan en la misma operación es importante

#### 1.4.2. Descripción de cada área de proceso

Las áreas de proceso en una empresa de manufactura de pantalones de lona (como prendas textiles) son:

- *Diseño y Desarrollo*: este es el depto. Encargado de la elaboración de los diferentes estilos a producir en el área completa operativa de una planta de fabricación de prendas de lona como pantalones. Generalmente estos departamentos son computarizados para establecer patrones únicos por tipos de estilos.

- *Corte.* Los patrones diseñados se pasan al área donde la tela se encuentra lista para poder ser cortada. El corte se maneja a partir de maquinaria y personal calificado que permite que se haga un trazado y preparación de piezas acorde a un estilo específico. Existen operaciones dentro del corte de la tela como azorado, o tendido que garantizan que las piezas se ajusten al diseño establecido.(Rivera V., 2006)
- *Costura.* Una vez que los rollos de tela han sido cortados en las correspondientes piezas, éstas se trasladan a las plantas de costura para su respectivo ensamble y transformación en piezas armadas.
- *Acabados especiales.* Al salir las piezas cocidas y ensambladas, estas pasan a una etapa de adecuación y formación de estilo, conocido como acabados especiales. En el mismo, la pieza completa de lona se hace pasar por diferentes micro procesos de mejora de calidad, textura y diseño
- *Lavandería.* *“Cuando las prendas van saliendo de las diferentes áreas de acabados especiales según la secuencia del estilo a procesar, éstas son trasladadas al área de lavandería para provocar abrasión mediante piedra a las prendas rígidas (prendas cuya lona ha sido sometido a un proceso de acabado especial únicamente) y para neutralizar los diferentes químicos utilizados en acabados especiales o efectos conseguidos para dar otro tipo de apariencia”* (Rey A., 2006).
- *Secado.* Al salir las piezas ya lavadas, se pasan a una etapa de acondicionamiento forzado con ciclos térmicos diferenciados, conocido como la etapa de secado. Esta es una etapa importante porque atenúa

las diferentes etapas de acabado anterior y empieza presentarse el pantalón ya con sus características formales.

- *Planchado.* La etapa de planchado consiste en adecuar la forma del pantalón a los diseños y patrones del acabado final programado, tal como arrugas o líneas de atenuación de la misma prenda (Arrivillaga C., 2004).
- *Inspección.* Este punto del proceso de elaboración de la prenda de lona es en donde se corrobora la fiabilidad de las etapas anteriores al diseño inicial presentado. Se verifica en la inspección la forma del pantalón, textura, color, estado y desempeño a pruebas de calidad que buscan garantizar que el producto final es el solicitado por el cliente en la programación inicial.
- *Empaque.* Una vez que la prenda ha sido examinada y aceptada bajo los estándares de calidad esta se pasa a una etapa de almacenamiento, precediendo su empaquetado por una línea operativa dedicada a clasificar las piezas conforme al cliente con el diseño específico.

#### 1.4.3. Proceso de lavado (Características)

El agua de lavandería, como parte importante del proceso productivo, debe cumplir características importantes como los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de proceso requeridos para obtener un producto adecuado. Actualmente dentro del proceso de lavado de prendas textiles no se conoce que existan criterios definidos para el marco operativo de las distintas empresas de industria textil.

Sin embargo, según la COGUANOR (NGO 29001, 2001; pág. 02):“el detalle de agua para consumo humano, el cual es el establecido para uso en cualquier tipo de manufactura textil, el agua debe poseer como mínimo los siguientes criterios”:

- *Color: 5 U. PtCo*
- *Turbidez: 5 NTU*
- *Cloro residual: 0.50 ppm máximo límite aceptable (mg/L)*

Es importante mencionar que el cloro residual es un parámetro de la normativa, sin embargo, dentro de los límites de operación, este debe de ser 0 (mg/L o ppm) (*Fuente: proporcionado por personal interno de la empresa evaluada*)

## **1.5. Gestión de aguas residuales en la industria**

### 1.5.1. Descripción general de la gestión

La gestión de aguas residuales es uno de los temas muy prominentes que ha tenido auge en los últimos años. Referenciado específicamente para aguas residuales, excretas y aguas grises (aguas de lluvia), las anteriores descritas se han vuelto materia prima con muchos beneficios para la agricultura y la acuicultura en las naciones industrializadas y las naciones en vías de desarrollo (World Health Organization, 2006). Esto demuestra parte de lo que la gestión de aguas busca como un balance entre la generación de impactos negativos e impactos positivos para el ambiente.

La gestión de aguas es una herramienta industrial utilizada hoy en día para maximizar la capacidad de los recursos hídricos disponibles, haciendo eco de lo que se promulga con el desarrollo sostenible, el cual describe el aprovechamiento y uso adecuado de los recursos actuales de tal manera que estos mismos puedan estar disponibles para ser utilizados por las futuras generaciones que hoy en día se están preparando para ser los líderes de nuestro mundo

Como tal, la gestión de aguas residuales abarca aspectos que conciernen en procesos industriales, rurales, agronómicos, urbanos, etc. En esencia la gestión de aguas residuales o, descritas de manera generalizada para todo recurso, la gestión ambiental según el Ministerio de Ambiente y Rural y Marino (2009, pág. 7, 294) se describe como:

“Una estrategia para abordar las emisiones de residuos (o su prevención) de las actividades de la industria, teniendo en cuenta las condiciones locales, mejorando con ello el comportamiento integral de cualquier proceso. Permite a las empresas:

- Mejorar la comprensión de los mecanismos de generación de contaminación de los procesos de producción.
- Tomar decisiones equilibradas acerca de medidas medioambientales.
- Evitar soluciones temporales e inversiones sin rendimiento.
- Actuar de forma adecuada y proactiva con respecto a los nuevos avances medioambientales.”

La gestión ambiental es una forma importante para establecer parámetros de control, acción y ejecución de las operaciones de una empresa, garantizando

que se utilicen de manera adecuada los recursos disponibles y entablando acciones que permitan definir procesos preventivos y correctivos a la generación de residuos.

Para el caso de las aguas residuales, la gestión abarca la capacidad de una empresa para realizar una transformación del agua que descarga con condiciones totalmente diferentes a las que le fue suministrada, con características similares a las que fue provista para su uso y aprovechamiento (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009).

Dentro de la gestión de aguas residuales, la mayor herramienta de operación es el tratamiento de las mismas para mejorar su calidad de descarga. En esencia, la tarea de la gestión es generar un sistema unificado de recursos con uso adecuado y capaz de cumplir con los requisitos legales regionales para el uso de las materias primas y fuentes naturales disponibles, así como la oportunidad de mejorar la calidad de los residuos o emisiones generadas debido al proceso productivo, mitigando el impacto negativo asociado a la descarga directa de estos mismos al medio en donde se está desarrollando la operación (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009).

En el proceso del tratamiento de aguas residuales es importante que se lleven a cabo varias etapas, ordenadas de operaciones unitarias, para garantizar que la gestión de su uso sea la mejor posible.

### 1.5.2. Caracterización de aguas residuales:

El sistema de tratamiento de un agua residual se inicia conociendo cuáles son las características del afluente a tratar. Según lo descrito en el Acuerdo Gubernativo de Guatemala para el control de descarga de aguas residuales (*Gobierno de Guatemala 2006*) en su Artículo 16 (ver Tabla I) algunos de los parámetros a evaluar para toda agua residual a tratar son:

Tabla I. **Algunos parámetros de control para caracterización de aguas residuales**

Temperatura (°C)	pH (Potencial de Hidrogeno)
Materia Flotante	Color (U PtCo)

Fuente: Gobierno de Guatemala, 2006

Tabla II. **Parámetros de calidad de descarga de los efluentes, según Artículo 20 del Acuerdo Gubernativo**

Parámetro	Dimensionales	Límite máximo permisible
Temperatura	°C	TCR ± 7°C
pH	Unidades de potencial de hidrogeno	6 a 9
Color	Unidades de Platino Cobalto (U PtCo)	500

Fuente: Gobierno de Guatemala, 2006

Estos se miden para cualquier tipo de industria que desee iniciar un proceso de tratamiento de aguas residuales. Es importante mencionar que dependiendo la procedencia de la industria es que se puede enfocar el sistema de tratamiento a utilizar para la mejora de la calidad del agua residual. (Gobierno de Guatemala, 2006) En el Anexo 4, se describen los parámetros completos de control de descarga de agua residual del Acuerdo Gubernativo conforme al Artículo 20 (Gobierno de Guatemala, 2006)

El Acuerdo Gubernativo(Gobierno de Guatemala, 2006) rige a todo ente que genere dentro de su proceso aguas residuales de dos tipos, especiales y domesticas, las últimas comúnmente conocidas como aguas negras. Debido a que en ambos tipos de agua residual se presentan las características fisicoquímicas descritas anteriormente, este Acuerdo permite controlar de manera general a la industria guatemalteca en las descargas que genera por sus actividades operativas diarias.

### 1.5.3. Tratamiento de aguas residuales

Las características de los diferentes efluentes posibles en las industrias en general, las reglamentaciones de referencia vigentes, las sanciones posibles en caso de una descarga no permitida son las variables que permitirán tomar la mejor decisión para el tratamiento de un agua residual. (CALIDAD, 2008)

En los tratamientos de aguas residuales, generalmente se enfocan tres tipos de diferentes operaciones, las cuales se describen universalmente como tratamientos primario, secundario y terciario. Muchos de estos son generalizados en su uso para las diferentes industrias, lo que se concluye en cada operación unitaria que se puede realizar individualmente por tipo de tratamiento (World Health Organization, 2006). Estos tipos de tratamiento también se subdividen en operaciones específicas:

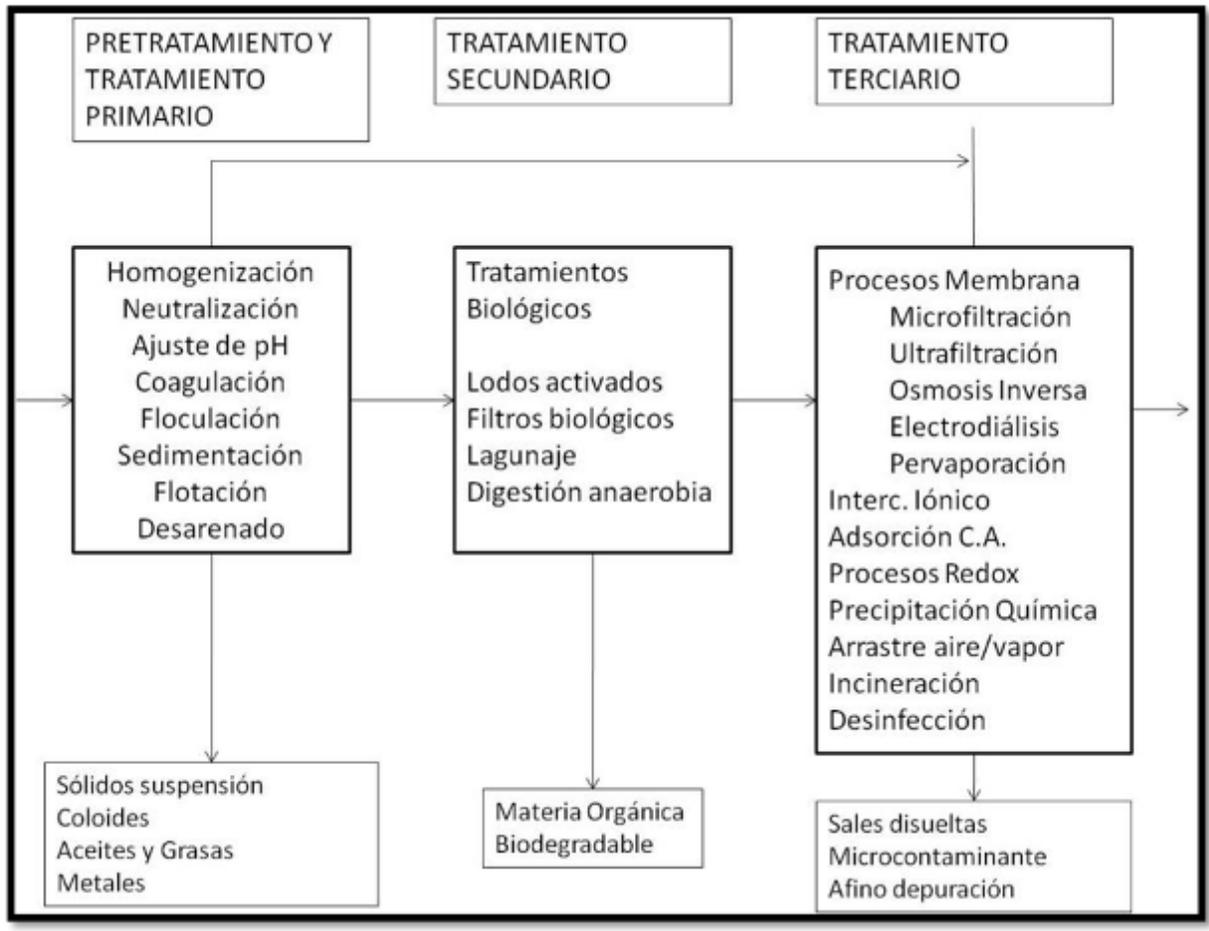
- Pre tratamientos y tratamientos primarios: tienen por objeto la eliminación de sólidos en suspensión, coloides, metales pesados y aceites y grasas. (Dorado Valiño, et. al., 2006)
- Tratamientos secundarios: Se elimina materia orgánica biodegradable. (Romero Rojas, 1999)
- Tratamientos terciarios: son sistemas de refinación y clarificación del efluente final (Dorado Valiño, et. al., 2006).

Según lo presentado por la Association Taiwan Turkey Project (2010), estos tres procesos también pueden ser, a veces, tratamientos terciarios:

- Procesos de membrana

- Procesos de intercambio iónico
- Procesos de adsorción con carbón activo
- Procesos de incineración
- Procesos electroquímicos

Figura 3. Esquema de un proceso de tratamiento de aguas residuales.



Fuente: (CALIDAD, 2008)

## 1.6. Tipos de tratamientos de aguas residuales

### 1.6.1. Tratamientos físico-químico o primario:

Según Romero Rojas: “*Con la denominación de tratamientos físico-químico de aguas residuales industriales se engloban una serie de tratamientos primarios que se suelen aplicar frecuentemente en las industrias.*” (pág. 125)

- Homogenización de efluentes: Con la mezcla y homogenización de las diferentes descargas realizadas por los procesos operativos de una planta se consigue minimizar las variaciones del flujo del afluente a tratar. Generalmente se utilizan tanques de de agitación permanente gradual para este tipo de procesos.(CALIDAD, 2008)
- Cribado: tomando de ejemplo las aguas negras, este paso se utiliza para retirar todo material particulado de gran tamaño que puede interferir en los diferentes pasos posteriores de tratamiento del caudal. Generalmente se utilizan rejillas o filtros de rejillas para realizar esta separación.(Romero Rojas, 1999)
- Neutralización: de acuerdo a lo descrito por el documento redactado por ANALIZA CALIDAD (2008):

“La neutralización (tratamiento ácido-base del agua residual) puede utilizarse para los siguientes fines:

- Ajuste final del pH del efluente último antes de la descarga al medio receptor: 5,5-9.0

- Antes del tratamiento biológico: pH entre 6,5-8,5 para una actividad biológica óptima.
  - Entre otros.”
- Coagulación-floculación: De acuerdo a lo descrito por Torres (2001) este proceso tiene un fin particular, descrito cada uno de la siguiente forma:
    - La coagulación consiste en la desestabilización de las partículas coloidales, empleando productos químicos (coagulantes) que neutralizan la carga eléctrica de los coloides;
    - La floculación consiste en la agrupación de las partículas coloidales desestabilizadas, formando agregados de mayor tamaño denominados “flóculos”, los cuales sedimentan por gravedad.

Los principales compuestos químicos usados como coagulantes según lo descrito en CALIDAD (2008) y por Romero Rojas (1999) son:

- “Sales de aluminio: sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, policloruro de aluminio (polímero inorgánico de aluminio).
- Sales de hierro: cloruro de hierro (III), sulfato de hierro (III).
- Decantación. Se utiliza para la eliminación de materia en suspensión que pueda llevar el agua residual, eliminación de los flóculos precipitados en el proceso de coagulación-floculación o separación de contaminantes en un proceso de precipitación química (metales, p.e.)
- Filtración: La filtración es una operación que consiste en hacer pasar un líquido que contiene materias en suspensión a través de un medio filtrante que permite el paso del líquido pero no el de las partículas sólidas, las cuales quedan retenidas en el medio filtrante.

- Separación de fases: Separación sólido-líquido: separación de sólidos en suspensión. Se suelen emplear la sedimentación, la flotación (para sólidos de baja densidad) y la filtración. Separación líquido-líquido: la separación de aceites y grasas es la aplicación más frecuente.”

Tabla III. Descripción de etapas de tratamiento primario. Adaptación de CALIDAD, 2008

Cribado		Elimina materia flotante > 5mm
Homogenización de efluentes		Neutraliza unos con otros
		Caudales y concentraciones más homogéneas
Neutralización		Precipitar metales pesados
		pH apto para tratamiento biológicos
Coagulación - Flocculación		Elimina coloides y aglomerados de partículas
Separación de fases	Sólido-líquido	Proceso de clarificación
	Sedimentación	
	Flotación	
	Filtración	
	Líquido-líquido	Separación aceites y grasas
	flotación	

Fuente: Calidad, 2008

### 1.6.2. Tratamientos biológicos (secundarios)

Los tratamientos biológicos son procesos en los cuales por medio de actividad microbiana en presencia o ausencia de oxígeno, realizan la depuración de los contaminantes que se encuentran en un efluente de descarga. Generalmente los tipos de aguas residuales que se pueden tratar son todas aquellas que cuentan con una alta concentración de material orgánico disponible como agroindustria, alimentos, así como otros sistemas de manufactura como la papelera, textiles, entre otros. La versatilidad y capacidad de tratamiento de un

sistema biológico es muy impactante en la calidad de un efluente. (Torres, 2001)

Los procesos biológicos pueden ser de dos tipos principales: aerobios y anaerobios (en ausencia de aire); en general, para aguas con alta carga orgánica (industrias agroalimentarias, residuos ganaderos, etc.) se emplean sistemas anaerobios y para aguas no muy cargadas, sistemas aerobios. En la práctica pueden ser empleadas ambas técnicas de forma complementaria. (Torres, 2001)

De acuerdo con Rojas, R. (1999): “Los tratamientos biológicos engloban tanto el proceso de reacciones biológicas como la posterior separación de los fangos por decantación. Entre las variables a controlar en estos procesos se encuentran la temperatura (en anaerobios esencialmente), oxígeno disuelto, el pH, nutrientes, sales y la presencia de inhibidores de las reacciones.”

Existen por lo tanto, dos procesos importantes de tratamiento biológico:

- a) Tratamientos aerobios. de acuerdo a C. Cruz (et al, 2009): *“Los más empleados son el de lodos activados y tratamientos de bajo coste: filtros percoladores, biodiscos, biocilindros, lechos de turba, filtros verdes. En todos estos procesos, la materia orgánica se descompone convirtiéndose en dióxido de carbono, y en especies minerales oxidadas.”*
- b) Tratamientos anaerobios. de acuerdo a C. Cruz (et al, 2009): *“La descomposición de la materia orgánica por las bacterias se realiza en ausencia de aire, utilizándose reactores cerrados; en un proceso anaerobio, la mayoría de las sustancias orgánicas se convierte en*

*dióxido de carbono y metano. Los productos finales de la digestión anaerobia son el biogás y los lodos de digestión (compuestos no biodegradables y biomasa)”*

Estos tratamientos tienen tres aplicaciones principales las cuales son de uso en actividades a partir de:

- Residuos ganaderos.
- Aguas residuales industriales con alta carga orgánica.
- Lodos de estaciones depuradoras.

c) Tratamientos mixtos: los tratamientos de tipo mixtos biológicos, son aquellos en los que se utilizan cámaras independientes de aplicación de cepas biológicas termoactivas a partir de fuentes aerobias o anaerobias, para garantizar la remoción de ciertos contaminantes en un proceso en serie con la misma emisión hídrica contaminante (Cruz, C.; et. al., 2009)

### 1.6.3. Tratamientos terciarios

Los tratamientos terciarios son etapas de refinación que pueden incluirse antes o después de un proceso secundario de tratamiento de aguas residuales. De acuerdo con CALIDAD (2008): *“El objetivo principal de los tratamientos terciarios es la eliminación de contaminantes que perduran después de aplicar los tratamientos primario y secundario”*: Algunos de los procesos terciarios utilizados para refinar la calidad del efluente a descargar son:

- Arrastre con vapor de agua o aire: Estos son procesos para poder eliminar los compuestos orgánicos volátiles o COV's. (Torres, 2001)
- Procesos de membrana: de acuerdo a lo descrito por CALIDAD (2008): *“en estos procesos el agua residual pasa a través de una membrana*

*porosa, mediante la adición de una fuerza impulsora, consiguiendo una separación en función del tamaño de las moléculas presentes en el efluente y del tamaño de poro de la membrana”.*

- *Intercambio iónico:* proceso químico muy utilizado para afinar el agua que se entrega en procesos de generación de vapor a través de equipos como calderas o para equipos de intercambio de calor como torres de enfriamiento. Este sistema permite retirar ciertos cationes presentes en el agua así como algunas sales presentes. El intercambio se hace con compuesto complejos químicos selectivos. (Rojas R., 1999).
- *Adsorción con carbón activo:* también CALIDAD (2008) describió este sistema de tratamiento terciario como: *“Tratamiento para eliminar compuestos orgánicos. Se puede utilizar en forma granular (columnas de carbón activado granular: GAC) y en polvo (PAC)”.*
- *Procesos de reducción:* este proceso se describe brevemente con Pinzón E. (2010) como *“un proceso de tratamiento para reducir elementos metálicos en alto estado de oxidación (reducción de  $Cr^{6+}$  a  $Cr^{3+}$  mediante sulfito de sodio, tiosulfato de sodio, sulfato ferroso, etc.)”*
- *Precipitación química:* proceso fisicoquímico en el cual el principio de acción es la capacidad de generarse reacciones que promueven la deposición de productos que se han generado en el proceso reactivo, con muy bajos niveles de solubilidad. en algunos casos estos procesos deben tener una etapa posterior de filtración o decantación para la remoción del producto insoluble generado (Rojas R., 1999).

La variabilidad de los procesos terciarios es muy grande, todos estos pueden trabajar individualmente para la clarificación de un efluente que se requiere con propiedades específicas, así como ser una batería de procesos interconectados de tratamiento terciario, que permiten que un flujo de agua residual tratada tenga una calidad de descarga óptima. En la realidad industrial, estos paquetes completos no se utilizan debido a su alto costo de inversión e infraestructura muy grande requerida para su operación.

#### 1.6.4. Tratamiento de los fangos

En toda agua residual tratada utilizando un sistema biológico se genera un sólido remanente que se deposita. Esto se conoce como lodo o fango. Estos deben ser tratados adecuadamente. En cualquiera caso de tratamiento que se elija, estos tienen procedencia ya sea orgánica o inorgánica; es este punto el que define como debe ser tratado. (Dorado Valiño, et. al., 2006)

Los objetivos finales buscados en el tratamiento de los lodos son:

- Reducción de volumen: concentración del lodo para hacerlo manipulable.(Rojas & Jamilette, 2004)
- Reducción del poder de fermentación: reducción de la cantidad de agentes patógenos y bacterias reducidas por oxígeno, permitiendo de esta forma reducir la concentración de olores.(Rojas & Jamilette, 2004)

Las principales etapas en el tratamiento de los lodos son: espesamiento (concentración) por decantación o flotación, digestión (estabilización para fangos fermentables), deshidratación y evacuación. Según Monroy Mahecha (2010) se describen de la siguiente manera:

- *“Espesamiento: reducción de volumen en tanques de sedimentación o flotación, según la naturaleza del fango.*
- *Digestión: para fangos de naturaleza orgánica. En procesos de carácter aerobio (similar a fangos activos) o anaerobio (aprovechamiento energético).*
- *Deshidratación y secado: con el objetivo de una eliminación lo más completa posible del agua del fango.*
- *Evacuación: depósito o destino final de los lodos. Métodos principales: vertedero de seguridad; incineración con o sin adición de combustible; compostaje, descomposición biológica controlada, de la materia orgánica”*

### **1.7. Reutilización por la gestión de aguas**

La gestión de aguas residuales no solo implica un proceso de tratamiento específico para garantizar una mejora de la calidad del efluente descargado a un cuerpo receptor. También implica que se debe realizar innovaciones en los procesos para implementar acciones de mitigación en la operación continua de las empresas.

La Organización Mundial de la Salud – OMS – (1973) lo describe adecuadamente, en su reporte técnico no. 517 (1973): “Si el agua residual no es tratada y dispuesta de una manera adecuada, esta se puede volver un foco de contaminación y afección severa para la salud del ser humano. Puede causar devaluación de terrenos, deteriorar biológicamente sistemas acuíferos

enteros, ser puntos de infección e inclusive degradar áreas de recreación, en donde el cuerpo hídrico se está desarrollando.” (pág. 06)

Por lo tanto, para tener un sistema de gestión ambiental, enfocado a las aguas residuales, es necesario establecer programas de reutilización del efluente. Es muy importante entender que la reutilización debe estar enfocada a nivel industrial en la capacidad de las industrias de poder entregar una fuerte cantidad volumétrica de agua tratada de vuelta a una etapa de proceso o poder ser esta una fuente de alimentación para procesos diferidos ya sea dentro o fuera de la misma compañía donde se generan los flujos de afluentes. (Organización Mundial de la Salud, 1973)

La reutilización debe enmarcar características específicas de control y proceso que cada industria individualmente debe establecer. Esto permite que la gestión cobre una mayor fuerza en su etapa de tratamientos de los afluentes generados por la operación de las empresas. Como resultado se pueden obtener sistemas interconectados internamente y externamente haciendo un mejor uso del recurso hídrico disponible y mitigando de manera considerable la huella ambiental generada por el uso sin conciencia del agua disponible en área donde es muy escasa o en algunos casos no existe su acceso inmediato. Esto compromete a la gestión a ser lo más precisa y objetiva posible en la generación de opciones de reutilización en las distintas etapas productivas de una empresa.

## **1.8. Huella ambiental en los procesos de reutilización de recursos**

La huella ambiental es la medida que se utiliza a nivel mundial para cuantificar cuánto de los impactos generados por un proceso están afectando los recursos disponibles para el desarrollo de un producto o servicio. En esencia, la huella ambiental se puede clasificar en como una herramienta de cálculo que permite establecer en sub-categorías (huella hídrica, huella de cambio climático, huella de carbono, entre otras) la capacidad de identificar el efecto de los impactos generados por la industria. (Gas Natural Fenosa, 2013)

En el caso de la huella hídrica, esta se define de acuerdo a la ISO 14046: (2014) como: *“Los impactos generados por las actividades que se desarrollan con el uso de los recursos hídricos en una empresa o industria. La huella hídrica permite entre diferentes acciones, identificar los usos del agua y los cambios de calidad en la misma, establecer una relación modular (sub-etapas de su uso para establecer la huella hídrica total) entre otras acciones que permiten definir como se esta gestionando el uso del recurso en la empresa”*.

Por ser la huella hídrica, y en consecuencia la huella ambiental, un indicador del desempeño ambiental de una empresa, estas se miden de acuerdo al recurso en evaluación vs. El producto o servicio que se está prestando. Por ejemplo, en el caso de la huella hídrica, el impacto se mide en m<sup>3</sup> por unidades de producción como kilogramos, toneladas, etc. (Gas Natural Fenosa, 2013)

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de proyecto**

Este consistirá en el diseño investigativo cualitativo para determinar el reúso del efluente tratado en una línea de operación de lavado en una empresa de manufactura de prendas de lona. Como tal el tipo de estudio será de carácter descriptivo, ya que se definirán a partir de los datos de control, los parámetros operativos que serán necesarios observar durante las etapas de la propuesta de operación para reutilizar el efluente. El alcance esperado de este tipo de investigación es el establecimiento de una serie de parámetros que permitan determinar la cantidad en volumen de agua tratada que se puede reutilizar y de esta manera reducir la huella ambiental hídrica en el proceso de lavandería, al generar el aprovechamiento de un recurso interno disponible, cumpliendo parámetros de control fisicoquímicos que deberían estar siendo monitoreados en la parte operativa del proceso de manufactura de la prenda de lona donde se realizara la implementación del sistema

### **2.2. Alcance del proyecto**

El proyecto de investigación tendrá como alcance la operación de la lavandería de una planta de manufactura de prendas de lona. Se evaluara el agua de alimentación de dicho proceso y se analizara conforme a los criterios nacionales regulados en la Acuerdo Gubernativo 236-2006 para aguas residuales tratadas y en la COGUANOR 29001, para agua potable; las características que esta agua posee serán la referencia para evaluar los parámetros del efluente entregado

por la planta de tratamiento interna de la empresa. Posteriormente, el efluente se compara con el agua del proceso de lavado para establecer inicialmente los parámetros de control que deberán ser controlados al momento de ingresar este efluente al proceso de producción, conforme al objetivo principal de este proyecto.

### 2.3. Fases del proyecto

- Fase 01: Se recolectaron muestras del agua cruda en el equipo de lavado. Esto se realizó en cada visita a planta tomando una cantidad volumétrica del agua que ingresaba al equipo de 1 litro como mínimo para evaluar los parámetros fisicoquímicos de la misma al momento de ingresar al proceso, pero antes de su uso como tal en el equipo, para analizar sus parámetros y establecer cuáles fueron sus valores promedio. En base a los valores de datos específicos fisicoquímicos registrados, se tomaron como parte del análisis del agua muestreada los valores de pH, temperatura, grado de turbidez, color y conductividad del agua, que el agua puede contener. Estos valores sirvieron como parte importante de la especificación de reutilización. A su vez para esta fase, se tomó una alícuota de 1 litro de muestra del agua que se descarga ya tratada en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa para evaluar los mismos parámetros que el agua de proceso en las máquinas. Por lo tanto, se midieron nuevamente los parámetros anteriormente descritos en la sección del agua de proceso (pH, temperatura, color, etc.) solo que en este caso para el agua tratada.

También se midió la cantidad de agua tratada que se está descargando al drenaje, esto medido en metros cúbicos para establecer cuánta agua puede estar disponible para el reúso en planta. La toma de muestras se

realizó con una frecuencia aproximadamente semanal para tener una gama de datos amplia. Se realizó la evaluación y posteriormente se determinó el valor volumétrico en porcentaje de la cantidad de agua disponible para reutilización. Se establecieron mezclas de las alícuotas de agua de proceso y agua tratada en proporciones de referencia al agua tratada en cada análisis para evaluar los mismos parámetros, esto con el fin de definir en la siguiente fase el análisis comparativo.

- Fase 02: En esta fase se observó y analizó si los datos obtenidos tenían diferencias significativas entre sí, con el fin de verificar cuales de estos podían en efecto ser las variables de control dependientes para el proyecto. Los datos registrados en un mes para el agua de proceso y para el agua tratada debieron ser analizados en forma de tablas y gráficos comparativos en los cuales se estableció cualitativamente y cuantitativamente el valor exacto de las variables de control. Los datos como el pH, color, turbidez, conductividad, dureza, etc. Se analizaron en cada una de las aguas de control, así como en las mezclas propuestas en la fase anterior para establecer los criterios de control exactos del sistema. Esto se desarrolló en aproximadamente una semana de análisis de parámetros. A la vez estos datos analizados se compararon para establecer las variables definitivas de control para la reutilización del agua tratada. Esto implicó definir el valor numérico o porcentaje necesario a reingresar al sistema del efluente de la planta de tratamiento. Los parámetros de control y el valor establecido por pruebas de la cantidad a reutilizar debió ser analizado para la planta y de esta forma se garantizó su viabilidad en el proceso interno.
- Fase 03: Partiendo de la evaluación y análisis de los criterios cualitativos en campo, se describieron y documentaron los requisitos necesarios de

reutilización del agua. Los datos obtenidos se presentaron en formato de gráficos y tablas que fueron comparados con los datos establecidos en laboratorio con las pruebas de campo previo a su implementación. Estos resultados en conjunto con los gráficos y análisis realizados durante el proceso de las fases previas como los criterios de control de agua de procesos de pozo (cruda), agua de planta de tratamiento (tratada) y la mezcla de aguas para reutilización (flujo de reúso) se presentaron como parte de los controles de proceso interno que se implementaron en la empresa y en la planta de tratamiento.

- Fase 04: Se presentaron los resultados finales de la implementación en campo del flujo de agua con las cantidades determinadas y validadas de efluente tratado para su reutilización, así como las características fisicoquímicas que deberán ser controladas y respetadas como parte del proyecto. Esta parte representó el proceso de informe final del proyecto, en el cual se describieron los pasos a seguir para mantener el control adecuado del efluente de tratamiento. Esto se realizó en 2 semanas contando con una etapa de presentación al personal interno de la planta de tratamiento como soporte de los procesos a seguir para el control de los parámetros, como deberán ser medidos, con qué frecuencia tomar las muestras de control en cada equipo a implementarse y los criterios documentados de control. Se presentaron tabulados y graficados con el apoyo de la estadística, en los parámetros cualitativos considerados para su reutilización en el proceso.

#### **2.4. Sujetos**

La recopilación de datos para la definición de las variables se obtuvo de dos sujetos, los cuales fueron:

- Jefes de producción, estos son los operadores y dueños de los distintos procesos de la planta de tratamiento y de la empresa donde se evaluara la calidad del efluente. La información se obtuvo a partir de entrevistas no estructuradas. El muestreo en este caso, fue únicamente de juicio y no probabilístico; esto implicó la determinación subjetiva de la calidad de la misma. La información recabada en campo fue independiente en la línea de las variables de control de la investigación.
- Registros de últimos análisis de efluente. Esta información se obtuvo a partir de datos recabados durante el transcurso de finales del año 2013 y se complementó con lo recabado en el período de análisis descrito en el cronograma para el año 2014. El muestreo fue probabilístico simple de los datos para evidenciar en el análisis de los mismos su participación en calidad de los resultados esperados.

## **2.5. Técnicas de análisis de información**

Como parte del proceso de investigación, la recolecta de información se evaluó y analizó para poder establecer la confirmación o descarte de los objetivos planteados. Se realizaron varias técnicas para poder analizar la información de manera concreta y objetiva, siendo estas las siguientes:

## **2.6. Instrumentos de información**

- Documentación académica: Es toda aquella información previamente escrita por otros investigadores en la rama científica académica y de campo que hayan trabajado en el proceso de tratamiento de aguas residuales. La recolección de los datos establecidos en sistemas similares al proceso descrito en este proyecto de investigación se tomaron en cuenta para su recabación y posterior análisis utilizando los métodos anteriormente descritos. También se obtuvo de informes técnicos de otros autores en la materia de tratamiento de aguas residuales los resultados obtenidos mediante las técnicas que estos emplearon como modelo de operación para establecer en este proyecto algunos criterios de control necesarios para establecer las características de calidad de agua necesarias a cumplir en la reutilización del efluente.
- Documentación de planta: Conjunto de datos y reportes que se llevaron como registros internos de la empresa durante el último semestre de la operación de la planta en el período que se desarrolló el proyecto. Estos documentos y registros permitieron tener una visión de cómo ha sido el comportamiento del proceso de tratamiento y de la gestión de los recursos en el mantenimiento de los parámetros fisicoquímicos medidos previo a este proyecto.
- Investigación de campo: las diferentes personas que han tenido contacto dentro del proceso de lavado como en la planta de tratamiento fueron otro punto de recolección de información relevante para el proyecto. Entrevistas al azar en los puntos de los procesos donde se tiene descargas al sistema de drenajes que conectan con la planta de tratamiento brindaron información en tiempo real del comportamiento de los equipos de proceso, así como de las diferentes condiciones que puede presentar el agua cruda para su uso.

- **Recolección de información:** la información recolectada de cada uno de los procesos de investigación se almacenaron como parte de un control electrónico (hojas de Excel y Word) y físico (bitácoras y cuadernos de anotación) en las cuales se detalló los valores de análisis e información recabada a lo largo del período de desarrollo planteado. La finalidad de esta recabación fue disponer de toda la información de manera centralizada y para fácil acceso a revisión de puntos importantes durante el desarrollo de la misma investigación.
- **Técnicas de muestreo:** Para la recabación de las muestras de agua, la técnica de muestreo a utilizada fue la de captación en puntos de descarga directos del agua tratada en su etapa final de acondicionamiento (proceso de la planta) antes de pasar al sistema de drenaje municipal. También para la captación de las muestras de agua de proceso de lavado, fueron muestras obtenidas de la tubería de las máquinas de lavado, siendo la tubería de ingreso al equipo el punto exacto de muestreo, para obtener el flujo de agua previo a su uso en el mismo.

## 2.7. Instrumentos estadísticos

Como parte del proceso de investigación, la recopilación y tabulación de datos fue uno de los principios básicos estadísticos que se manejaron. En el caso de este proceso de determinación de parámetros, se partió de la estadística descriptiva, por lo tanto, el muestreo utilizado fue al azar en puntos estratégicos de control dentro del proceso de tratamiento y de ejecución en la fabricación de la prenda de lona.

El análisis realizado a partir de la media, moda, mediana, así como los gráficos de barras, histograma, etc. permitieron establecer puntos de comparación y entendimiento del comportamiento de las variables del proceso de tratamiento de agua residual, así como del agua cruda.

Utilizando la estadística inferencial, se analizaron y determinaron las variables cualitativas del proceso de tratamiento de aguas residuales provenientes del mismo sistema de lavado de prendas con las del proceso operativo como tal, así como los criterios específicos que se tomaron en cuenta para realizar el reúso del agua tratada en el sistema. Se presentaron tablas de datos de cada uno de los parámetros evaluados, así como los gráficos respectivos para poder visualizar como es que cada valor cualitativo tiene un comportamiento significativo en el accionar del tratamiento y de su posterior reúso.

En el caso de la variable de conductividad, color y turbidez, se decidió realizar un análisis estadístico simple, utilizando las herramientas de la media, moda y mediana para definir los valores de tendencia central que cada una de ellas presento como respuesta a un proceso operativo de tratamiento de afluentes en la empresa. Estos datos fueron relevantes, debido a que permitieron establecer de manera cualitativa como se presentan el efluente en su forma directa de descarga al alcantarillado y con qué variables primarias se puede trabajar el proceso de reutilización.

La metodología estadística de correlación y comparación por medio de variables primarias permitió establecer la capacidad de la planta de soportar el control de su operación para satisfacer el proceso de reutilización. Esto con las gráficas correlativas entre cada variable, se logró demostrar con la variable con menor capacidad a ser alterada por su concentración, en este caso la conductividad. Esto se comprobó con la medida de la desviación estándar con cada una de las variables y las propuestas de mezclas con el agua de proceso.

Esta medida permitió establecer el valor de mezcla, tomando como referencia la conductividad entre cada porcentaje de agua tratada utilizada para la solución de reutilización fue menos dispersa y por consecuencia, más efectiva para utilizarse como propuesta de reutilización.



### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Características fisicoquímicas de agua de proceso

El agua de proceso se analizó conforme a los requisitos establecido para un sistema de agua potable (COGUANOR 29001, 2001, pág. 09) también con los establecidos para agua residual (Gobierno de Guatemala, 2006). Estas características definen como es la calidad del agua de proceso para un sistema de lavado de prendas textiles de lona en operación continua (ver Anexo 4)

Los datos se analizaron estadísticamente, presentando los resultados descritos en la Tabla IV:

Tabla IV. Valores estadísticos de parámetros de control para agua de proceso

Valores Estadísticos	Temperatura	pH	Turbidez	Conductividad	Color
	°C	-	FAU	µS/cm	U. PtCo
Media	23.36	6.64	0.78	491.94	4.76
Moda	23.00	6.50	0.00	496.00	0.00
Mediana	23.50	6.50	0.00	496.00	0.00
Desviación Estándar	1.12	0.33	1.26	23.48	7.78

Fuente: Propia del autor, 2014

Los resultados obtenidos demuestran el comportamiento de un flujo de agua proveniente de fuentes directas de abastecimiento en la empresa, siendo pozo y/o flujo de agua municipal, que en este caso se establecen como los controles que deberán ser monitoreados en el proceso de reutilización.

### 3.2. Características fisicoquímicas de agua tratada

Como parte de los valores controlados por el Acuerdo Gubernativo para aguas residuales del país (Gobierno de Guatemala, 2006), los resultados obtenidos en el mismo intervalo de tiempo para la planta de tratamiento de la empresa se describen en el Anexo 1 (ver Tabla V).

De acuerdo a lo descrito por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, los valores esperados de los criterios de control en un efluente de agua tratada deben ser:

Tabla V. **Parámetros aplicables para proyecto**

PARAMETRO DE ACUERDO	VALOR DE CONTROL
pH	6 a 9
Conductividad	No referenciado ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
Cloro Residual	No referenciado (según COGUANOR 29001 0.5 A 1.0 PPM para agua potable)
Color	1000 U PtCo (al año 2015)
Turbidez	No Referenciado (FAU)
Temperatura	TCR $\pm$ 7 ( $^{\circ}\text{C}$ )

Fuente: Acuerdo 236-2006, 2006

Se puede evidenciar directamente que los parámetros para el agua tratada descritos en la Tabla V y Tabla VI están por debajo de los controles del Acuerdo Gubernativo. El valor estadístico de los datos para el agua tratada se describe en la Tabla VI:

Tabla VI. Resultados estadísticos de parámetros de control para agua tratada

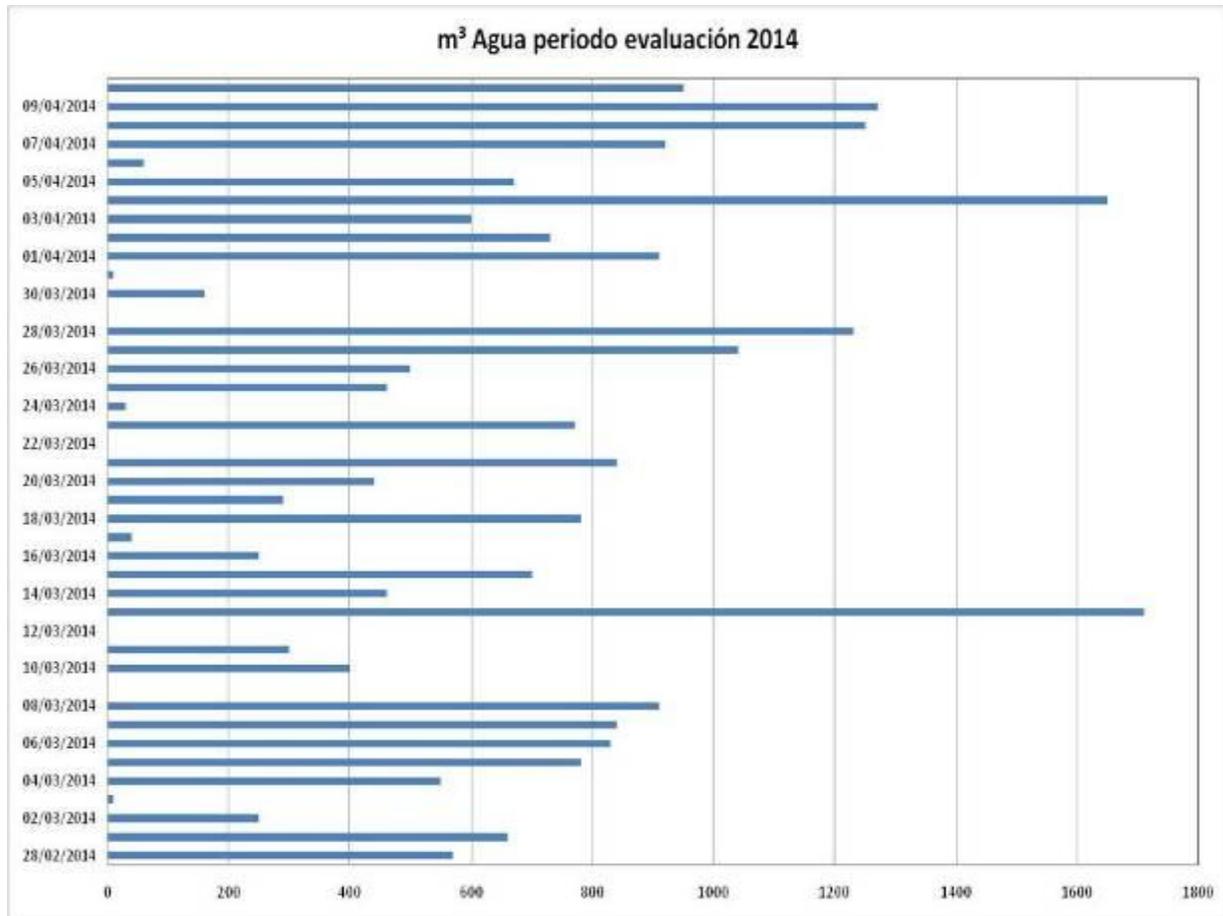
Parámetro	Cloro residual (ppm Cl-)	pH	Conductividad ( $\mu$ Sc/cm)	Color (U PtCo)	Turbidez (FAU)
Media	0.24	7.00	1,892.13	131.80	11.70
Moda	0.40	7.00	1,900.00	-	7.50
Mediana	0.30	7.00	1,900.00	125.38	9.83
Desviación Estándar	0.17	0.00	48.88	48.69	4.38

Fuente: Propia del autor, 2014.

Nota: Debido a que los datos resultantes de la evaluación en campo para el parámetro de color fueron muy dispersos, el valor de la moda no se presenta.

Como parte del control en el agua tratada, se revisaron los valores históricos para la generación en volumen de efluente tratado. El Tabla VII muestra como es el comportamiento para la planta en un período de febrero a abril 2014 en la cantidad volumétrica disponible de agua descargada:

Figura 4. Volumen de agua tratada para período histórico de febrero a abril 2014



Fuente: Propia del autor, 2014

En promedio, se puede establecer un valor aprox. De 632 m<sup>3</sup> diarios de agua tratada. (Fuente de datos analizados por investigador).

### 3.3. Características comparativas de flujos de agua (proceso y tratada)

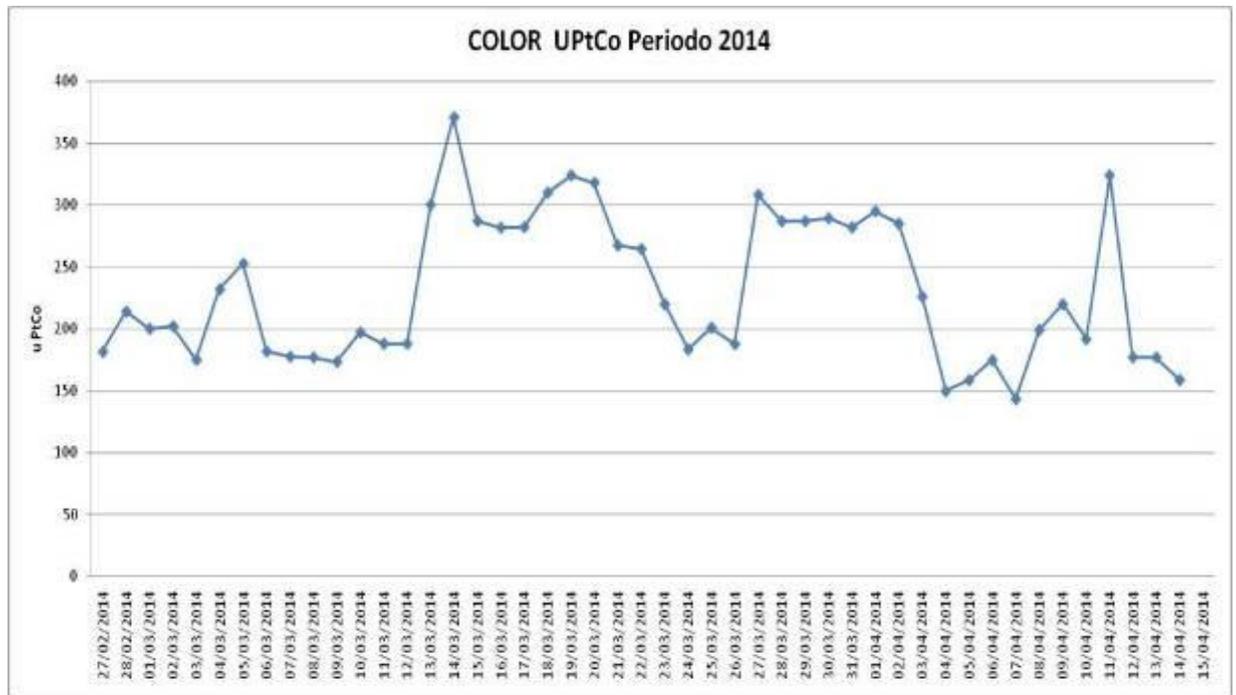
Los valores de los parámetros de cada uno de los flujos definidos como control para una etapa de reutilización se establecieron en los siguientes:

- Color, medido en U. PtCo
- Conductividad, medido en  $\mu\text{S/cm}$

- Turbidez, medida en FAU

En la Figura 5, Figura 6 y Figura 7 se muestran los comportamientos típicos de color, turbidez y conductividad del agua tratada para el período de histórico de febrero a abril 2014, como referencia del comportamiento de los parámetros de control para el proceso de reutilización:

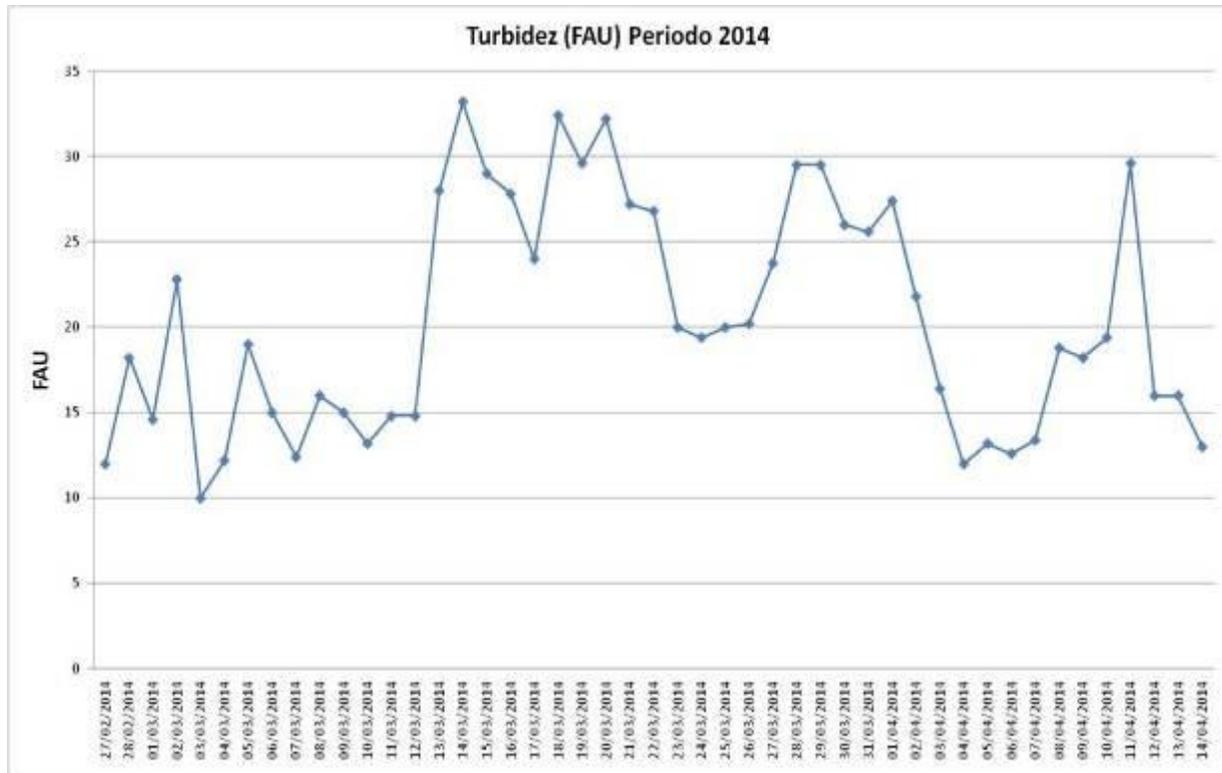
Figura 5. Comportamiento del color en el efluente



Fuente: Propia del autor, 2014

Como se puede observar en la Figura 7, el comportamiento de resultados para el color del efluente se mantiene por debajo de los 500 U PtCo (Gobierno de Guatemala, 2006)

Figura 6. Comportamiento de turbidez en efluente tratado

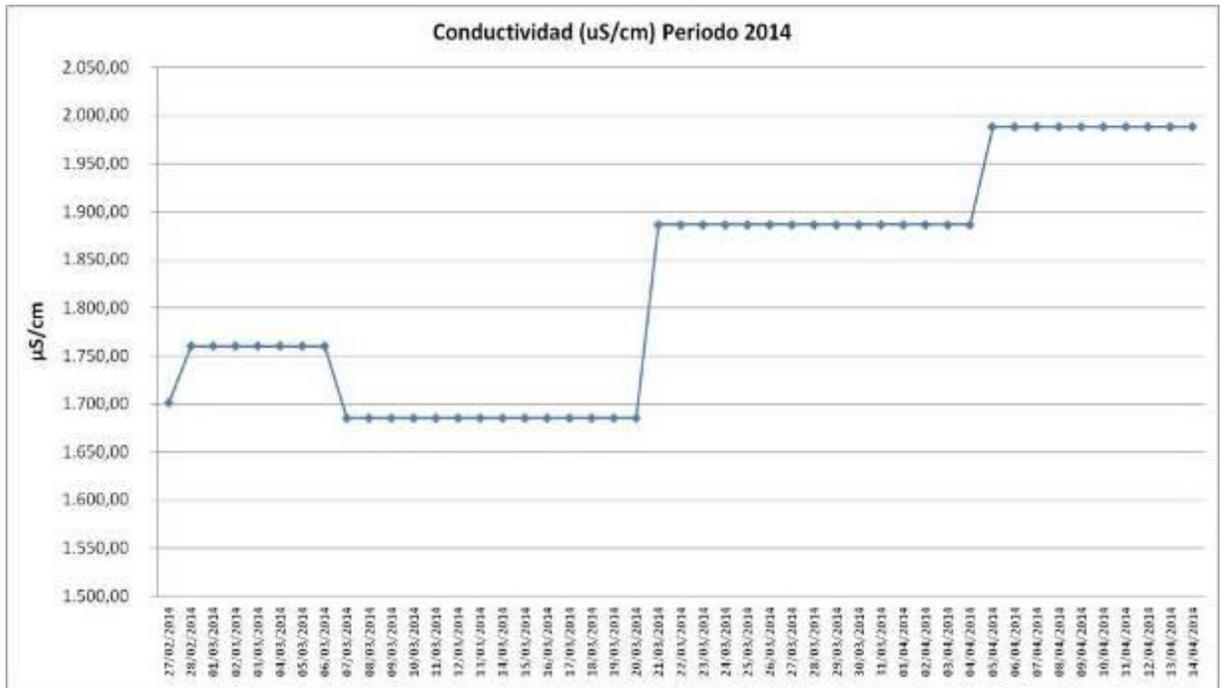


Fuente: Propia del autor, 2014

Igual que el comportamiento de color, la turbidez del efluente se comporta en valores que se encuentran por debajo de los 35 FAU. El Acuerdo Gubernativo 236-2006 no tiene referencia de un límite máximo para turbidez (Gobierno de Guatemala, 2006) en aguas residuales.

El comportamiento de la conductividad como se aprecia en el Figura 8 tiene un alza en sus resultados conforme se va aumentando el tiempo de operación. Este parámetro no está referenciado en el Acuerdo Gubernativo 236-2006; sin embargo, es un indicador de la calidad del afluente al ingreso de la planta y de la descarga presentada en el efluente.

Figura 7. Comportamiento de la conductividad para el efluente tratado de la planta



Fuente: Propia del autor, 2014

Partiendo de estos datos, se describen los valores intercomparativos de mezclas para la determinación de los valores para la reutilización del efluente.

### 3.4. Comparativo de parámetros para determinación de reúso de efluente tratado

La Tabla X (Anexo 1) muestra los valores de cada uno de estos parámetros para mezclas volumétricas del 25%, 12.5% y 10% de efluente en agua de proceso para mediciones puntuales de fechas entre mayo y junio 2014. Estas variaciones contemplan las pruebas en campo y validación de los parámetros de control intercomparados para el proceso de reutilización posterior. La

valoración estadística de estos parámetros para su comparación con los valores de agua de proceso se define en la Tabla

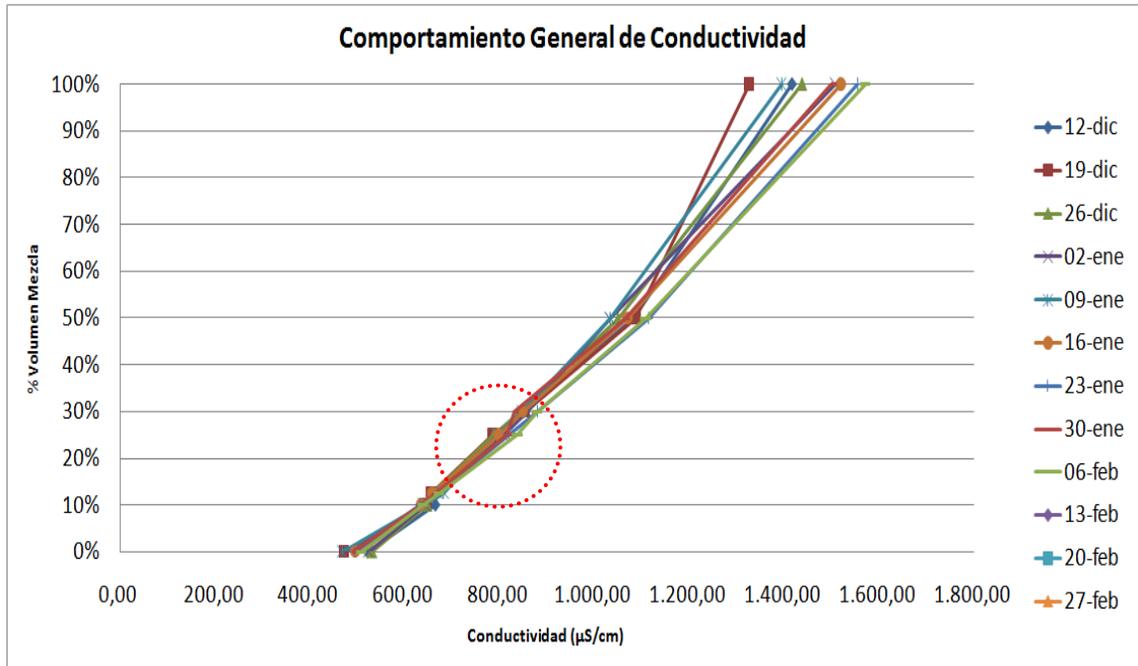
Tabla VII. **Valores estadísticos de parámetros de control establecidos**

Parámetros	Estadístico	Porcentajes de Mezcla		
		25.0%	12.5%	10.0%
pH	Media	6.60	6.60	6.60
	Desviación Estándar	0.22	0.22	0.22
Color U PtCo	Media	41.80	30.00	23.60
	Desviación Estándar	15.07	7.04	7.73
Turbidez FAU	Media	4.60	2.60	2.40
	Desviación Estándar	0.55	0.89	0.89
Temperatura °C	Media	26.18	26.20	26.14
	Desviación Estándar	1.04	1.05	1.04
Conductividad µS/cm	Media	1005.80	758.00	711.40
	Desviación Estándar	42.55	28.04	16.12

Fuente: Propia del autor, 2014

En la Figura 9 se puede observar como es el comportamiento de las mezclas de agua tratada y proceso con sus respectivas mezclas, siendo el 100% el valor de conductividad para solo el agua tratada y, por consiguiente, el 0% de mezcla es para agua de proceso.

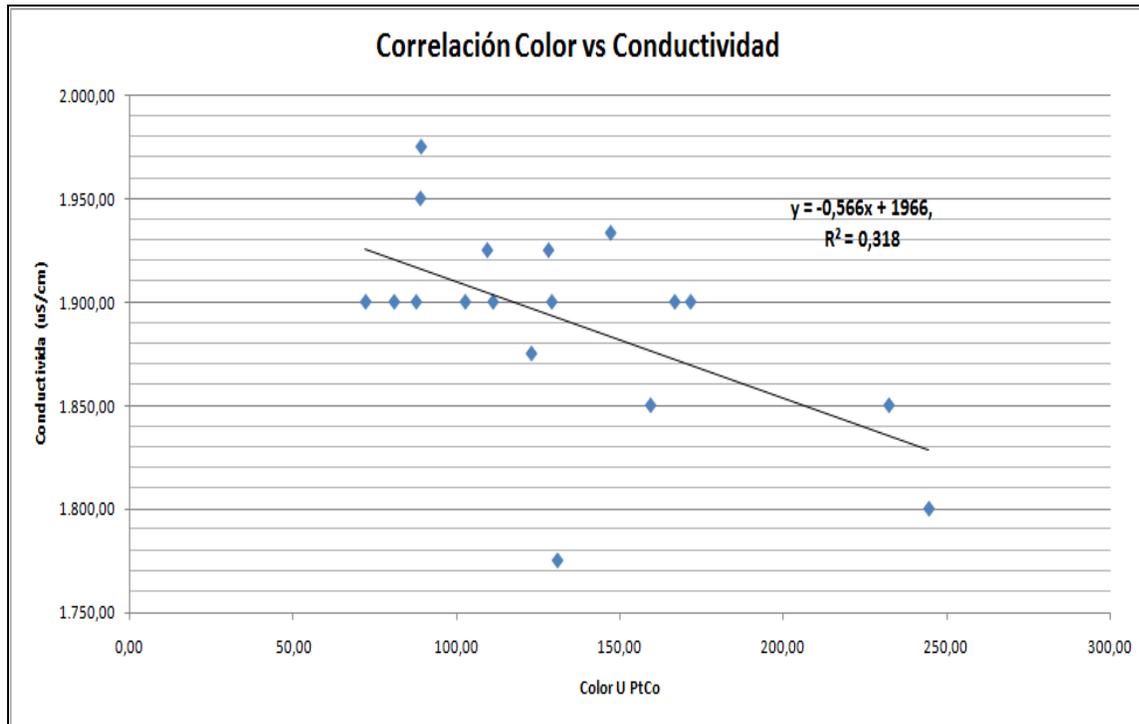
Figura 8. Comportamiento general de la conductividad en la mezcla de aguas para reúso



Fuente: Propia del autor, 2014

Partiendo que el control de la variable independiente entre parámetros fisicoquímicos es la conductividad, se muestran las variaciones entre el agua tratada y el agua de proceso para los porcentajes de 25% y 12.5% en los Figura 9 y Figura 10 (ver Figura 5):

Figura 9. **Correlación entre color y conductividad para efluente**

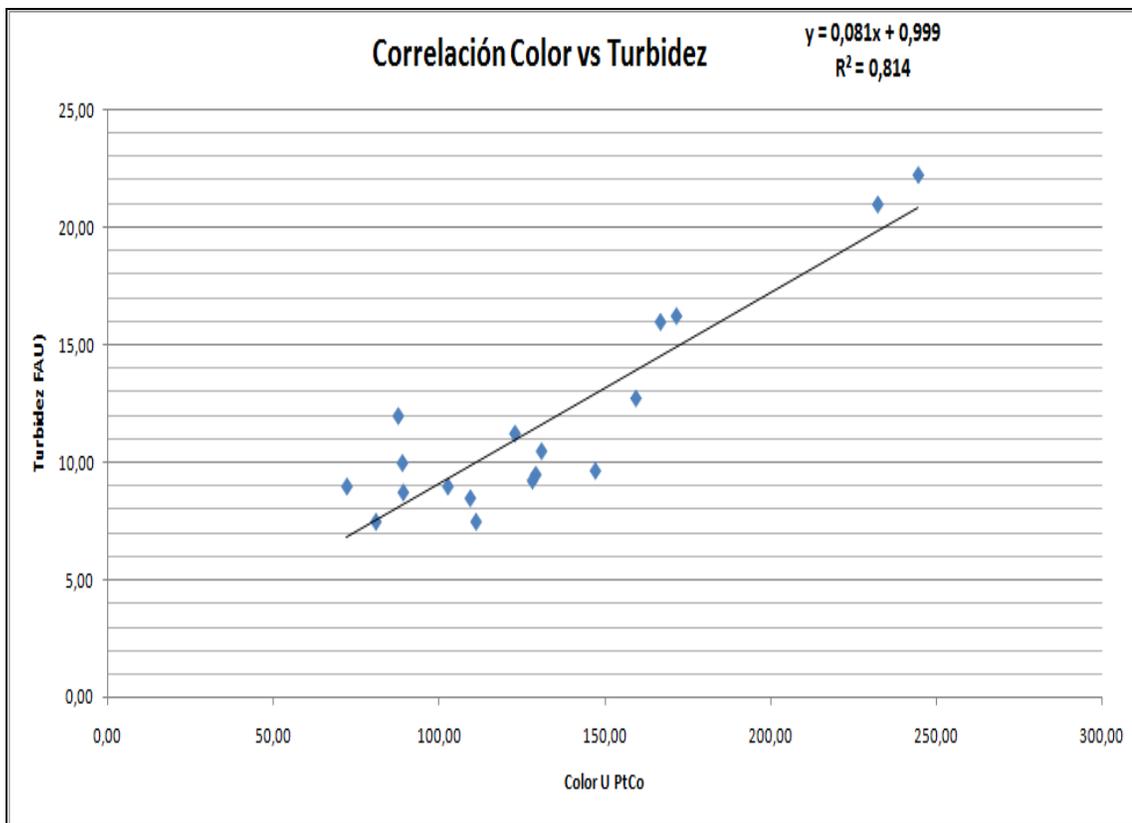


Fuente: Propia del autor, 2014

Como se puede observar en la Figura 10, no se tiene una correlación entre los resultados de color y la conductividad eléctrica del efluente ( $R^2$  es menor a 1). Esto es un indicador del comportamiento independiente de ambos parámetros en el control de la calidad para reutilización en el efluente.

En el caso del parámetro de color y turbidez se puede observar en la Figura 10 que este comportamiento es totalmente diferente.

Figura 10. Correlación entre color y turbidez de efluente

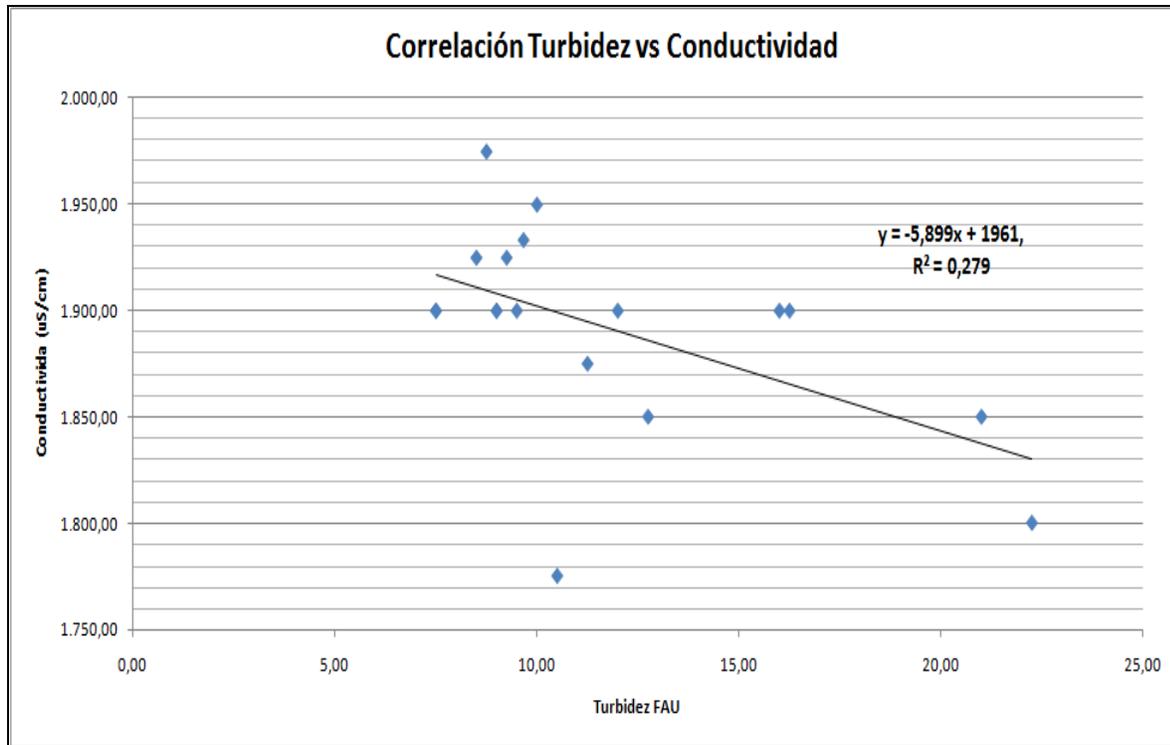


Fuente: Propia del autor, 2014

Se puede observar que los datos poseen una mejor correlación entre ellos mismos. Esto permite establecer los parámetros de control para el proceso de reutilización en dos parámetros de análisis directos, el color y la turbidez como complemento uno del otro y ambos como complemento de la conductividad eléctrica.

Como parte de la evaluación del proceso de reutilización, en la Figura 11 se realizó la correlación de los datos del parámetro de conductividad eléctrica y de turbidez, obteniendo resultados similares entre el color y la conductividad eléctrica mostrados en el Figura 7.

Figura 11. **Correlación entre conductividad y turbidez para efluente**



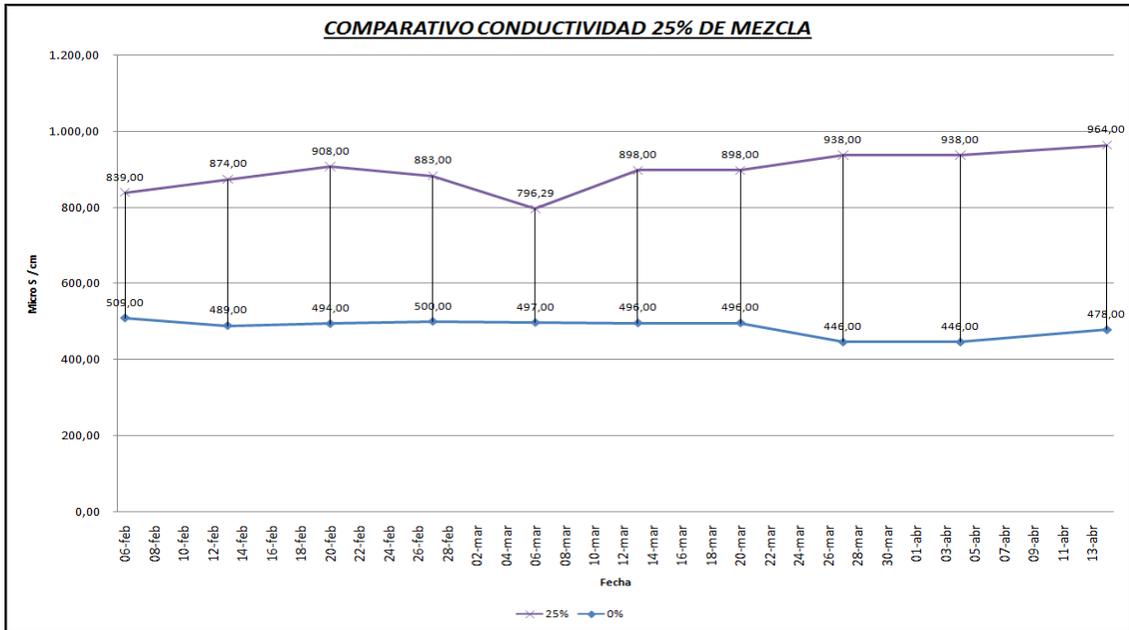
Fuente: Propia del autor, 2014

Al igual que con el parámetro de color, la conductividad eléctrica y la turbidez no están correlacionadas una con otra; los datos no son complementarios entre cada uno, sin embargo, esto indica que el control de ambos debe ser tomado como independiente entre cada uno.

Estas figuras indican como el valor volumétrico de muestra en los porcentajes detectados para el efluente son cada vez más cercanos al valor del agua potable.

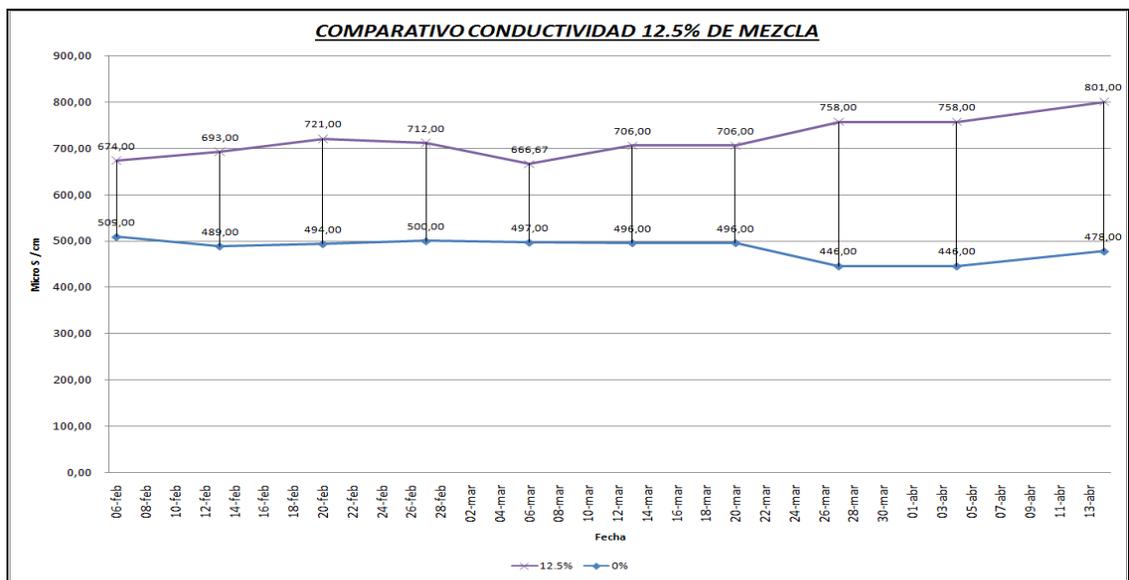
En la Figura 12 y la Figura 14 como ya se ha mencionado anteriormente, se muestran los resultados de las variaciones entre el control de las mezclas en los porcentajes ideales investigados para el proceso de reutilización de 12.5% a 25% vs. El valor del agua potable sin mezcla.

Figura 12. Comparativo histórico de conductividad de mezcla al 25% vs agua de proceso (valor ideal)



Fuente: propia del autor, 2014

Figura 13. Comparativo histórico de conductividad de mezcla al 12.5% vs agua de proceso (valor ideal)



### 3.5. Establecimiento de parámetros de reutilización y sus valores

Partiendo de los valores de comparación estimados, se establece en la Tabla VII que los porcentajes volumétricos de reutilización del efluente para el proceso de lavado de prendas de lona, estos son de acuerdo a los parámetros fisicoquímicos analizados:

Tabla VIII: Valores de control para proceso de reutilización de efluente, porcentajes de volumetría

Parámetros	Estadístico de Control	Porcentaje en Volumen	
		25.0%	12.5%
Color U PtCo	Media	41.80	30.00
	Límite Superior	<b>56.87</b>	37.04
	Límite Inferior	26.73	22.96
Turbidez FAU	Media	4.60	2.60
	Límite Superior	<b>5.15</b>	3.49
	Límite Inferior	4.05	1.71
Conductividad $\mu\text{S/cm}$	Media	1005.80	758.00
	Límite Superior	<b>1048.35</b>	786.04
	Límite Inferior	963.25	729.96

Fuente: Propia del autor, 2014

### 3.6. Determinación de flujo de reutilización diario y cálculo de huella ambiental reducida

Tomando en consideración el valor volumétrico de tratamiento promedio de descarga diario histórico de 632 m<sup>3</sup>, se lograría alcanzar una reutilización del 25% en volumen de descarga, lo que da un resultado de 158 m<sup>3</sup> por día. Esto a un total aproximado al mes de 4,740 m<sup>3</sup>. En la

Figura 14 se muestra volumétricamente cuáles serían los valores estimados de reutilización en el proceso de lavado.

El cálculo de la huella ambiental inicial parte del consumo de agua por prenda y cantidad de prendas textiles que se lavan. Puesto que el consumo estimado de 632 m<sup>3</sup> son los generados por el proceso de lavandería y este volumen es el valor de agua potable utilizada directamente del sistema municipal, se puede asumir que el valor descrito de prendas totales textiles por el total de agua serán el indicador de la huella ambiental hídrica del proceso a reducir con el porcentaje estimado. Siendo así:

$$\text{Huella hídrica inicial (mensual)} = \frac{\text{Total de Agua consumida, L}}{\text{Total de prendas, unidades}} = \frac{18,960,000 \text{ L}}{1,240,000 \text{ U}}$$

$$\text{Huella hídrica inicial (mensual)} = 15.29 \text{ l/unidad}$$

Si se toma que el valor del 25% en volumen de reutilización se ingresa nuevamente al sistema y se deja de captar el volumen total del sistema municipal, se tiene el siguiente valor de huella hídrica.

$$\text{Volumen de agua reutilizada mensual: } 4740 \text{ m}^3 = 4,740,000 \text{ l}$$

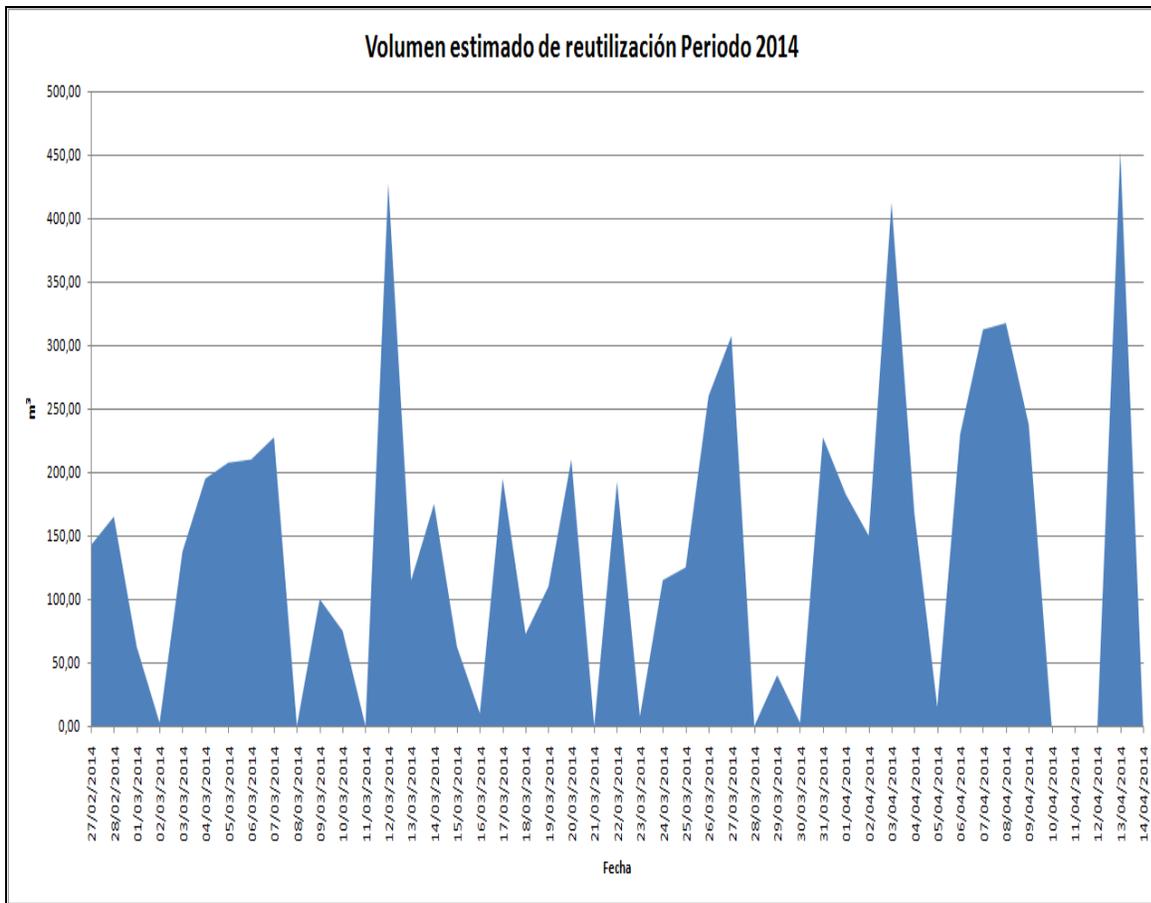
$$\text{Volumen de uso potable real} = 18,960,000 - 4,740,000 = 14,220,000 \text{ l}$$

$$\text{Huella hídrica (mensual) reducida} = \frac{\text{Total de Agua consumida, L}}{\text{Total de prendas, unidades}} = \frac{14,220,000 \text{ L}}{1,240,000 \text{ U}}$$

$$\text{Huella hídrica reducida} = 11.47 \text{ l/unidad}$$

El porcentaje de reducción de la huella ambiental hídrica esperada para este proceso evaluado fue de **24.99%**, siendo un valor similar al esperado en reutilización del efluente dentro del sistema de lavandería.

Figura 14. **Volumen aprox. Simulado de reutilización para proceso a partir de período histórico 2014.**



Fuente: Propia del autor, 2014

**Nota:** este gráfico es de carácter ilustrativo del posible volumen de reuso del efluente en el proceso. Conforme se descargue en volumen el agua de la planta de tratamiento se podrá hacer efectiva en tiempo real su aplicación.

### 3.7. Establecimiento de parámetros de reutilización y sus valores

Tomando en consideración que este proyecto no despliega como tal un control financiero sobre la inversión de equipos, se describirá bajo el supuesto que todo lo reutilizado del proyecto se puede generar también económicamente como un costo que se deja de pagar, para fines del proyecto se determinó tomando en cuenta la descripción de la empresa municipal de agua de Guatemala (EMPAGUA) el costo aproximado mensual de ahorro:

Tabla IX. Valor económico de ahorro por supuesto de uso tarifa social domiciliar

m <sup>3</sup> de agua a reutilizar	Costo por m <sup>3</sup> (tasa sin IVA)	Costo Bruto (sin IVA)	Alcantarillado	Cargo Fijo (sin IVA)	Costo Total ahorrado (con IVA)
4740	Q. 5.60	Q26,208.00	Q. 5,241.60	Q16.00	Q. 35,241.47

Fuente: Propia del autor, 2014

Nota: La tasa de referencia tomada para más de 121 m<sup>3</sup> de consumo de agua mensual (EMPAGUA, 2015). Valor del 20% sobre costo por m<sup>3</sup> de tasa sin IVA (EMPAGUA, 2015)

Tomando de base la tasa de cambio para el día de la revisión de esta etapa de análisis (T.C. de acuerdo al BANGUAT, el día 15/09/2014 de Q. 7.73842/\$) el valor del ahorro considerado para este proyecto asciende a **\$4,066.15 mensuales**. Si se toma que la tarifa social es mayor que la tarifa industrial, este valor obtenido tomando en consideración los supuestos observados es el máximo valor posible de ahorro a un 25% en volumen de efluente tratado que se puede ingresar al sistema nuevamente. (Ver Anexo 2)



#### 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El proceso de reutilización de agua tratada de una planta de producción de prendas de lona se analiza desde puntos diferentes del proceso interno de lavandería. Estos son la descarga de las aguas procedentes de la misma operación de las lavadoras y la alimentación a estos equipos con un flujo continuo de agua que proviene del sistema local de alcantarillado y/o pozos propios. (Pinzón G., 2010)

El agua de proceso que proviene de fuente propia de la empresa o de la línea directa de abastecimiento de la municipalidad debe cumplir con características específicas de potabilización, las cuales en principio deben ser las que rigen la capacidad de un proceso de brindar una operación de lavado adecuada en todo tipo de prenda textil, en este caso de lona. Como los valores determinados para el agua de proceso interno en la lavandería de la empresa evaluada, los resultados obtenidos de campo (ver Tabla ) demuestran que las características de control mínimas establecidas por los valores locales regularizados (COGUANOR 29001, 2001, pág. 09) se presentan en el afluente de utilización. Estos resultados presentados son los parámetros fisicoquímicos destinados al control directo del agua de proceso.

Los resultados obtenidos para el agua de proceso confirman el uso de una materia proveniente de fuentes cercanas propias a la empresa con calidad adecuada para un proceso de lavado de prendas textiles, las cuales en su operación diaria, consumen una cantidad considerable de esta fuente hídrica disponible. La disponibilidad entonces del recurso estará íntimamente ligado a la capacidad de las fuentes de reabastecerse continuamente por medios

naturales o, en este caso lo presentado en este proyecto, para aprovechar los efluentes generados por el proceso de lavado (Rojas & Jamilette, 2004).

Es a partir de los resultados obtenidos en campo (ver Tabla y Tabla ) que se definieron los parámetros de control para el efluente generado a partir de la operación continua en la lavandería de las prendas de lona. Los parámetros fisicoquímicos del efluente se caracterizaron a partir de los estatutos técnicos regionales (Acuerdo Gubernativo 236-2006), y la referencia de control en el agua de proceso ya definidos anteriormente en el proyecto de investigación.

Como resultado de la caracterización del efluente, se obtuvieron los parámetros fisicoquímicos en materia de comparación para el proceso de reutilización. Sin embargo, para establecer estos valores de condiciones químicas de efluente como variables de reutilización en el sistema de lavado de las prendas, se tuvieron que comparar las mismas con los datos obtenidos del agua de proceso. Esto permite establecer las relaciones adecuadas de proceso y control de reúso en cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales industriales (Organización Mundial de la Salud, 1973).

Como parte de este control, los valores volumétricos del agua tratada se describieron para presentar como también la huella ambiental de este sistema impacta directamente en la oportunidad de reutilización del efluente (ver Figura 4). Es por ello que en sistemas de tratamiento, la mitigación se mide por la capacidad de los mismos de reducir o reutilizar sus propios residuos generados, en los cuales los residuos tratados son una fuente importante de abastecimiento de otros procesos. En este caso agua disponible de una fuente propia en la industria. (Pinzón G., 2010)

A partir de estos resultados obtenidos de los parámetros de agua de proceso y agua tratada se lograron establecer las principales variables a evaluar en campo, como lo son la conductividad, el color y la turbidez. En el caso de la conductividad, esta es un parámetro de medición de la concentración de iones positivos que permiten el paso de la electricidad. Comúnmente se define la misma como la capacidad de disociación de sales catiónicas en solución. Esto da la pauta que existen compuestos disueltos en el agua tratada y en el agua de proceso que deben ser controlados para optar a su reúso.

El valor del color en ambos flujos hídricos representa la capacidad de cada uno de distorsionar el paso de la luz, medido como la referencia visible del espectro en ser alterado por la presencia de los iones Platino y Cobalto. Es por ello que la medición se determina como unidades de PtCo. A su vez, a mayor número de unidades de PtCo, mayor nivel de color existe. (Romero R., 1999). En el caso de los efluentes de industria, este valor es mayor que el agua de proceso y es un indicador cualitativo y cuantitativo de la calidad del mismo, tomando como referencia el agua potable, o en este caso la de proceso.

La turbidez también es una referencia de la capacidad del espectro de luz visible de atravesar un bloque de partículas de agua en solución líquida. Se puede medir como unidades FAU (unidades de atenuación formazina). Generalmente el agua con mayor turbidez, presenta un alto valor de unidades FAU. Al igual que con el color, la turbidez en los efluentes es más alta en valor que la de agua de proceso. Por consiguiente, en este proyecto se logró establecer que estos datos son los influyen en la calidad y a su vez, en la posibilidad para ser reutilizados (Torres P., 2001)

La evaluación para confirmar las condiciones de reutilización se hizo tomando la variabilidad volumétrica de agua tratada con agua de proceso. Estas mezclas volumétricas se les estimó sus parámetros fisicoquímicos anteriormente

descritos para conocer cómo se comportaron las mismas en las diferentes condiciones. Las variaciones volumétricas se hicieron a partir del agua tratada, siendo esta la que mayores valores de parámetros fisicoquímicos presentó. Los resultados obtenidos vistos en la Tabla I y la Tabla III demostraron que a los porcentajes de 25% al 10% son los que presentaron mejores condiciones fisicoquímicas de operación. Estos valores se definieron como los de reutilización ya en campo, debido a que los mismos son los que presentaron mejores proporciones de idealidad de proceso de lavado (cerca a las características del agua de proceso).

En la Figura 8 se puede ver los diferentes porcentajes históricos de mezcla de aguas de proceso y agua tratada, en condiciones de conductividad referenciada, presentaron las condiciones de mezcla anteriormente descritas de 25% a 10% para ser similares sus respuestas de condiciones químicas. Esto se confirmó a partir de las Figuras 10 a la Figura 12, donde se puede ver como la correlación entre cada uno de los parámetros estimados de conductividad, color y turbidez presentan diferentes condiciones estadísticas obtenidas. Sin embargo, conforme a lo planteado en uno de los objetivos, se logra establecer la conductividad como el principal parámetro de control, seguido por el color y la turbidez.

Las variables confirmadas de control como la turbidez y el color describieron condiciones operativas de mezcla similares. El análisis estadístico presentado en la Tabla VII demuestra que para diferentes porcentajes de mezcla de agua tratada con el restante porcentaje en volumen de agua de proceso se pueden obtener valores cercanos a los de agua cruda de proceso, descritos en la Tabla IX.

Comparando estos valores, aunque no se logró llegar al valor esperado de un agua sin contaminantes industriales como lo es un agua de proceso, los resultados que se obtuvieron fueron bastante más reducidos en concentración que los del efluente tratado, el cual aun cumpliendo el Acuerdo Gubernativo 236-2006, no se logra obtener los resultados esperados para poder manipular un 100 % de la reutilización del efluente.

Tomando en consideración que la variable cuyos resultados obtenidos en la Tabla VI y Tabla VII y comparados con los del agua de proceso descritos en la Tabla V son los de mejor desempeño, la conductividad sí presentó un resultado estadístico considerable para determinarse como control, de acuerdo a lo que se observó en la Figura 7 y Figura 8, los cuales se puede determinar que existe una condicionante del sistema a poder correlacionar las tres variables de control del sistema en una sola, debido a que la tendencia de la conductividad vs. El color y la turbidez es inversamente proporcional entre cada una.

Es por ello que se logró establecer de las tres variables seleccionadas, la de conductividad como variable de control para reutilizar el efluente. La condicionante fue la concentración de analitos catiónicos que se encuentran dispersos en solución, los cuales generan una conductividad química eléctrica que sirve como parámetro del proceso de reutilización del efluente para incluirlo como fuente de agua para abastecimiento en operaciones industriales.

La forma correcta de poder verificar que este valor de conductividad en su mínima expresión volumétrica garantizaría una oportunidad adecuada de reutilización se muestra en la Figura 12 a la Figura 14. En las mismas se puede ver cómo el valor de conductividad disminuyó considerablemente cuando el valor de agua de proceso también tuvo una ligera reducción en su composición. La tendencia de reducción se acrecienta conforme se intercambian los

porcentajes de adición de efluente a un sistema compuesto con agua de proceso, en el cual el valor de conductividad se reduce entre porcentajes. Por ejemplo, se puede observar entre la Figura 8 que para un valor de casi 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de agua de proceso, se puede obtener a un 25% de un valor aproximado de 980  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Esto comparado con el valor promedio de la conductividad del efluente al 100% de concentración de casi 1900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Al igual que una reducción al 12.5% de mezcla del efluente permite llegar a una conductividad de aproximadamente 786  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Esto se demuestra en la Tabla VIII donde se resumen los valores de las tres variables de control definidas para este proyecto.

Por lo tanto, se puede observar que con bajos porcentajes de mezcla del efluente tratado y el agua de proceso, se puede lograr valores adecuados de reutilización para el proceso de lavandería.

Se determinaron a partir de los valores estadísticos registrados de los parámetros de control, los límites máximos para el mayor porcentaje de mezcla establecido como óptimo para el proceso de reutilización. El análisis estadístico confirmó que estos límites son confiables y adecuados para el control de reutilización volumétrica. Esto se puede observar en la Tabla XI.

La valoración final de que la huella ambiental se está mitigando conforme a los procesos de un sistema de gestión de tratamiento de agua, es el resultado técnico obtenido con la Figura 7, donde se puede observar como partiendo de un estimado máximo de 25% de reutilización de efluente se puede llegar a generar un aproximado de 4700  $\text{m}^3$  de agua ahorrada por reutilización del

efluente obtenido de la misma planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la empresa.

La estimación de la huella hídrica ambiental parte del conocimiento de la cantidad de agua utilizada para lavar una única prenda textil. Este valor debe ser a partir de su producción completa en todas las etapas; sin embargo para fines de esta investigación, el valor de la huella hídrica está enfocado en el proceso de lavandería, por lo que el valor obtenido de 15.24 L/unidad o prenda, sigue siendo un valor bastante alto y de interés para el control de la huella de la empresa. En el proceso de reducción se puede observar como el valor de la huella se redujo a 11.74 L/unidad. Esta reducción en el consumo del recurso hídrico impacta directamente en la operación y en la valoración ambiental de la operación de lavado. Cabe mencionar que este proceso implica un detalle de control de los recursos disponibles no renovables con los que cuenta la empresa así como en la capacidad de la misma de ser innovadora en el sector ambiental de la propia empresa.

Este valor volumétrico demuestra que con las condiciones estimadas de control para las variables independientes definidas en este proyecto, se pueden obtener resultados importantes para un manejo adecuado de la gestión ambiental. A su vez, se logró establecer que los valores determinados en la Tabla permiten generar resultados considerables tomando como base primordial ingenieril el estudio e investigación para la resolución de un problema enfocado, como es la disponibilidad a futuro de un recurso importante para el desarrollo de las operaciones de la empresa.

Dentro del análisis se establecieron los valores que en un sistema de gestión también son controlables como los costos financieros que se pueden ahorrar por un proyecto de esta envergadura. Debido a que en este proceso de

investigación no se pudo conocer los valores monetarios locales en moneda quetzal para el costo del agua para proceso, se tomó como valor el de la tarifa social descrita por la municipalidad de Guatemala.

La determinación del costo de agua entubada ahorrada para consumo en la empresa se realizó conforme a lo que describe la entidad gubernamental y al valor volumétrico diario que se puede llegar a consumir por agua tratada para la reutilización. Esto permitió que se determinara un aproximado en moneda local, tomando en cuenta el valor del traslado por la infraestructura instalada del agua, de Q. 35,300.00 mensuales en consumo de agua.

Para los fines de control de un sistema de gestión ambiental, el valor debe ser estimado en divisas para comparar este ahorro con otros sistemas. Usando la tasa de cambio del día en que se realizó el cálculo se pudo determinar un valor aproximado de US\$.4,100.00 de ahorro mensual. Esto implica que en un año se pueden tener US\$.49,200.00 aproximadamente de ahorro por un consumo del 25% en volumen del efluente para el uso en las áreas operativas. Los resultados obtenidos permiten tomar una decisión importante para una mejora en sistemas de gestión de tratamiento de agua, así como permite pensar que los resultados obtenidos no representan una inversión significativa en nuevos sistemas de tratamiento o cambios al proceso.

## CONCLUSIONES

1. Se determinó que la capacidad de reutilización del efluente tratado de la planta interna de tratamiento de aguas residuales es de un 25% en volumen disponible por el caudal de descarga ( $158 \text{ m}^3$  diarios) y a la vez se puede garantizar una reducción de la huella ambiental hídrica en el proceso productivo interno de lavandería, de un 24.99% reduciendo de esta forma el consumo de agua potable.
2. Las características fisicoquímicas apropiadas para reutilizar el efluente de la planta de tratamiento son: la conductividad eléctrica (medida en  $\mu\text{S/cm}$ ), la turbidez (medida en FAU) y el Color (medido en U. PtCo)
3. Se determinó a partir de la comparación entre los parámetros fisicoquímicos de conductividad eléctrica, color y turbidez que el porcentaje de mezcla apropiado para la reutilización del efluente en el proceso es de un rango entre 12.5% a 25% en volumen (medido en  $\text{m}^3$  de la descarga del efluente) siendo la conductividad eléctrica el parámetro crítico de control (ver Figura 8)
4. Los valores de los parámetros fisicoquímicos de la mezcla de efluente y agua de proceso para el control del reúso en el proceso interno de lavado de prendas textiles de lona son:
  - Conductividad eléctrica con un valor máximo de  $1048.32 \mu\text{S/cm}$ ,
  - La turbidez con un valor máximo de 5.15 FAU y
  - El color con un valor máximo de 58.67 U PtCo.

5. Se estableció un caudal máximo de reutilización del efluente de 158 m<sup>3</sup> diarios, equivalente al 25% del flujo promedio diario de descarga de la planta de tratamiento y una reducción en la huella ambiental hídrica por la reducción del consumo de agua potable a 11.75 L/unidad de prenda de lona producida, equivalente al 24.99% con respecto a la huella ambiental hídrica del proceso sin reutilización del efluente.
  
6. Se estableció que como complemento a la reducción de la huella ambiental hídrica, por parte de la reutilización del efluente en el proceso, el costo de oportunidad para generar un ahorro por dicha reutilización volumétrica será de aproximadamente **US\$4,066.51** al mes, manteniendo los consumos volumétricos promedio descritos (aprox. 632 m<sup>3</sup> de efluente de descarga).

## RECOMENDACIONES

1. Para la industria textil establecer sistemas de control ambiental que garanticen que exista una identificación plena de los recursos disponibles y como estos pueden ser aprovechados de forma más eficiente. Con esto garantizar que la huella ambiental en las distintas matrices evaluadas (geológica, hídrica, etc.) esté plenamente identificada y contabilizada.
2. Es importante establecer en las industrias textiles y de manufactura mejoras tecnológicas en los procesos operativos donde se tenga el mayor consumo de agua y reactivos químicos para la transformación de las prendas textiles, tomando en consideración que la huella hídrica está basada en el consumo por pieza producida.
3. Actualmente existen tecnologías que permiten reducir los consumos en los procesos de lavado que podrían mejorar el uso del recurso disponible, para potencializar la reutilización del efluente producido por el mismo proceso. Se recomienda a la academia también que este tipo de proyectos de mejora ambiental en procesos productivos puedan ser investigados a profundidad.
4. Ampliar para este estudio de reutilización y reducción de la huella ambiental, los aportes que se brindarían en la operación textil al incluir la huella de carbono como parte del estudio de reducción del consumo de recursos disponibles. Como la operación requiere de maquinaria industrial, las fuentes de recursos eléctrico son continuas y se deben de regular de acuerdo a la producción de las piezas textiles, por lo que un estudio de investigación que identifique la huella generada por el consumo de

combustibles para mantener la operación energética garantizaría una mejor comprensión de la mejora social y ambiental de la industria al medio donde se desarrollan estas operaciones.

5. Las entidades gubernamentales como el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) deben evaluar y ampliar la capacidad técnica de la sección de control y monitoreo de las industrias de manufactura. Según entrevistas con profesionales del área de asesorías de ambiente y a opinión del investigador de este proyecto, es necesario un mejor control de las industrias, para garantizar que realmente se esté cumpliendo a cabalidad lo requerido en materia de descargas o emisiones al ambiente.
6. Como parte de la aportación de la academia y a la Escuela de Postgrados, evaluar la oportunidad de interceder para la implementación de nuevas leyes que regulen las emisiones al ambiente, haciendo uso de proyectos de investigación como el presente. Se encontró que aunque la planta de manufactura evaluada cumple con lo sugerido por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 para descargas de agua, la misma no es comparable con leyes establecidas en otros países de Latinoamérica, lo que presenta un reto muy grande para que la población tenga un seguro ambiental en lo que la industria debe cumplir.
7. Ampliar para los cursos académicos de maestrías en Gestión y Manejo del Recurso Ambiental herramientas de investigación que permitan la determinación de la huella ambiental en la industria. Para este proyecto se investigó el cálculo básico para una matriz en específico y un proceso determinado; sin embargo es importante que se presenten las herramientas complementarias para determinar un indicador más completo y detallado ya que se ve la oportunidad que los profesionales egresados de la maestría en

Energía y Ambiente puedan brindar este tipo de asesorías y servicios en la industria.

8. Realizar valoraciones internas de las diferentes fuentes de descarga residual en las industrias de tipo textil que permitan establecer las condiciones reales de los recursos utilizados en sus procesos, a manera que se puedan generar planes de acción en el ámbito ambiental y social de su entorno operativo. Con esto se podrán establecer las bases necesarias para mejorar los controles de consumo del agua utilizada.
9. Realizar estudios económicos exhaustivos en las líneas de manufactura donde se pueda hacer uso del recurso hídrico disponible, a manera de cuantificar cuál es el impacto económico de utilizar el agua de la empresa, para implementar planes de contingencia en el proceso que garanticen el manejo adecuado del recurso disponible.
10. Investigar mejoras tecnológicas en el campo de la reutilización de los efluentes generados en la industria textil. Esto con el fin de mejorar la calidad de la huella generada en los procesos industriales, reutilizando de la manera más efectiva posible los materiales que se han tratado, pero que no se han podido aprovechar debido a su calidad como material de descarte que se utiliza actualmente en todo proceso industrial que no se encuentra reglamentado por normativas de control ambiental.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agency, E. P. (Septiembre de 2012). *United States Enviromental Protection Agency*. Recuperado el 21 de agosto de 2013, de <http://www.epa.gov/region9/water/recycling/pdf/water-reuse-guidelines-fact-sheet-2012.pdf>
2. Arrivillaga Contreras, C. A. (2004). Tesis: "Estudio económico financiero para determinar la prefactibilidad de un proyecto para la confección de pantalones de lona, aldea el Amatón, Municipio de Quesada, Depto. de Jutiapa". Guatemala, Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
3. Asociación de la Industria del Vestuario y Textiles. (01 de 02 de 2015). *VESTEX*. Recuperado el 04 de 11 de 2015, de <http://vestex.com.gt/directorio2016/>
4. Asociación de la Industria del Vestuario y Textiles. (01 de febrero de 2015). *VESTEX*. Recuperado el 04 de noviembre de 2015, de <http://vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/03/Presentaci%C3%B3n-estad%C3%ADstica-abril-2015-IDS-DM-2.pdf>
5. Association Taiwan Turkey Project;. (01 de marzo de 2010). *Proyectos Preliminares para las Plantas Industriales*. Recuperado el 20 de Agosto de 2013, de <http://turnkey.taiwantrade.com.tw/showpage.asp?subid=181&fdname=TEXTILES&pagename=Planta+de+produccion+de+pantalones+jeans>
6. CALIDAD, A. (2008). *Tratamiento de aguas industriales*. Asesoría Profesional. Guatemala: Analiza Calidad.

7. Colin Cruz, A., Ortiz Hernández, M. L., Romero Aguilar, M., & Sánchez Salinas, E. (2009). *Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de carga orgánica*. D.F., México: Universidad Autónoma del Estado de México.
8. Dorado Valiño, M., Fernández Alba, A. R., Letón García, P., Sanz García, J. M., Rosal García, R., & Villar Fernández, S. (2006). *Informe de Vigilancia Tecnológica: Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales*. Madrid, España: Dirección General de Universidades de Investigación.
9. Empresa Municipal de Agua de Guatemala. (01 de enero de 2004). *Municipalidad de Agua*. Recuperado el 14 de septiembre de 2014, de Consumo de servicio de agua: <http://www.muniguate.com/index.php/empagua/25-temas/1714-consumoservicioagua>
10. Gas Natural Fenosa. (Febrero de 2013). *Gas Natural Fenosa*. Recuperado el 04 de noviembre 2015, de <http://www.gasnaturalfenosa.com/es/reputacion+y+responsabilidad+corporativa/compromisos+e+indicadores/medio+ambiente/gestion+ambiental/1297136000241/huella+ambiental.html>
11. Gestión de Recursos Naturales. (01 de enero de 2010). *Consultoría Ambiental*. Recuperado el 18 de agosto 2014, de <http://www.grn.cl/impacto-ambiental.html>
12. Gobierno de Guatemala. (5 de mayo de 2006). Acuerdo Gubernativo 236-2006. *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Guatemala, Guatemala, Guatemala: Gobierno de Guatemala.

13. GoogleMaps. (03 de 11 de 2015). *Google Maps*. Recuperado el 03 de 11 de 2015, de <https://www.google.com.gt/maps/@14.6405326,-90.5967372,15z?hl=en>
14. IX, W. D. (01 de abril de 2013). *United States Enviromental Protection Agency*. Recuperado el 20 de agosto de 2013, de <http://www.epa.gov/region9/water/recycling/brochure.pdf>
15. Kestler Rojas, P. J. (2004). *Tesis: "Uso, reuso y reciclaje del agua residual en una vivienda"*. Guatemala, Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
16. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2009). *Sistemas de Gestión y Tratamiento de Aguas y Gases Residuales en el Sector Químico*. Gobierno de España. Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente y Rural y Marino.
17. Monroy Mahecha, K. M. (2010). Tesis: "Evaluación de la eficiencia de las técnicas aeróbicas (burbuja fina, burbuja gruesa y aireador venturi jet) a utilizar en el tratamiento de agua residual domicial para el sistema de lodos activados en modalidad aireación extendida". Guatemala, Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.
18. Mustafa Radi, N. R. (2009). *Estudio de Factibilidad de una Empresa de Pantalones de Lona*. Guatemala, Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
19. Organización Mundial de la Salud. (1973). *Reúso de Efluentes: metodos para tratamiento de aguas residuales*. Departamento de la OMS. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud.
20. Pinzón Gamboa, E. E. (2010). Tesis "Propuesta técnica a escala piloto para la remoción de color de origen textil, por medio de electrocoagulación para favorecer el proceso de potabilización de agua,

en una planta de tratamiento de aguas". Guatemala, Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.

21. Prensa Latina. (23 de 05 de 2012). *Estrategia y Negocios*. Recuperado el 10 de 09 de 2014, de <http://www.estrategiaynegocios.net/csp/mediapool/sites/EN/CentroAmericaMundo/CentroAmerica/Guatemala/GTNegocios/story.csp?cid=472128&sid=1420&fid=330>
22. Programa sobre Competitividad y Desarrollo Sostenible. (2010). *El sector textil y confección y el desarrollo sostenible en Guatemala*. Ginebra, Suiza: El Centro Internacional para el Comercio y Desarrollo Sostenible.
23. Ramirez, C. (23 de abril de 2010). *Albedrío.org*. Recuperado el 18 de agosto 2014, de Revista electronica de discusión y propuesta social: <http://www.albedrio.org/htm/articulos/m/mramirez-016.html>
24. Rey Alvarado, C. A. (2006). Tesis: "Análisis, Diseño e Implementación de los Procedimientos y Operaciones del Área de Técnicas de Aplicación de Químicos, en el Proceso de Acabados Especiales de una fábrica de pantalones de lona". Guatemala, Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.
25. Rivera Valenzuela, J. A. (2006). Tesis: "Automatización de procesos de costura para optimización de la producción ante la competitividad industrial". Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
26. Rojas, K., & Jamilette, P. (2004). Tesis: "*Uso, reuso y reciclaje del agua residual en una vivienda*". Guatemala, Guatemala: Universidad Rafael Landívar.

27. Romero Rojas, J. A. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño*. Santa Fé de Bogota, Colombia, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
28. SEMARNAT. (17 de noviembre de 2013). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Recuperado el 18 de agosto de 2014, de Transparencia focalizada: <http://www.semarnat.gob.mx/transparencia/transparenciafocalizada/impactoambiental>
29. Suárez, G. (2011). *Cuencas Hidrográficas de Guatemala*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Dirección General de Planificación, Programación Política y Estrategias Ambientales. Guatemala: Sistema de Información Ambiental.
30. Torres, P. (2001). *Tendencias en el tratamiento de aguas residuales domesticas*. Ciudad Universitaria Meléndez. Santiago de Cali, Colombia.: Universidad del Valle.
31. Triola, M. F. (2009). *Estadística* (10ma Edición ed.). México: Pearson Educación.
32. World Health Organization. (2006). *Safe use of Wastewater Excreta and Greywater* (Vol. I). (W. H. Organization, Ed.) Ginebra, Suiza: WHO publications.



## ANEXOS

### 1. Tablas de resultados para proceso de investigación y evaluación.

Tabla X. Datos fisicoquímicos de agua de proceso para lavado de prendas de lona

FECHA	Temperatura °C	pH -	Turbidez FAU	Conductividad µS/cm	Color U. PtCo
15/03/2014	24.10	6.50	0.00	522.00	
17/03/2014	21.00	6.00	0.00	473.00	0.00
19/03/2014	23.00	6.50	0.00	532.00	0.00
22/03/2014	23.00	7.00	0.00	525.00	15.00
24/03/2014	22.40	6.50	4.00	469.00	10.00
26/03/2014	21.00	7.00	3.00	497.00	8.00
29/03/2014	23.00	6.50	2.00	496.00	15.00
01/04/2014	23.00	6.50	1.00	490.00	27.00
03/04/2014	24.00	7.00	0.00	509.00	0.00
06/04/2014	24.00	7.00	2.00	489.00	0.00
08/04/2014	24.00	6.50	0.00	494.00	0.00
10/04/2014	24.00	7.00	0.00	500.00	0.00
13/04/2014	25.00	6.00	2.00	497.00	0.00
15/04/2014	23.00	6.50	0.00	496.00	0.00
17/04/2014	23.00	6.50	0.00	496.00	0.00
22/04/2014	24.00	7.00	0.00	446.00	2.00
24/04/2014	24.00	7.00	0.00	446.00	2.00
26/04/2014	25.00	6.50	0.00	478.00	2.00

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla XI. Resultados promedio para valores fisicoquímicos de agua tratada.

FECHA	Cloro residual (ppm Cl-)	pH	Conductividad (µSc/cm)	Color (U PtCo)	Turbidez (FAU)
15/03/2014	0.00	7.00	1,800.00	244.50	22.25
17/03/2014	0.40	7.00	1,850.00	232.25	21.00
19/03/2014	0.40	7.00	1,900.00	171.50	16.25
22/03/2014	0.40	7.00	1,850.00	159.25	12.75
24/03/2014	0.40	7.00	1,775.00	130.75	10.50
26/03/2014	0.40	7.00	1,875.00	122.75	11.25
29/03/2014	0.30	7.00	1,900.00	166.67	16.00
01/04/2014	0.30	7.00	1,933.33	147.00	9.67
03/04/2014	0.40	7.00	1,900.00	129.00	9.50
06/04/2014	0.20	7.00	1,900.00	111.00	7.50
08/04/2014	0.40	7.00	1,925.00	128.00	9.25
10/04/2014	0.40	7.00	1,925.00	109.25	8.50
13/04/2014	0.10	7.00	1,900.00	102.50	9.00
15/04/2014	0.00	7.00	1,900.00	72.00	9.00
17/04/2014	0.00	7.00	1,900.00	87.50	12.00
22/04/2014	0.03	7.00	1,950.00	88.75	10.00
24/04/2014	0.07	7.00	1,900.00	80.75	7.50
26/04/2014	0.10	7.00	1,975.00	89.00	8.75

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla XII. **Parámetros comparativos de mezclas de agua tratada y agua de proceso (% de agua tratada)**

Parámetros	Fecha	Porcentajes de Mezcla		
		25.0%	12.5%	10.0%
pH	14/04/2014	6.5	6.5	6.5
	06/05/2014	7.0	7.0	7.0
	15/05/2014	6.5	6.5	6.5
	22/05/2014	6.5	6.5	6.5
	30/05/2014	6.5	6.5	6.5
Color U PtCo	14/04/2014	48.0	33.0	23.0
	06/05/2014	24.0	30.0	19.0
	15/05/2014	35.0	25.0	21.0
	22/05/2014	64.0	40.0	37.0
	30/05/2014	38.0	22.0	18.0
Turbidez FAU	14/04/2014	4.0	2.0	2.0
	06/05/2014	4.0	3.0	3.0
	15/05/2014	5.0	2.0	1.0
	22/05/2014	5.0	2.0	3.0
	30/05/2014	5.0	4.0	3.0
Temperatura °C	14/04/2014	25.1	25.1	25.0
	06/05/2014	27.0	27.0	26.9
	15/05/2014	26.8	26.9	26.8
	22/05/2014	27.0	27.0	27.0
	30/05/2014	25.0	25.0	25.0
Conductividad μS/cm	14/04/2014	964.0	801.0	732.0
	06/05/2014	1053.0	767.0	696.0
	15/05/2014	959.0	728.0	697.0
	22/05/2014	1016.0	753.0	724.0
	30/05/2014	1037.0	741.0	708.0

Fuente: elaboración propia, 2014

## 2. Cálculos de valor económico de ahorro

Partiendo del supuesto que el valor de cada metro cúbico que se ingresara tendrá el costo asociado de la tasa social domiciliar que la empresa nacional (EMPAGUA) maneja para la distribución del agua municipal, primero se debe establecer en que rango de las tasas disponibles se hará el cálculo. La tabla 13.4 muestra cuales son los rangos de consumo por m<sup>3</sup>:

Tabla XIII. Rangos de consumo mensual para costos por EMPAGUA

Rango de consumo (mensual)	Costo por m <sup>3</sup> (tasa sin IVA)	Alcantarillado	Cargo Fijo (sin IVA)
1 a 20	Q 1.12	20%	Q 16.00
21 a 40	Q 1.76	20%	Q 16.00
41 a 60	Q 2.24	20%	Q 16.00
61 a 120	Q 4.48	20%	Q 16.00
121 o más	Q 5.60	20%	Q. 16.00

Fuente: Empresa Municipal de Agua de Guatemala (2014)

Tomando en consideración que la cantidad estimada para un porcentaje del 25% para el efluente, obtenida a partir de la cantidad que se descarga diaria de es de 632 m<sup>3</sup> diarios, el valor máximo sería:

$$\text{Volumen de reutilización diario} = 632\text{m}^3 \times 0.25$$

$$\text{Volumen de reutilización diario} = 156 \text{ m}^3$$

De los 156 m<sup>3</sup> obtenidos diarios, partiremos con el rango de consumo según la Tabla 13, se observa que el rango a utilizar será de 121 o más metros cúbicos consumidos como parte del ejercicio para determinación del costo del ahorro.

Con estos datos se van obteniendo cada uno de los valores solicitados por la misma tabla:

$$\text{Costo por } m^3 = \frac{Q.5.60}{m^3} \times \left( \frac{156 m^3}{\text{día}} \times 30 \text{ días} \right)$$

$$\text{Costo por } m^3 = Q 26,208$$

A partir del costo total de consumo se determina el valor del alcantarillado y el costo total sin IVA:

$$\text{Alcantarillado} = \text{Costo por } m^3 \times 0.20$$

$$\text{Alcantarillado} = Q 26,208 \times 0.20$$

$$\text{Alcantarillado} = Q. 5,241.60$$

$$\text{Costo total ahorrado} = Q. 26,208.00 + Q. 5,241.60 + Q 16.00$$

$$\text{Costo total ahorrado} = Q. 31,465.60 \text{ NO IVA}$$

Para agregar el valor real de ahorro hay que tomar en cuenta que se paga un valor de IVA por el servicio, por lo tanto el valor asciende a:

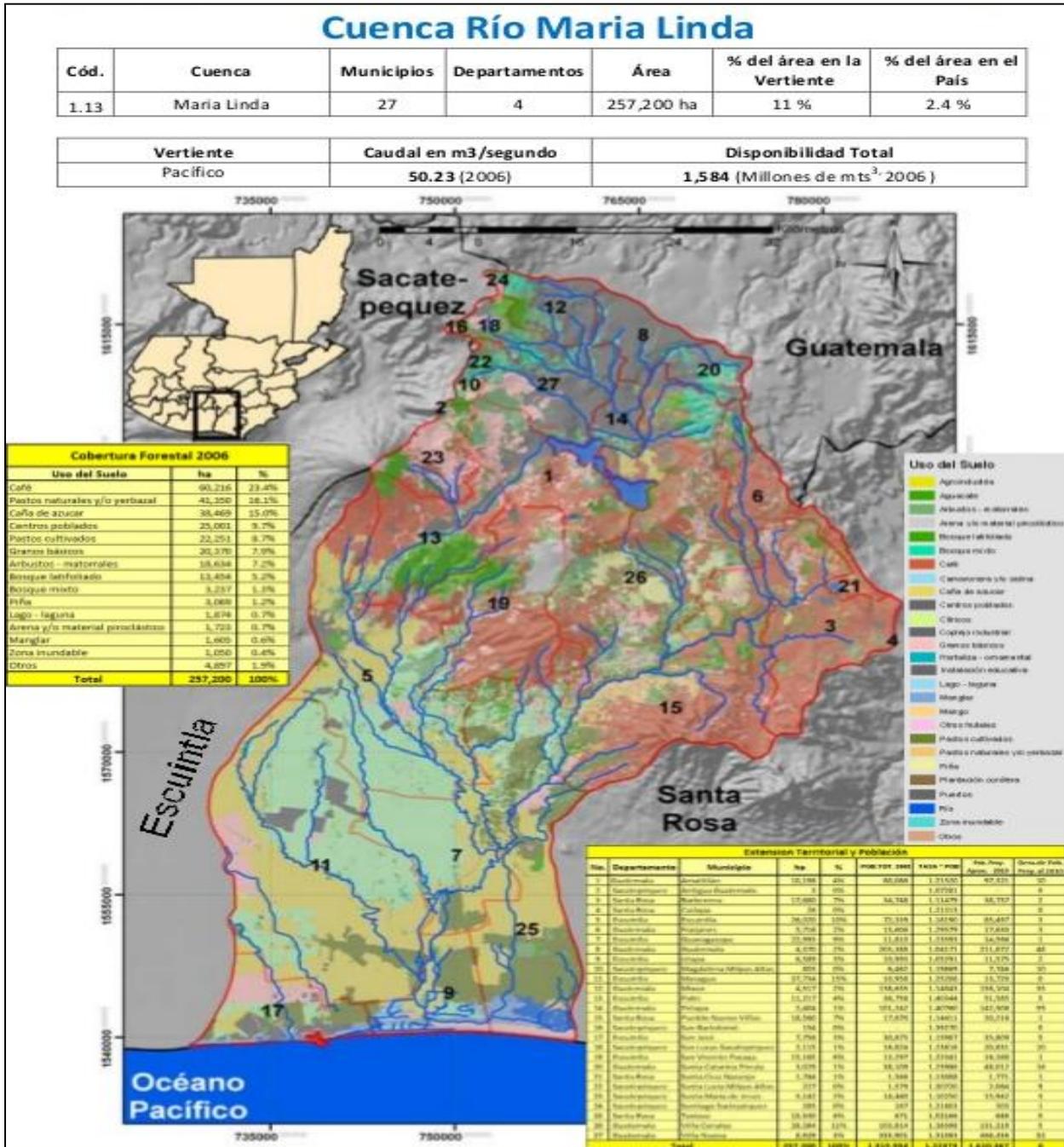
$$\text{Costo total ahorrado} = Q. 31,465.60 \times 1.12 = Q. 35,241.47$$

Si esto se maneja en moneda internacional, el impuesto de valor agregado no se incluye y el total de ahorro mensual por recirculación del 25% del efluente en el sistema es determinado de la siguiente forma:

$$\text{Costo total ahorrado} = Q. 31,465.60 \times T.C \text{ del día}$$

$$\text{Costo total ahorrado} = Q. 31,465.60 \times Q. 7.73842 \times \$1.00$$

### 3. Mapa de ubicación cuenca María Linda en municipio de Guatemala.



Paso de cuenca María Linda por sector identificado como no. 12 para Mixco.

Fuente: Suárez, G. (2011), Página 21.

**4. Acuerdo Gubernativo 236-2006, Artículo 20. Parámetros de control para descarga de aguas residuales**

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

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

## 5. Datos recabados para proyecto

Los datos recabados para la investigación se subdividen en las siguientes tablas, las cuales fueron generadas por el propio investigador:

Tabla XIV. **Parámetros medidos para efluente de planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa evaluada.**

Fecha	Color U PtCo	Turbidez FAU	pH	T °C	DBO PPM	DQO PPM	Conductividad $\mu\text{S}/\text{CM}$	m <sup>3</sup> Efluente
28/02/2014	214	18.2	7.00	24	24.09	53	1,760.00	570
01/03/2014	200.2	14.6	7.00	25	24.09	53	1,760.00	660
02/03/2014	202.2	22.8	7.00	21	24.09	53	1,760.00	250
03/03/2014	175.2	10	7.00	22	24.09	53	1,760.00	10
04/03/2014	232	12.2	7.00	25	24.09	53	1,760.00	550
05/03/2014	252.6	19	7.00	25	24.09	53	1,760.00	780
06/03/2014	182	15	6.00	25	24.09	53	1,760.00	830
07/03/2014	177.8	12.4	7.00	15	24.09	53	1,685.00	840
08/03/2014	177.2	16	7.00	15	24.09	53	1,685.00	910
09/03/2014	173.6	15	7.00	15	24.09	53	1,685.00	0
10/03/2014	197.2	13.2	7.00	23	24.09	53	1,685.00	400
11/03/2014	188.2	14.8	7.00	24.2	24.09	53	1,685.00	300
12/03/2014	188.2	14.8	7.00	24.2	24.09	53	1,685.00	0
13/03/2014	300	28	6.00	25	24.09	53	1,685.00	1710
14/03/2014	370.4	33.2	7.00	22	24.09	53	1,685.00	460
15/03/2014	286.8	29	6.00	14	24.09	53	1,685.00	700
16/03/2014	281.6	27.8	7.00	15	24.09	53	1,685.00	250
17/03/2014	282	24	6.00	15	24.09	53	1,685.00	40
18/03/2014	309.8	32.4	6.00	14	24.09	53	1,685.00	780
19/03/2014	323.8	29.6	6.00	14	24.09	53	1,685.00	290
20/03/2014	317.8	32.2	7.00	14	24.09	53	1,685.00	440
21/03/2014	267.2	27.2	7.00	15	4.55	10	1,886.00	840
22/03/2014	264.4	26.8	7.00	15	4.55	10	1,886.00	0
23/03/2014	220	20	7.00	14	4.55	10	1,886.00	770
24/03/2014	183.6	19.4	7.00	15	4.55	10	1,886.00	30
25/03/2014	201	20	7.00	18	4.55	10	1,886.00	460
26/03/2014	187.8	20.2	7.00	20	4.55	10	1,886.00	500
27/03/2014	308	23.75	6.00	14	4.55	10	1,886.00	1040
28/03/2014	286.8	29.5	6.00	14	4.55	10	1,886.00	1230
29/03/2014	286.8	29.5	6.00	14	4.55	10	1,886.00	0
30/03/2014	289.2	26	7.00	19	4.55	10	1,886.00	160
31/03/2014	281.8	25.6	7.00	16	4.55	10	1,886.00	10

Fecha	Color U PtCo	Turbidez FAU	pH	T °C	DBO PPM	DQO PPM	Conductividad $\mu\text{S}/\text{CM}$	m <sup>3</sup> Efluente
01/04/2014	294.8	27.4	7.00	17	4.55	10	1,886.00	910
02/04/2014	284.8	21.8	7.00	19	4.55	10	1,886.00	730
03/04/2014	226	16.4	7.00	16	4.55	10	1,886.00	600
04/04/2014	150	12	7.00	24	4.55	10	1,886.00	1650
05/04/2014	158.8	13.2	7.00	16	-	0	1,988.00	670
06/04/2014	175	12.6	7.00	16	-	0	1,988.00	60
07/04/2014	143.6	13.4	7.00	16	-	0	1,988.00	920
08/04/2014	199.2	18.8	7.00	16	-	0	1,988.00	1250
09/04/2014	220	18.2	7.00	18	-	0	1,988.00	1270
10/04/2014	191.8	19.4	7.00	19	-	0	1,988.00	950
11/04/2014	323.8	29.6	6.00	14	-	0	1,988.00	0
12/04/2014	177.2	16	6.00	15	-	0	1,988.00	0
13/04/2014	177.2	16	6.00	15	-	0	1,988.00	0
14/04/2014	159	13	6.00	15	-	0	1,988.00	1810

Fuente: Propia del autor, 2014

Tabla XV. Parámetros medidos para agua de proceso de lavandería (agua pre lavado).

FECHA	Temperatura °C	pH -	Turbidez FAU	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$	Color U. PtCo
15/03/2014	24.10	6.50	0.00	522.00	
17/03/2014	21.00	6.00	0.00	473.00	0.00
19/03/2014	23.00	6.50	0.00	532.00	0.00
22/03/2014	23.00	7.00	0.00	525.00	15.00
24/03/2014	22.40	6.50	4.00	469.00	10.00
26/03/2014	21.00	7.00	3.00	497.00	8.00
29/03/2014	23.00	6.50	2.00	496.00	15.00
01/04/2014	23.00	6.50	1.00	490.00	27.00
03/04/2014	24.00	7.00	0.00	509.00	0.00
06/04/2014	24.00	7.00	2.00	489.00	0.00
08/04/2014	24.00	6.50	0.00	494.00	0.00
10/04/2014	24.00	7.00	0.00	500.00	0.00
13/04/2014	25.00	6.00	2.00	497.00	0.00
15/04/2014	23.00	6.50	0.00	496.00	0.00
17/04/2014	23.00	6.50	0.00	496.00	0.00

FECHA	Temperatura °C	pH -	Turbidez FAU	Conductividad μS/cm	Color U. PtCo
22/04/2014	24.00	7.00	0.00	446.00	2.00
24/04/2014	24.00	7.00	0.00	446.00	2.00
26/04/2014	25.00	6.50	0.00	478.00	2.00

Fuente: Propia del autor, 2014