



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS  
AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE LA FORMULACIÓN Y  
EVALUACIÓN DE UN DETERGENTE-EMULSIONANTE BIODEGRADABLE PARA SU USO  
EN EL PROCESO DE PRETRATAMIENTO**

**Ana Lucía Sánchez Meyer**

Asesorado por la MSc. Inga. Frances Annette Recari Fernández

Guatemala, julio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS  
AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE LA FORMULACIÓN Y  
EVALUACIÓN DE UN DETERGENTE-EMULSIONANTE BIODEGRADABLE PARA SU USO  
EN EL PROCESO DE PRETRATAMIENTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ANA LUCÍA SÁNCHEZ MEYER**

ASESORADO POR LA MSC. INGA. FRANCES ANNETTE RECARI FERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, JULIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Victor Herbert de León Morales
EXAMINADORA	Inga. Rosa María Girón Ruiz
EXAMINADOR	Ing. Manuel Galván Estrada
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE LA FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN DETERGENTE-EMULSIONANTE BIODEGRADABLE PARA SU USO EN EL PROCESO DE PRETRATAMIENTO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 09 de julio de 2013.



**Ana Lucía Sánchez Meyer**



Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142

ADSE-MEAPP-0017-2013

Guatemala, 09 de julio de 2013.

Director:  
Victor Manuel Monzón Valdez  
Escuela de Ingeniería Química  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación de la estudiante **Ana Lucía Sánchez Meyer** con carné número **1995-16032**, quien opto la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Energía y Ambiente**.

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

Sin otro particular, atentamente,

"Id y enseñad a todos"

MSc. Inga. Frances Annette Recari Fernández  
Asesor (a)

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

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepue.  
Coordinador de Área  
Desarrollo social y energético

M. Sc. Ing. Frances Recari  
Colegiado 743

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



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.



El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la estudiante, **ANA LUCÍA SÁNCHEZ MEYER**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en ENERGÍA Y AMBIENTE** titulado **"DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE LA FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN DETERGENTE-EMULSIONANTE BIODEGRADABLE PARA SU USO EN EL PROCESO DE PRETRATAMIENTO"**. Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

*"Id y Enseñad a Todos"*



Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, julio 2013

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

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

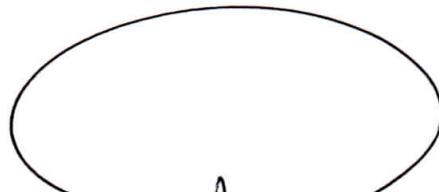


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 515 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE LA FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN DETERGENTE-EMULSIONANTE BIODEGRADABLE PARA SU USO EN EL PROCESO DE PRETRATAMIENTO**, presentado por la estudiante universitaria: **Ana Lucía Sánchez Meyer**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy/Olympto Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, 22 de julio de 2013

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por estar siempre conmigo y ser mí guía en cada paso que doy.
- Mis padres** Carlos Sánchez y Silvia Meyer de Sánchez, son mi ejemplo y mi inspiración.
- Mis hermanos** Juan Carlos y Karla María Sánchez, por estar siempre presentes en todo momento.
- Mis abuelos** Pedro Meyer, Arturo Sánchez, Hortencia de Sánchez, Berta de Meyer y Luisa Bautista. Por ser los ángeles guardianes de mi vida.
- Mis tíos** Eduardo Meyer, Hilda de Meyer y Carolina Sánchez. Por ser una importante influencia en mi vida.
- Mis amigos** Por todo su apoyo y cariño en todo este tiempo.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por permitirme llegar hasta donde he llegado y por estar siempre a mi lado.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi casa de estudios.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por haberme formado profesionalmente, en especial a la Escuela de Ingeniería Química y a la Escuela de Estudios de Postgrado por todas las enseñanzas.
<b>Mi familia</b>	Por estar siempre pendientes de mí y compartir conmigo mis penas y alegrías.
<b>Inga. Frances Recari</b>	Por aceptar asesorar este trabajo y por toda su ayuda desinteresada.
<b>Mis amigos</b>	Por estar siempre en las buenas y en las malas, y sobre todo por todo el apoyo y el cariño demostrado.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	01
2. ANTECEDENTES .....	05
3. OBJETIVOS .....	07
4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	09
5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	13
6. ALCANCES DEL TEMA .....	15
7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	17
7.1. El agua .....	17
7.1.1. El ciclo hidrológico .....	18
7.1.2. Disponibilidad de agua en Guatemala.....	18
7.1.3. Usos y calidad del agua .....	19
7.2. Impacto ambiental de la industria textil en Guatemala .....	20
7.2.1. Contaminación del agua .....	20
7.2.1.1. Tipos de contaminantes del agua.....	21

7.2.2.	Contaminación de aguas residuales por la industria textil .....	24
7.2.3.	Contaminantes ambientales químicos, tóxicos y persistentes de la industria textil.....	25
7.2.3.1.	Alquilfenoles .....	26
7.2.3.2.	Ftalatos.....	27
7.2.3.3.	Retardantes de flama bromados y clorados .....	27
7.2.3.4.	Colorantes –azo .....	28
7.2.3.5.	Compuestos organo-estánicos .....	28
7.2.3.6.	Químicos Perfluorados (PFC).....	28
7.2.3.7.	Clorobencenos .....	29
7.2.3.8.	Solventes clorados .....	29
7.2.3.9.	Clorofenoles .....	29
7.2.3.10.	Parafinas cloradas de cadena corta..	30
7.2.3.11.	Metales pesados: cadmio, plomo, mercurio y cromo (VI) .....	30
7.2.4.	Contaminación de aguas residuales domésticas por textiles .....	31
7.2.5.	Monitoreo ambiental por parte de los clientes extranjeros.....	32
7.2.6.	Legislación ambiental .....	33
7.3.	Descripción del sector textil en Guatemala.....	35
7.3.1.	Generalidades .....	35
7.3.2.	Clasificación del sector textil.....	36
7.4.	Conceptos básicos de la industria textil.....	37
7.4.1.	Proceso húmedo de textiles .....	37
7.4.2.	Proceso de pretratamiento de textiles.....	38

7.4.3.	Productos químicos y auxiliares utilizados en el pretratamiento.....	41
7.4.3.1.	Detergente / emulsionante .....	41
7.4.3.2.	Secuestrante y/o dispersante de dureza .....	42
7.4.3.3.	Lubricante .....	42
7.4.3.4.	Antiespumante .....	43
7.4.3.5.	Estabilizador de peróxido de hidrógeno .....	43
7.4.3.6.	Soda cáustica .....	44
7.4.3.7.	Peróxido de hidrógeno .....	44
7.4.3.8.	Enzima catalasa.....	44
7.5.	Fabricación de productos auxiliares para la industria textil .....	44
7.5.1.	Mercado local .....	45
7.5.2.	Mercado internacional.....	45
7.5.3.	Producción de un detergente/emulsionante Para la industria textil.....	46
7.5.3.1.	Materia prima utilizada en la actualidad para la producción de un detergente/emulsionante .....	46
7.5.3.2.	Materia prima biodegradable sustituta de los alquilfenol etoxilados.....	47
8.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN .....	49
9.	CONTENIDO PROPUESTO DEL INFORME FINAL .....	51
10.	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	55

11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	73
12.	RECURSOS NECESARIOS .....	75
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	77

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	La ropa y el ciclo tóxico global.....	32
2.	Diagrama de flujo general del proceso de pretratamiento textil .....	41

### TABLAS

I.	Marco legal vigente relacionado con el ambiente en el sector textil.....	34
II.	Algunas regulaciones internacionales de productos dañinos al ambiente y tóxicos en el sector textil .....	35
III.	Tipo de variables e indicadores .....	56
IV.	Formulaciones propuestas.....	59
V.	Resultado de tiempo de humectación de algodón crudo.....	61
VI.	Resultado de formación de espuma .....	63
VII.	Resultado de prueba de la gota y rehumectación .....	65
VIII.	Medias de resultados de pruebas del producto original .....	66
IX.	Medias de resultados de pruebas de los ensayos .....	67
X.	Porcentajes de importancia de pruebas de aplicación .....	68
XI.	Punteo de humectación de algodón en crudo .....	68
XII.	Punteo de formación de espuma .....	69
XIII.	Punteo de prueba de la gota.....	69
XIV.	Punteo de rehumectación .....	70
XV.	Índice textil ponderado de ensayos.....	71
XVI.	Recursos humanos (financiado por el estudiante-investigador) .....	75

XVII.	Materiales e insumos (financiado por el estudiante-investigador).....	75
XVIII.	Infraestructura (financiado por el estudiante-investigador) .....	76

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>DEHP</b>	bis (2-etilhexil) ftalato
<b>cm</b>	Centímetro
<b>cc</b>	Centímetro cúbico
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxígeno
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno
<b>PBDE</b>	Éteres polibromados de difenilo
<b>DBP</b>	ftalato de dibutilo
<b>g</b>	Gramo
<b>g/l</b>	Gramo por litro
<b>&gt;</b>	Mayor a
<b>&lt;</b>	Menor a
<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos
<b>mg/l</b>	Miligramos por litro
<b>ml</b>	Mililitros
<b>NPs</b>	Nonilfenoles
<b>NPEs</b>	Nonilfenol etoxilados
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>PBT</b>	Persistentes, bioacumulativos y tóxicos
<b>%</b>	Porcentaje
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>Q</b>	Quetzales
<b>PFC</b>	Químicos perfluorados
<b>BFR</b>	Retardantes a la flama bromados



## GLOSARIO

<b>Agua residual</b>	Agua que ha sido usada y que está contaminada.
<b>Alquilfenol</b>	Surfactantes usados para detergentes, pesticidas y productos industriales.
<b>Bioacumulativos</b>	Sustancias que pueden acumularse en los organismos, e incluso aumentar su concentración a medida que se abren camino hasta la cadena alimenticia.
<b>Biodegradable</b>	Sustancia que puede descomponerse en los elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos, bajo condiciones ambientales naturales.
<b>Contaminación</b>	Es la alteración nociva del estado natural de un medio como consecuencia de la introducción totalmente ajeno a ese medio, causando inestabilidad, desorden, daño o malestar en un ecosistema, en un medio físico o en un ser vivo.
<b>Nonilfenol etoxilado</b>	Es de la familia de los alquilfenoles. Es tóxico y se utiliza para la producción de detergentes, pesticidas y otros productos industriales.

<b>Persistentes</b>	Sustancias que no se degradan fácilmente en el medio ambiente.
<b>Pretratamiento</b>	Proceso textil que se realiza para acondicionar el material textil y que sea apto para el proceso de tintura.
<b>Proceso húmedo</b>	Serie de procesos textiles que utilizan agua, comprenden el pretratamiento, tintura y acabados.
<b>Tóxicos</b>	Sustancias que produzcan un efecto dañino sobre los seres vivos al entrar en contacto con ellos.

## RESUMEN

En Guatemala, al igual que en el resto del mundo, la descarga de las aguas residuales sin tratamiento previo causa diferentes grados de contaminación a los ecosistemas. La industria en general es una de las fuentes principales de generación de contaminantes. La industria textil es uno de los sectores industriales más importantes de la economía guatemalteca y cabe resaltar, que utiliza grandes cantidades de agua para sus procesos productivos.

El presente diseño de trabajo de graduación se realiza debido a la creciente preocupación de parte de la industria textil, que se ha dado desde hace aproximadamente tres años en Guatemala, debido a la contaminación de las aguas residuales a partir de determinadas materias primas de productos detergentes/emulsionantes y otros auxiliares que se utilizan durante el proceso húmedo de la industria textil. Esta preocupación se manifestó debido al rechazo de los consumidores finales, en países miembros de la Unión Europea y Estados Unidos, de prendas textiles fabricadas en Guatemala, con productos auxiliares producidos con materias primas contaminantes, persistentes y poco biodegradables.

Se formulará y evaluará un nuevo detergente/emulsionante biodegradable para utilizarlo en el proceso de pretratamiento de la industria textil, con el fin de reducir los parámetros fisicoquímicos indicadores de contaminación de las aguas residuales generadas por esta industria, cómo lo es la alta demanda de oxígeno, tanto química como biológica. Para comprobar la hipótesis planteada, se identificarán materias primas biodegradables que puedan sustituir las actuales.

Se están proponiendo cinco distintas formulaciones para el producto, utilizando tres materias primas biodegradables. A cada una de estas formulaciones se le realizarán pruebas de aplicación textil, para evaluar si poseen similares o mejores propiedades que el producto que se desea sustituir. Además, se realizará un análisis cromatografico, para determinar si está libre de ciertos contaminantes, específicamente de alquilfenoles.

Se espera, que al menos una de las formulaciones propuestas tenga propiedades similares o mejores que las del producto original y que esté exento de todo tipo de contaminantes químicos, persistentes, bioacumulativos y tóxicos.

# 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realiza dentro de las líneas de investigación de la Maestría en Energía y Ambiente de la Escuela de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, dentro de los requerimientos básicos de la Gestión Ambiental y específicamente dentro de la Evacuación Final de Efluentes Líquidos.

Se formulará y evaluará un nuevo detergente/emulsionante biodegradable para utilizarlo en el proceso de pretratamiento de la industria textil, con el fin de reducir los parámetros fisicoquímicos indicadores de contaminación de las aguas residuales generadas por esta industria, cómo lo es la alta demanda de oxígeno, tanto química como biológica. Para comprobar la hipótesis planteada, se identificarán materias primas biodegradables que puedan sustituir las actuales.

Se están proponiendo cinco distintas formulaciones para el producto, utilizando tres materias primas biodegradables. A cada una de estas formulaciones se le realizarán pruebas de aplicación textil, para evaluar si poseen similares o mejores propiedades que el producto que se desea sustituir. Además, se realizará un análisis cromatográfico, para determinar si está libre de ciertos contaminantes, específicamente de alquifenoles.

Se espera, que al menos una de las formulaciones propuestas tenga propiedades similares o mejores que las del producto original y que esté exento de todo tipo de contaminantes químicos, persistentes, bioacumulativos y tóxicos.

El marco teórico y conceptual se divide en cinco partes principales. La primera parte da una breve explicación de lo que es el agua, su importancia y la disponibilidad que tiene Guatemala de ese importante recurso. Esta sección es de vital importancia, ya que se debe comprender que es un recurso finito, necesario para vivir, el cual se está agotando a paso acelerado, por pura negligencia del ser humano.

La segunda sección describe el impacto ambiental que tiene la industria textil, dando primero el concepto de la contaminación del agua y que tipo de contaminantes existen en general. Luego se describe la contaminación de las aguas residuales generadas por esta industria, así como la contaminación de las aguas residuales domésticas provocada por prendas textiles contaminadas. Se detallan los contaminantes químicos que están actualmente restringidos y se da una breve explicación de ellos.

La tercera y cuarta sección da una descripción del sector textil en el país, así como su situación socioeconómica. Además se amplian los conceptos básicos sobre esta industria, para que el lector pueda comprender las diferentes actividades que comprende la aplicación textil.

En la quinta sección se explica como es la fabricación de productos auxiliares para la industria textil, las materias primas contaminantes y también las materias primas biodegradables que se están proponiendo para la formulación que se realizará.

En métodos y técnicas, se describe detalladamente el tipo de variables que se estarán trabajando en el experimento, así como su validez interna y externa, y además su manipulación y sus efectos. Se explica como se realizarán los experimentos y las pruebas de aplicación textil que se están proponiendo. Por último en el análisis de datos se menciona el análisis estadístico que se le aplicarán a los resultados de las pruebas.



## 2. ANTECEDENTES

- Los nonilfenol etoxilados (NPEs) son un grupo de químicos usados en la manufactura de textiles, en particular como surfactantes y detergentes. Cuando se encuentra directamente en aguas superficiales o en agua de tratamiento residuales, los NPEs se descomponen en nonilfenoles, un grupo muy persistente, bioacumulativo y además tóxico. El uso de estos productos en la manufactura de textiles también deja residuos dentro de la fibra. El laboratorio de investigación de Greenpeace hizo un estudio para determinar la presencia de NPEs en varias muestras de textiles recolectados en varios países y los resultados fueron positivos en 52 de 78 muestras. (Bridgen, Santillo, & Johnston, 2012).
- En Dinamarca, estudiaron compuestos químicos en las fibras textiles (Laursen, y otros, 2003) con la finalidad de analizar la presencia de algunos productos químicos seleccionados y evaluar si los químicos detectados en las cantidades detectadas son dañinas para la salud y para el ambiente. Se llegó a encontrar varias muestras que contenían productos dañinos para la salud, tóxicos y además bioacumulativos.
- En Madrid, España, registraron la patente “Derivados Fenólicos Lipófilos como Surfactantes” para la fabricación de surfactantes ecológicos en las industrias alimentarias, de agroquímicos, de higiene personal o farmacéuticas y que además tienen una baja o nula toxicidad. (España Patente nº PCT/ES2010/070857, 2011).

- El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Carreras García, 2008) redactó un Manual sobre Gestión Racional y Sostenible de Sustancias Químicas, en el que se fomenta una química sostenible, reduciendo o eliminando las sustancias químicas peligrosas en el diseño, producción o aplicación de productos químicos, a través del uso de materiales renovables no tóxicos y biodegradables, y evitando la generación de residuos.
- Beatrice Kogg de la Universidad de Lund en Suecia, realizó el estudio “Greening a Cotton-textile Supply Chain”, en el que se hizo el seguimiento de la transición a una producción textil completamente orgánica sin tener un proveedor local de materias primas. (Kogg, 2004).

### **3. OBJETIVOS**

#### **General**

Reducir la contaminación de las aguas residuales de la industria textil mediante la formulación y evaluación de un detergente-emulsionante biodegradable para su uso en el proceso de pretratamiento.

#### **Específicos**

1. Determinar la formulación del producto detergente-emulsionante, utilizando materias primas biodegradables y con menor toxicidad, manteniendo las propiedades humectantes y emulsionantes del producto original.
2. Determinar qué materias primas biodegradables y con menor toxicidad pueden sustituir a las que se están utilizando actualmente.
3. Describir el funcionamiento del nuevo producto, mediante pruebas de aplicación textil, para confirmar que tenga similares o mejores propiedades que el producto anterior.
4. Determinar por medio de métodos cromatográficos que el nuevo producto formulado, está libre de productos contaminantes y persistentes.



#### **4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo se realiza dentro de las líneas de investigación de la Maestría en Energía y Ambiente de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, dentro de los requerimientos básicos de la Gestión Ambiental y específicamente dentro de la Evacuación Final de Efluentes Líquidos.

En Guatemala, al igual que en el resto del mundo, la descarga de las aguas residuales sin tratamiento previo causa diferentes grados de contaminación a los ecosistemas. La industria en general es una de las fuentes principales de generación de contaminantes. La industria textil es uno de los sectores industriales más importantes de la economía guatemalteca y cabe resaltar, que utiliza grandes cantidades de agua para sus procesos productivos.

El presente trabajo se realiza debido a la creciente preocupación de parte de la industria textil, que se ha dado desde hace aproximadamente tres años en Guatemala, debido a la contaminación de las aguas residuales a partir de determinadas materias primas de productos detergentes/emulsionantes y otros auxiliares que se utilizan durante el proceso húmedo de la industria textil. Esta preocupación se manifestó debido al rechazo de los consumidores finales, en países miembros de la Unión Europea y Estados Unidos, de prendas textiles fabricadas en Guatemala, con productos auxiliares producidos con materias primas contaminantes, persistentes y poco biodegradables.

La importancia de elegir como tema específico la reformulación de un detergente/emulsionante para el proceso de pretratamiento de textiles, radica en que éste producto en particular se utiliza en todo tipo de fibra. Es necesario pretratar todas las fibras textiles antes de hacerles un tratamiento posterior (tintura y acabados). Es básico añadir, que el proceso de pretratamiento es el que más agua utiliza de todas las etapas de lavado industrial en un proceso húmedo.

En Guatemala, la demanda de agua cada vez se incrementa más, pero su calidad disminuye, debido a la deposición de desagües domésticos e industriales en los cuerpos de agua (ríos, lagos, mares, etc), sin ningún tratamiento previo o con tratamientos deficientes. Esto afecta la salud de la población en general y al mismo tiempo afecta negativamente a los organismos acuáticos y por consiguiente a los animales que se alimentan de estos.

Muy pocas textileras cuentan con plantas de tratamiento, la mayoría descargan sus aguas residuales al alcantarillado público, llegando a contaminar los ríos y lagos.

Lo que agrava el problema de las aguas residuales de la industria textil en Guatemala es que se desconoce la cantidad y tipo de contaminantes industriales que contengan. Además, contienen altos niveles de DBO, DQO, sólidos sedimentables y otros elementos que entran en los cuerpos de agua cada año.

Por lo anteriormente expuesto, se justifica la necesidad de formular un producto detergente/emulsionante con materias primas biodegradables, no bioacumulativas ni persistentes y con una toxicidad moderada, con el fin de eliminar de la cadena de producción textil guatemalteca específicamente a los

alquilfenoles, los cuales son tóxicos para la vida acuática, persistentes en el medio ambiente y acumulables en los tejidos del cuerpo humano, produciendo enfermedades. De esta manera, se estaría contribuyendo a la reducción de la contaminación de las aguas residuales de la industria textil y por consiguiente a la reducción de la contaminación de otros cuerpos de agua, como son ríos, lagos y mares.



## 5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La contaminación de las aguas residuales provenientes de la industria textil, es en Guatemala y alrededor del mundo, un problema que tomó mayor importancia desde hace aproximadamente cinco años, cuando un grupo de ecologistas (Greenpeace) realizó en un país asiático, en México y luego en otros países, una serie de estudios y análisis a las aguas residuales de unas textileras, obteniendo resultados que mostraban varios contaminantes químicos, algunos de ellos con características tóxicas, persistentes, bioacumulativas y poco biodegradables. Los análisis se le realizaron también al agua de los ríos cercanos a las textileras estudiadas y se obtuvieron los mismos resultados.

Además de los contaminantes químicos antes mencionados, el agua residual de esta industria se caracteriza por una alta demanda de oxígeno, tanto química como biológica, variaciones de pH, grasas y aceites, presencia de color, altas temperaturas, sólidos suspendidos y espuma.

En Guatemala, la mayoría de las empresas textileras vierten el agua que sale de las máquinas de lavado directamente al alcantarillado público, y en el caso de las industrias artesanales en el altiplano, las vierten directamente a los ríos o cuerpos receptores.

Secundariamente, a consecuencia de la investigación del grupo ecologista, desde finales del 2010, en Guatemala y en el resto de la región centroamericana, se está atravesando por la problemática del rechazo, por parte de los clientes finales, de ciertos productos químicos auxiliares para la industria textil, exactamente utilizados en el proceso húmedo de dicha industria.

La causa de esto es debido a que son productos fabricados con las materias primas contaminantes, tóxicas, persistentes y poco biodegradables, que fueron halladas en el estudio que se realizó.

Paralelamente los clientes finales exigen que los productos químicos auxiliares que se utilicen para la fabricación de sus textiles estén exentos de los contaminantes restringidos. Para lograr esto, las empresas nacionales e internacionales dedicadas a la fabricación de productos auxiliares, se ven en la necesidad de reformular, eliminando completamente los productos contaminantes de su cadena de producción.

La industria textil de Guatemala, considerado un país maquilador, debe obedecer estas exigencias, ya que la competencia internacional lo hace y si no se logra ofrecer los mismos servicios o mejores no se logrará continuar en el mercado.

Con todo lo anteriormente expuesto surgen las siguientes interrogantes:

- ¿Es posible la reducción de la contaminación de las aguas residuales provenientes de la industria textil?
- ¿Cuáles son los contaminantes químicos catalogados como tóxicos, persistentes y no biodegradables?
- ¿Existen productos químicos alternativos con menor toxicidad y biodegradables? Si existen, ¿tendrán las mismas propiedades de aplicación textil que los anteriores?
- ¿Cómo se puede determinar que el producto auxiliar reformulado está libre de los contaminantes químicos?

## **6. ALCANCES DEL TEMA**

Los alcances de la presente investigación se delimitan a nivel nacional, enfocándose principalmente en la gestión ambiental de las descargas de aguas residuales provenientes de las empresas textiles, con el fin de disminuir la contaminación química que estas llevan hasta otros cuerpos de agua, mediante la formulación de un producto detergente/emulsionante biodegradable, beneficiando de esta manera al ambiente, a la población guatemalteca, y paralelamente a la economía.

Es un estudio de carácter descriptivo y experimental, ya que se formulará un producto detergente/emulsionante, realizando pruebas con distintas combinaciones de dos materias primas biodegradables, con el fin de encontrar una formulación que obtenga el mejor resultado en las mediciones de varios parámetros textiles (se detallará en metodología) y que sea ambientalmente aceptable.

Las aguas residuales, específicamente las generadas por la industria textil, es contaminada por varios factores, entre los que se pueden mencionar: diferencias de pH, altas temperaturas y varios contaminantes ambientales de origen químico (se detallan en marco teórico y conceptual los once restringidos a nivel mundial). La presente investigación se enfocará solamente en la eliminación en la cadena de producción de textiles en Guatemala de los alquifénol etoxilados, reduciendo de esta manera la contaminación de las aguas residuales y por consiguiente de otros cuerpos de agua.



## **7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **7.1. El agua**

El agua es el líquido vital por excelencia y casi todas las formas de vida como árboles, animales, plantas y seres humanos dependen de ella para subsistir. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales; Embajada Británica , 2011). El hombre utiliza agua dulce para actividades cotidianas, tales como son la agricultura, en el hogar, en la industria, transporte, generación eléctrica, entre otras. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006).

A causa del aumento de la población y por el uso inadecuado de los bosques y fuentes de agua, se ha provocado que este recurso se vuelva día a día más escaso. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006). La escasez del agua a nivel mundial se ha convertido en una gran amenaza de la humanidad y la causa de múltiples tensiones y conflictos, ya que las disputas regionales por las fuentes de agua se incrementan. (Dirección General Ambiental Sectorial, 2002).

El mal uso que se le da al agua en pueblos y ciudades, así como la contaminación generada por los hogares y por la industria, así como la mala aplicación de pesticidas y el utilizar los ríos como basureros, han agravado considerablemente la escasez, ya que las fuentes de agua se vuelven inapropiadas para el consumo humano. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006).

### **7.1.1. El ciclo hidrológico**

“El agua es un elemento de la naturaleza, que se encuentra en tres formas o estados: líquido, sólido y gaseoso. El estado líquido se encuentra en lagos, ríos, mares, lluvia; el estado sólido en el hielo, el granizo y la nieve; y el estado gaseoso en el vapor y las nubes.” (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006).

El ciclo del agua comienza cuando el sol calienta la superficie de la tierra, evaporando el agua de mares, ríos y lagos. Luego este vapor sube a la atmósfera formando nubes, y mientras más altura alcanza se hace más frío, por lo que finalmente se condensa, formando gotas de agua. Cuando las gotas adquieren cierto tamaño y peso, caen de las nubes en forma de lluvia o de nieve, regresando a las tierras, bosques, lagos, ríos, etc. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales; Embajada Británica , 2011).

### **7.1.2. Disponibilidad de agua en Guatemala**

Por su posición geográfica, Guatemala se encuentra en el tránsito de los vientos húmedos que se originan en el Mar Caribe y en el Océano Pacífico; y por su cercanía con las fuentes de humedad, la precipitación en el país es muy intensa en las laderas de las montañas expuestas al tránsito de tales vientos. Como consecuencia y de acuerdo a los balances de agua anuales, el país cuenta con una cantidad significativa de agua que supera en forma abundante la demanda del recurso. La disponibilidad anual de agua se calcula en 97 120 millones de metros cúbicos. (Secretaría de Planificación y Programación, 2006)

El país posee tres regiones hidrográficas expresadas en 38 cuencas fluviales, 194 cuerpos de agua continentales, divididos en siete lagos, 49 lagunas, 109 lagunetas, 19 lagunas costeras, tres lagunas temporales y siete embalses distribuidos en 18 de los 22 departamentos del país y que abarcan una superficie de 1 067 kilómetros cuadrados. La disponibilidad anual de agua subterránea renovable se estima en 33 699 millones de metros cúbicos. (Secretaría de Planificación y Programación, 2006)

Guatemala pareciera estar solvente del riesgo hídrico, ya que cuenta con una oferta total estimada de 97 120 millones de metros cúbicos de agua; sin embargo, existen sectores en los cuales se manifiesta escasez severa de agua (stress hídrico), principalmente en las zonas secas del país: Zacapa, Chiquimula, Jutiapa y en las partes altas del altiplano. La disponibilidad per cápita es de alrededor 8 000 m<sup>3</sup>/persona/año. (Secretaría de Planificación y Programación, 2006)

### **7.1.3. Usos y calidad del agua**

El agua posee una infinidad de usos para el desarrollo de las actividades cotidianas del ser humano. Se puede mencionar: producción de energía eléctrica, riego, crianza de peces, industria, turismo y doméstico. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006).

Las características determinan si el agua es adecuada o no para cada uso. Por ejemplo, el agua para riego debe contener baja cantidad de sales, el agua para consumo humano no debe contener contaminantes ni microorganismos infecciosos que causen enfermedades, y la que se utilice para la generación de electricidad debe contener baja carga de sedimentos. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006).

Los distintos usos del agua poseen una importancia económica, la cual depende de la eficiencia en la generación de bienes y servicios, de su papel en la producción, así como del mayor o menor ahorro que se realice al utilizarla en el hogar. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006).

En Guatemala, el sistema nacional de información no ofrece datos sobre la calidad del agua como recurso natural ni como bien socialmente intervenido. No existen redes de monitoreo de la calidad de aguas superficiales y subterráneas, con excepción de algunos puntos estratégicos de la Empresa Municipal de Agua de la ciudad de Guatemala (EMPAGUA). (Secretaría de Planificación y Programación, 2006).

## **7.2. Impacto ambiental de la industria textil en Guatemala**

El impacto ambiental de la industria textil es el efecto que produce dicha industria sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos y que afectan a los ecosistemas guatemaltecos.

### **7.2.1. Contaminación del agua**

La fragilidad del medio acuático es a causa, entre otras razones, de su elevado poder disolvente para una amplia gama de productos de desecho, y a la vez es un vehículo excelente para la evacuación de materiales de muy diversa índole, tanto en estado sólido como en el líquido o gaseoso, bien sea en suspensión, disolución o flotación. (Capó Martí, 2002).

Las aguas superficiales son los colectores de multitud de sustancias procedentes de la superficie o incluso de las aguas residuales; muchas de estas materias se degradan en el propio medio acuático, pero otras son transportadas

hasta la desembocadura sin experimentar modificaciones sustanciales en su composición. De esta forma, el mar, los lagos, los ríos, los embalses, etc. se convierten en depósitos de contaminantes de naturaleza diversa. (Capó Martí, 2002).

Los problemas surgen cuando se altera el equilibrio en que se mantiene el medio acuático, sobrepasando los límites de tolerancia del sistema respecto a los procesos que lo gobiernan. Las consecuencias de la degradación del medio acuático se manifiestan fundamentalmente de dos formas:

- Pérdida de la calidad intrínseca o natural
- Disminución o agotamiento de los recursos (Capó Martí, 2002)

#### **7.2.1.1. Tipos de contaminantes del agua**

Contaminantes físicos

- Temperatura: interviene en la cantidad de oxígeno susceptible de permanecer disuelto en la masa acuática. También interviene en los procesos biológicos de las células y por consiguiente, en la velocidad de determinadas reacciones bioquímicas. Condiciona la posibilidad de supervivencia de algunas especies faunísticas supeditadas a la existencia de determinados umbrales térmicos para poder desarrollarse. Los incrementos de temperatura son debidos a la descarga de caudales que han pasado previamente por circuitos de refrigeración de plantas industriales.

El descenso de temperatura ocurre en los embalses, provocado por el agua que se vierte al río procedente de las turbinas.

- Radioactividad: la presencia de partículas radioactivas que se incorporaron al agua arrastradas por la atmósfera o procedentes de los circuitos de refrigeración de las centrales nucleares.
- Partículas en suspensión: a la masa acuática pueden incorporarse otras materias no solubles de diverso origen y naturaleza cuyos indicadores son la turbidez, el color, el sabor, el olor, la espumabilidad, etc.

#### Contaminantes químicos

- pH: se corrige con cierta rapidez a partir de procesos internos para alcanzar un punto neutro tolerable (6.5-7.5).
- Cloruros: por causas naturales se da en áreas con predominio de materiales salinos. Causado por el hombre, por vertidos industriales o domésticos o en la intrusión marina cuando se trata de pozos cercanos a zonas costeras. Arriba 50 mg/l se considera contaminación.
- Sulfatos: se da en lugares con abundancia de materiales ricos en sulfuros y con precipitación escasa. Valor máximo aceptable 200 mg/l.
- Fosfatos: es a consecuencia del uso de detergentes domésticos e industriales y abonos. Potencia la eutrofización. No debe sobrepasar los 0,31 mg/l.
- Oxígeno disuelto: procede del aire, los valores mínimos señalados para existencia de fauna piscícola se sitúan en cifras superiores al 50 % del valor de saturación.
- Compuestos nitrogenados: proceden de la descomposición de los restos animales y plantas, donde se degradan por microorganismos; también proceden de abonos. Junto con el fósforo causan la eutrofización. El máximo permitido es de 1,556 mg/l de amonio y de 11,1 mg/l de anhídrido nítrico.

- Metales: presencia de metales pesados debido a contaminación industrial. Los valores máximos recomendados son: 50 ppm de arsénico y cromo; 1 ppm de cadmio; 0,5 ppm de mercurio; 1 000 ppm de cobre y hierro.
- Detergentes: desde el punto de vista electroquímico se divide en:
  - Aniónicos: cargados negativamente, son de tipo carbónico, sulfato, sulfonato, fosfato, fosfónico, fosfórico, etc. Ej. Jabones
  - Catónico: cargado positivamente, son del tipo amoníaco y derivados de aminas.
  - Anfólitos: según las condiciones del medio se ionizan positiva o negativamente.
  - No iónicos: poseen grupos éteres-óxido o grupos epoxi.  
Su origen es industrial, agrícola o doméstico. El impacto ecológico que generan: disminución de la tensión del oxígeno en las aguas; muerte de los peces; perturbar las especies microbianas acuáticas; alteración de los fenómenos de membrana; dificultad en los procesos de autodepuración acuática.

#### Contaminantes biológicos

- Materia orgánica: proceden de la materia en descomposición que se origina o se incorpora al caudal y experimenta transformaciones al fermentar y desintegrarse.
- Microorganismos: proliferan bacterias, virus y microorganismos de diversa índole. Los patógenos tienen valores máximos recomendados para las aguas potables: 110 000 unidades/100ml para estreptococos; 20 000 para los colis fecales; y 50 000 para los colis totales. (Capó Martí, 2002).

### **7.2.2. Contaminación de aguas residuales por la industria textil**

La mayor contaminación del sector textil proviene del proceso húmedo, ya que es el proceso que más agua utiliza. (Centro Guatemalteco de Producción Más Limpia, 2008). Guatemala posee grandes recursos hídricos, pero la contaminación de parte de todas las industrias y también por las poblaciones, están acabando con ellos. (Prado, Hernández, Coj, Pineda, & Ventura, 2010).

Algo que caracteriza a las aguas residuales provenientes de la industria textil en Guatemala, es la alta demanda química de oxígeno (DQO), debido a los químicos y soluciones que utilizan durante todos sus procesos; también las variaciones de pH, presencia de grasas y aceites, también de color y altas temperaturas. Las empresas que no tienen sistemas de retención de sólidos, también presentan sólidos suspendidos. Con frecuencia, también hay presencia de espuma, de fósforo, y alquil- y nonilfenoles etoxilados debido a los detergentes utilizados para los pretratamientos. Es importante indicar que la cantidad y la calidad de las aguas residuales generadas en cada empresa depende del grado de tecnificación, del tamaño de la empresa, las prácticas operativas, y de la capacitación del personal. (Centro Guatemalteco de Producción Más Limpia, 2008).

La industria textil es un gran consumidor de químicos, muchos de ellos son tóxicos y persistentes, lo cual se convierte en una amenaza para los ecosistemas y para la salud humana. (Greenpeace International, 2011). Los químicos tóxicos son liberados en los desagües de forma directa por las industrias o de forma indirecta por los consumidores finales. Algunos de éstos químicos pueden persistir en el medio ambiente, acumularse en los ríos y penetrar la cadena alimenticia. (Greenpeace México A.C., 2012).

Según (Chavarría Pinzón, Producción Textil en Guatemala, 2013), en el 2012, se produjo alrededor de 120 millones de libras (aproximadamente 54,5 millones de kilos) de diferentes productos textiles. Todos los textiles son pretratados, y para éste proceso se utiliza normalmente una relación peso/volumen (de peso del material: volumen) de agua de: para 1 kilo de material se utiliza 7 litros de agua. Si en un año se produjo 54,5 millones de kilos de material textil, quiere decir que se utilizó cerca de 381,5 millones de litros de agua solamente para el proceso de pretratamiento. Por aparte, regularmente se utiliza 1,5 gramos de detergente/emulsionante por litro de agua. La composición química de este producto es a base de una materia prima contaminante y tóxica, de la familia de los alquilfenoles (ver su descripción en la siguiente sección). Esto quiere decir que en el 2012, se utilizó como mínimo 572 250 kilos de producto detergente/emulsionante en Guatemala. Todo este producto se descarga junto con las aguas residuales al finalizar el proceso de pretratamiento, y estas aguas llegan a contaminar otros cuerpos de agua.

### **7.2.3. Contaminantes ambientales químicos, tóxicos y persistentes de la industria textil**

Los químicos que causan una preocupación particular cuando son liberados al medio ambiente, muestran una o varias de las siguientes propiedades:

- Persistentes: no se degradan fácilmente en el medio ambiente.
- Bioacumulativos: pueden acumularse en los organismos, e incluso aumentar su concentración a medida que se abren camino hasta la cadena alimenticia.
- Tóxicos.

Los químicos con éstas propiedades se llaman PBTs (Persistentes, Bioacumulativos y Tóxicos). Los químicos de origen orgánico se denominan algunas veces como Contaminantes Orgánicos Persistentes (POPs por sus siglas en inglés), en la Convención de Estocolmo. (Greenpeace International, 2011).

A pesar de la dilución inicial en los volúmenes grandes de agua o aire, estos contaminantes pueden persistir el tiempo suficiente en el medio receptor para ser transportado a largas distancias, para concentrarse en los sedimentos y organismos, y algunos pueden incluso causar un daño significativo, incluso en lo que pueda parecer muy bajas concentraciones.

#### **7.2.3.1. Alquilfenoles**

Los compuestos de alquilfenoles comúnmente usados incluyen nonilfenoles (NPs) y octilfenoles y sus etoxilados, particularmente nonilfenol etoxilados. Los NPs son muy utilizados en la industria textil en los procesos de limpieza y de teñido. Son tóxicos para la vida acuática, persisten en el medio ambiente y se pueden acumular en el tejido corporal y biomagnificarse (aumento de la concentración a través de la cadena alimentaria). Su similitud con las hormonas naturales estrógenos, puede alterar el desarrollo sexual en algunos organismos, especialmente causando peces hermafroditas.

Los NPs son muy regulados en Europa y desde el 2005 es prohibido en todo el territorio estadounidense. (Greenpeace International, 2011)

### **7.2.3.2. Ftalatos**

En la industria textil son utilizados en los acabados que simulan el cuero artificial y en algunos colorantes. Existen preocupaciones sustanciales sobre la toxicidad de los ftalatos tales como DEHP (bis(2-etilhexil) ftalato), que es tóxico para la reproducción en los mamíferos, ya que puede interferir con la formación de sus testículos en sus primeros años de vida.

Los ftalatos DEHP y DBP (ftalato de dibutilo) son considerados como “tóxicos para la reproducción” en Europa y por lo mismo restringen su uso. Según la legislación REACH de los Estados Unidos, los ftalatos deberán estar completamente prohibidos para el 2015. (Greenpeace International, 2011).

### **7.2.3.3. Retardantes de flama bromados y clorados**

Muchos retardantes de flama bromados (BFRs) son químicos persistentes y bioacumulativos, que ahora están presentes por todo el medio ambiente. Los éteres polibromados de difenilo (PBDEs) son uno de los grupos más comunes de BFRs y son utilizados para que los materiales textiles y de otras industrias, sean no inflamables.

Algunos PBDEs son capaces de interferir con el sistema hormonal que está involucrado con el crecimiento y el desarrollo sexual. En los Estados Unidos y en Europa, algunos PBDEs están restringidos y son considerados como “sustancias prioritariamente tóxicas”. (Greenpeace International, 2011).

#### **7.2.3.4. Colorantes –azo**

Los colorantes –azo son unos de los colorantes que se utilizan en la industria textil. Sin embargo, algunos colorantes azoicos se degradan durante su uso y libera unos químicos, conocidos como aminas aromáticas, algunas de las cuales pueden causar cáncer. Los Estados Unidos ha prohibido el uso de estos colorantes azoicos en cualquier tipo de textil que entra en contacto directo con la piel del ser humano. (Greenpeace International, 2011).

#### **7.2.3.5. Compuestos órgano-estánicos**

Los compuestos órgano-estánicos son utilizados en los agentes biocidas y antimicrobiales. En textiles se utilizan sobre prendas como calcetines, zapatos y ropa deportiva para prevenir el olor causado por el sudor.

Estos compuestos persisten en el medio ambiente, se acumulan en el cuerpo y afecta el sistema inmunológico y reproductivo. Está prohibido en Europa y en Estados Unidos prohibió definitivamente a partir de enero del 2012. (Greenpeace International, 2011).

#### **7.2.3.6. Químicos perfluorados (PFC)**

Los químicos perfluorados son fabricados artificialmente y son utilizados para dar a los textiles propiedades de repelencia al agua.

Hay evidencias que demuestran que la mayoría de los productos perfluorados persisten en el medio ambiente y que se acumulan en el tejido humano y se biomagnetiza a través de la cadena alimentaria. Afecta el funcionamiento del hígado y altera las hormonas de crecimiento y

reproductoras. Son prohibidos en Europa y en Canadá. (Greenpeace International, 2011).

#### **7.2.3.7. Clorobencenos**

Son químicos persistentes y bioacumulativos que son utilizados como solventes y biocidas, en la producción de colorantes como químicos intermediarios. Los efectos a la exposición depende del tipo de clorobenceno, sin embargo, comúnmente afectan al hígado, a la tiroides y al sistema nervioso central. El más tóxico y persistente de éste grupo es el hexaclorobenceno.

Es considerado como un contaminante orgánico persistente y está prohibido tanto en Europa como en Estados Unidos. (Greenpeace International, 2011).

#### **7.2.3.8. Solventes clorados**

Son usados por los textileros para disolver otras sustancias durante la fabricación y para limpiar materiales textiles. El tricloro etano es una sustancia que afecta la capa de ozono y puede persistir en el medio ambiente. Afecta el sistema nervioso central, al hígado y los riñones. Desde el 2008 está prohibido en Estados Unidos. (Greenpeace International, 2011).

#### **7.2.3.9. Clorofenoles**

Son un grupo de químicos usados como biocidas, desde pesticidas para madera hasta agentes preservantes para textiles. Son altamente tóxicos para el ser humano y también para los organismos acuáticos. Los Estados Unidos

prohibió su uso desde 1991, y ahora prohíbe la venta de cualquier artículo que contenga éste producto. (Greenpeace International, 2011).

#### **7.2.3.10. Parafinas cloradas de cadena corta**

Se utilizan en la industria textil como agentes retardantes de flama, y agentes de acabado para textiles y cuero. Son altamente tóxicos para los organismos acuáticos, no se degradan y se acumulan en los organismos vivientes. Se restringió su uso en Estados Unidos desde 2004. (Greenpeace International, 2011).

#### **7.2.3.11. Metales pesados: cadmio, plomo, mercurio y cromo (VI)**

Los metales pesados como el cadmio, plomo y mercurio, son usados en algunos colorantes y pigmentos usados para textiles. Estos metales se pueden acumular en el cuerpo y son altamente tóxicos, con efectos irreversibles, incluyendo daño al sistema nervioso (plomo y mercurio) o a los riñones (cadmio). El cadmio también causa cáncer.

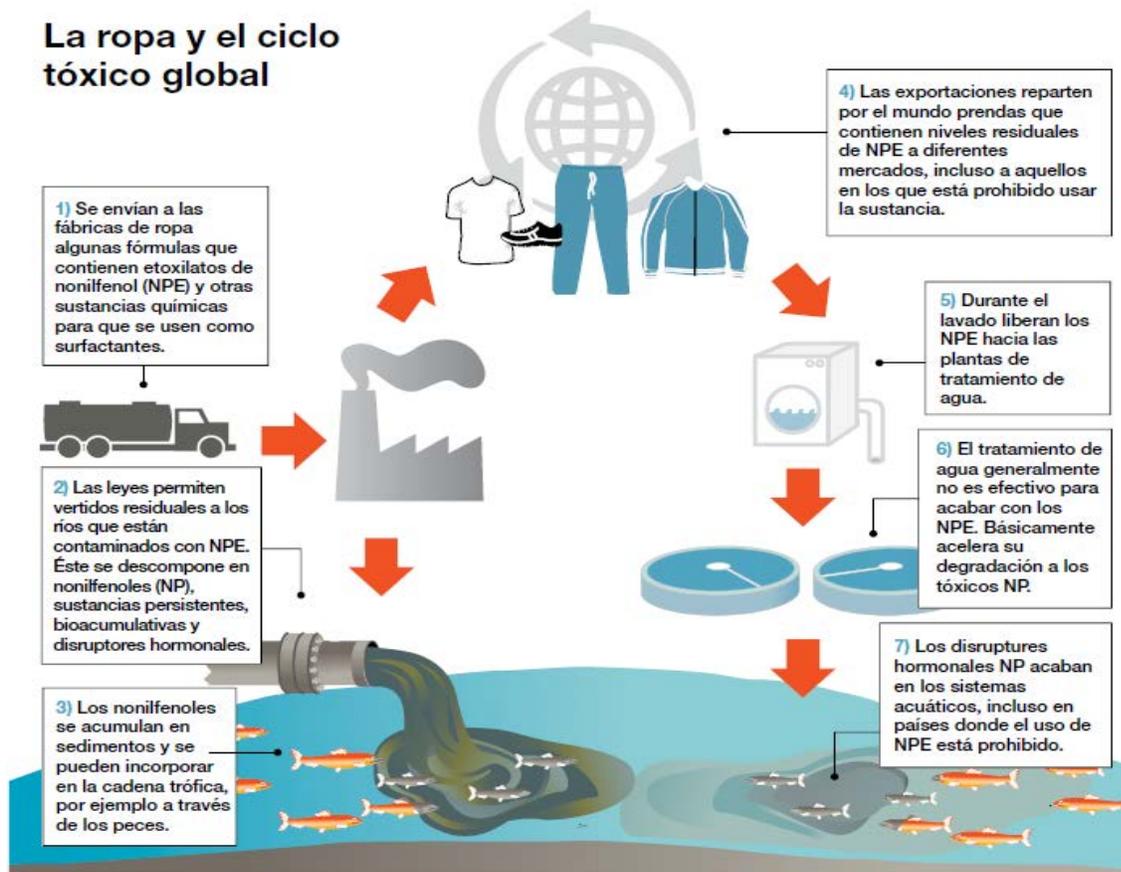
El cromo (VI) se usa en algunos procesos y en el curtido de cuero, es altamente tóxico hasta a bajas concentraciones, incluyendo para muchos organismos acuáticos. Es prohibido su uso en Estados Unidos y Europa. (Greenpeace International, 2011).

#### **7.2.4. Contaminación de aguas residuales domésticas por textiles**

Cuando los materiales textiles son tratados con químicos persistentes, tóxicos y bioacumulativos, como es el caso del grupo de nonilfenol etoxilados, la contaminación no se detiene cuando el agua residual es desechada en la textilera, sino que este químico en especial permanece sobre el material textil. Esto convierte a los usuarios finales en contribuyentes involuntarios en la contaminación de las aguas residuales domésticas de los países en los que se compran los productos textiles ya confeccionados. Esto llega a suceder cuando se lavan las prendas, se liberan niveles residuales de los nonilfenol etoxilados a los drenajes públicos. Aunque la cantidad de éste contaminante en una sola prenda textil sea mínima, el daño final lo causa la suma de todas las cantidades mínimas de todas las prendas contaminadas vendidas alrededor del mundo, convirtiendo una cantidad significativa de contaminante químico en el agua. (Greenpeace, 2011).

La siguiente figura explica mejor el ciclo tóxico global que pueda tener la ropa:

Figura 1. La ropa y el ciclo tóxico global



Fuente: (Greenpeace, 2011)

### 7.2.5. Monitoreo ambiental por parte de los clientes extranjeros

Muchas textileras están implementando en sus fábricas algunas acciones para proteger el ambiente. Lo que más están implementando es el reciclaje y la reutilización de los recursos; mejorar el manejo y transporte de los residuos; tratar de ahorrar agua; utilizar eficientemente la energía; e implementar tecnologías limpias. (Prado, Hernández, Coj, Pineda, & Ventura, 2010).

La realidad de que estén implementando medidas para proteger el ambiente es porque han sido requeridas por sus clientes. Por lo mismo, los mismos clientes han implementado unos sistemas de monitoreo para confirmar que se esté cumpliendo con sus exigencias y con la legislación ambiental. Además de solicitar por escrito los compromisos de que no se están utilizando los contaminantes químicos restringidos, también solicitan el análisis cromatográfico de los productos que determine que está libre de contaminantes.

Estos sistemas de monitoreo, son apoyados en Guatemala por las autoridades respectivas y se respalda con un Código de Conducta, creado por VESTEX para sus asociados. (Prado, Hernández, Coj, Pineda, & Ventura, 2010).

Para los textileros en Guatemala y en la región centroamericana, el cumplimiento de la legislación ambiental y de los requisitos exigidos por los clientes, significa mantenerse en el mercado o no. (Prado, Hernández, Coj, Pineda, & Ventura, 2010).

#### **7.2.6. Legislación ambiental**

Se presenta a continuación unas tablas que muestran las normativas y reglamentaciones vigentes más importantes del ordenamiento legal relacionado con el ambiente en el sector textil:

Tabla I. **Marco legal vigente relacionado con el ambiente en el sector textil**

<b>MARCO LEGAL VIGENTE</b>		
<b>LEYES</b>		
<b>Nombre</b>	<b>Tipo y Número del Instrumento Legal</b>	<b>Responsable</b>
Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente	Decreto 68-86 del Congreso de la República	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
<b>ACUERDOS GUBERNATIVOS Y MINISTERIALES</b>		
<b>Nombre</b>	<b>Tipo y número del Instrumento Legal</b>	<b>Responsable</b>
Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos	Acuerdo Gubernativo 236-2006	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales DIGARN a través de la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas
Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental	Acuerdo Gubernativo 431-07, y sus reformas AG33-08 y 89-08	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
Reglamento de Limpieza y Saneamiento Ambiental para el municipio de Guatemala	Acuerdo Municipal 04-01-82	Municipalidad de la ciudad de Guatemala
Manual General del Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos	Acuerdo Gubernativo 105-2008	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales DIGARN a través de la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas

Fuente: (Centro Guatemalteco de Producción Más Limpia, 2008).

Tabla II. **Algunas regulaciones internacionales de productos dañinos al ambiente y tóxicos en el sector textil**

REGULACIONES INTERNACIONALES		
Nombre	Tipo y Número del Instrumento Legal	Responsable
Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Químicos (European REACH)	Regulación N° 1907/2006	Unión Europea
California Proposition 65		OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment) Gobierno de California, USA
Washington Children's Safe Product Act	WAC 173-334	Departamento de Ecología, Estado de Washington, USA
Main Toxic Chemicals in Children's Products	Regulation of Chemical Use in Children's Products, Capítulos 880-883	Departamento de Protección Ambiental de Maine, USA

Fuente: (Gear for Sports, 2013).

### 7.3. Descripción del sector textil en Guatemala

Es el sector de la economía dedicado a la producción de telas, hilos, fibras y productos relacionados. En Guatemala es muy importante, ya que es una fuente generadora de empleos directos e indirectos.

#### 7.3.1. Generalidades

La industria textil guatemalteca está conformada por distintas actividades productivas que se interrelacionan entre sí, que abarca desde la producción de fibras textiles hasta la prenda confeccionada. (Centro Guatemalteco de Producción Más Limpia, 2008).

Cada una de las actividades mencionadas, puede considerarse una industria por separado, aunque el producto que se obtiene en cada de ellas, es la materia prima principal para la subsiguiente actividad del proceso de la industria textil. (Centro Guatemalteco de Producción Más Limpia, 2008).

### **7.3.2. Clasificación del sector textil**

Según la Guía de Buenas Prácticas Ambientales para el Sector Textil en Guatemala (Centro Guatemalteco de Producción Más Limpia, 2008), la industria textil se puede clasificar según su actividad productiva de la siguiente manera:

- Maquila de ropa
- Fabricación de tejidos (llamadas textileras)
- Servicios y accesorios

De estas tres, las textileras son las que más contaminan, debido a que se utilizan una gran cantidad de materias primas e insumos, y también generan más residuos, desechos y emisiones de dióxido de carbono. Este proceso puede ser subdividido en:

- Proceso de hilado o hiladuría
- Proceso de tejido o tejeduría
- Proceso húmedo (que comprende pretratamiento, tintura y acabado)

De las subdivisiones anteriores, el proceso húmedo, es crítico hablando de contaminación ambiental, por lo tanto, es el que se desarrollará el presente marco teórico, específicamente el subproceso de pretratamiento.

## **7.4. Conceptos básicos de la industria textil**

Es importante conocer ciertos conceptos básicos para la mejor comprensión del tema que se está desarrollando, los cuales se muestran a continuación.

### **7.4.1. Proceso húmedo de textiles**

Es una serie de subprocesos que utilizan agua, utilizados en la industria textil cuyo fin principal es otorgarle al producto textil una superficie con ciertas características requeridas por el cliente final. Los subprocesos son los siguientes:

- **Pretratamiento:** por ser el subproceso en el que se utilizan detergentes / emulsionantes, es el que se desarrollará con detalle en el siguiente inciso.
- **Tintura o teñido:** la fibra textil se somete a un tratamiento con colorantes y auxiliares de origen químico, para darle color al material.
- **Enjuagues:** se realizan enjuagues al finalizar la tintura, para eliminar el exceso de colorantes y químicos.
- **Acabados:** es el subproceso en el que se aplican químicos auxiliares, para darle al material textil el toque final requerido por el cliente final: suavidad, rigidez, impermeabilización, antimicrobianos, resistencia al fuego, etc. (Centro Guatemalteco de Producción Más Limpia, 2008).

#### **7.4.2. Proceso de pretratamiento de textiles**

Todos los materiales textiles que son teñidos, estampados o acabados tienen que ser preparados, con la excepción de los pantalones de lona (la lona también recibe un pretratamiento con un scour y una amilasa) y ciertos estilos de tejidos. La preparación también es conocida como pretratamiento y consiste en una serie de varios tratamientos y lavados, para obtener buenos resultados en los procesos posteriores. (U.S. Environmental Protection Agency, 2007). En el pretratamiento, se remueve todas las impurezas naturales (aceites, grasas, piojillo, hierro y sales de dureza, suciedades y pigmentos naturales) o agregadas a los sustratos durante los procesos de hilado, engomado e hilatura. (Salem, De Marchi, & Goncalves de Menezes, 2005).

El pretratamiento es el proceso de mayor volumen en la producción de una textilera. Los pretratamientos típicos incluyen: desengomado, descrude y blanqueo. Aunque también se puede incluir los procesos de mercerizado y de caustificado, los cuales alteran física y químicamente el material textil. (U.S. Environmental Protection Agency, 2007) A continuación se explicará brevemente cada tipo de pretratamiento:

- **Desengomado.** Es un paso importante del proceso de pretratamiento, usado para remover los materiales de engomado, aplicados previamente para poder tejer. Las fibras sintéticas son engomadas generalmente con gomas hidrosolubles que son removidas fácilmente con un lavado de agua caliente o bien durante el proceso de descrude. Pero las fibras naturales, como el algodón, son engomadas con almidones no hidrosolubles, o con mezclas de almidón con otros engomantes. Para eliminar el almidón, se utilizan enzimas junto con un detergente, con el fin de poder preparar el material para el proceso de descrude. Es necesario

remover el almidón antes del descruce, porque el almidón reacciona con el hidróxido de sodio (usado en el descruce), causando cambios de color en el momento de la tintura. (U.S. Environmental Protection Agency, 2007).

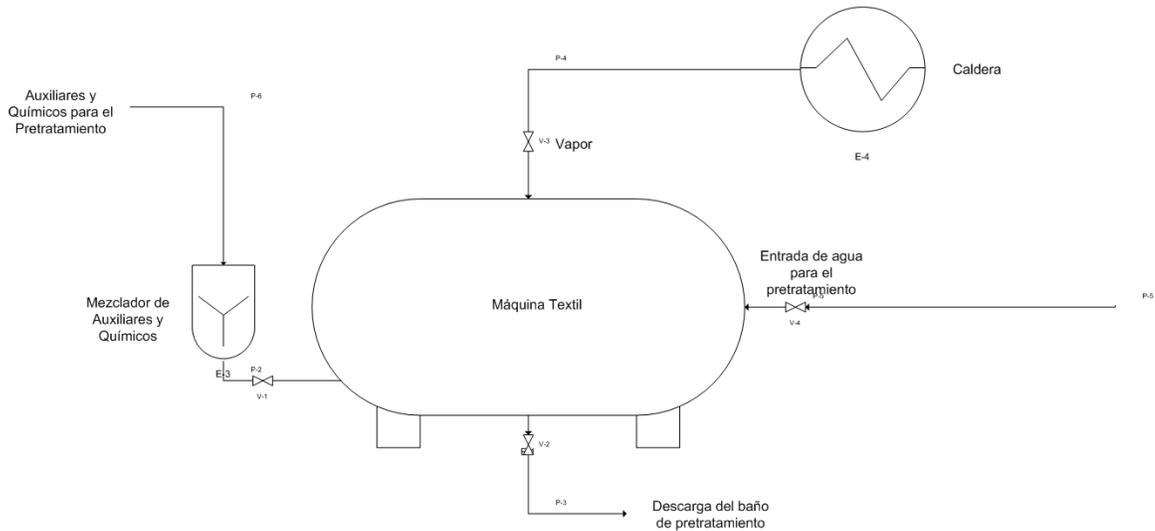
- Descruce. Es un proceso de limpieza que remueve las impurezas de las fibras, hilos o prendas, mediante un lavado. Se utilizan normalmente soluciones alcalinas. El descruce utiliza álcali, normalmente hidróxido de sodio, para saponificar las grasas naturales; y surfactantes para emulsificar y suspender en el baño de descruce las impurezas. Los procedimientos de descruce, los químicos, productos auxiliares, temperatura de tratamiento y tiempo, variará dependiendo del tipo de fibra, hilo y confección del material. (U.S. Environmental Protection Agency, 2007).
- Blanqueo. Es un proceso químico que elimina el color indeseado de las fibras, hilos o prendas. El blanqueo decolora las impurezas coloreadas que no son removidas durante el proceso de descruce, y prepara el material textil para ser teñido o estampado. Se utilizan varios productos químicos, y su selección depende del tipo de fibra presente en el hilo o material textil, y también depende del proceso siguiente. Los agentes de blanqueo más comunes incluyen peróxido de hidrógeno, hipoclorito de sodio, clorito de sodio y dióxido de sulfuro gaseoso. El que más se utiliza para el algodón y sus mezclas, es el peróxido de hidrógeno, siendo utilizado en un 90 % en los procesos de blanqueo; y se utiliza normalmente junto con soluciones cáusticas. (U.S. Environmental Protection Agency, 2007).

El proceso de blanqueo tiene varios pasos:

- A. El material textil es saturado con el agente de blanqueo, un activador, un estabilizador, un detergente/emulsionante, y otros químicos necesarios:
  - B. La temperatura es subida según sea recomendado, para cada fibra o mezcla en particular. Y se mantiene a esa temperatura durante el tiempo necesario para completar la acción de blanqueo.
  - C. El material textil es lavado y queda preparado para el siguiente paso. (U.S. Environmental Protection Agency, 2007).
- Mercerizado. Es un proceso químico a la continua, usado para el algodón y mezcla de poliéster/algodón para incrementar la afinidad del textil a los colorantes, su brillo y la apariencia. Este proceso se realiza a temperatura ambiente, en un baño con alta concentración de soda cáustica y un humectante, y se le aplica tensión al material textil. Esto causa una transformación en la cadena del algodón, lo cual hace que el material cambie su apariencia, resultando más brillante y con mayor afinidad al colorante. (U.S. Environmental Protection Agency, 2007).

La siguiente figura muestra de una forma general el diagrama de flujo del proceso de pretratamiento textil:

Figura 2. Diagrama de flujo general del proceso de pretratamiento textil



Fuente: elaboración propia.

### 7.4.3. Productos químicos y auxiliares utilizados en el pretratamiento

Los productos químicos y auxiliares que se detallan a continuación, son los que usualmente se utilizan en el proceso de pretratamiento de textiles.

#### 7.4.3.1. Detergente / emulsionante

Son productos que emulsifican ceras, grasas, parafinas sólidas, aceite mineral y otras sustancias aceitosas no saponificables. Además, al algodón le proporcionan humectación. No permiten que el aceite removido se aglomere otra vez, ya que lo emulsifica y lo mantiene en solución dentro del baño. También dispersa las suciedades sólidas, y debe formar poca espuma durante el proceso. (Salem, De Marchi, & Goncalves de Menezes, 2005).

#### **7.4.3.2. Secuestrante y/o dispersante de dureza**

La dureza es la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio, pero también las hay de hierro y cobre. Los minerales son completamente indeseables en los procesos textiles, ya que interfieren con el óptimo funcionamiento de otros productos. (Salem, De Marchi, & Goncalves de Menezes, 2005).

Los secuestrantes y/o dispersantes de dureza tienen las siguientes funciones en los baños de pretratamiento y tintura:

- Eliminan minerales presentes en el algodón y en el agua
- Eliminan el hierro
- Mejoran la rehumectación del sustrato

#### **7.4.3.3. Lubricante**

Este producto evita que el tejido se pegue entre sí, permitiendo un libre movimiento del tejido dentro de la máquina. También evita la fricción entre el material textil y las paredes internas de la máquina, de esta forma disminuye la formación de pliegues o arrugas del tejido. (Salem, De Marchi, & Goncalves de Menezes, 2005).

#### **7.4.3.4. Antiespumante**

Elimina la espuma que forma el baño dentro de la máquina. El exceso de espuma puede hacer que el tejido se enrosque y cause manchas, además también provoca que se detenga el molinete. (Salem, De Marchi, & Goncalves de Menezes, 2005).

#### **7.4.3.5. Estabilizador de peróxido de hidrógeno**

Al mezclarse el peróxido de hidrógeno con la soda cáustica, se producen dos reacciones:

- El blanqueo del algodón, en donde el pigmento natural del algodón es destruido (k1).
- Formación de oxígeno gaseoso (k2). Esta segunda reacción es indeseable porque da una pérdida de peróxido de hidrógeno y al mismo tiempo se debilita la fibra textil.

La función de un estabilizador de peróxido de hidrógeno es evitar el efecto catalítico, es decir, la descomposición del peróxido de hidrógeno, incrementando la reacción k1 y reduciendo la reacción k2. Como beneficios se obtienen:

- Mejora el grado de blancura
- Evita el debilitamiento del material textil (formación de agujeros)
- Economiza peróxido de hidrógeno (Salem, De Marchi, & Goncalves de Menezes, 2005).

#### **7.4.3.6. Soda cáustica**

Su función principal es la saponificación de grasas, ceras, proteínas, etc., además ayuda a incrementar la acción del detergente/emulsionante durante los procesos de limpieza de la fibra. (Salem, De Marchi, & Goncalves de Menezes, 2005).

#### **7.4.3.7. Peróxido de hidrógeno**

Es el blanqueador más común que se utiliza para el algodón. Oxida los pigmentos naturales del algodón, dejándolo más claro. Ésta reacción la realiza en conjunto con la soda cáustica. (Salem, De Marchi, & Goncalves de Menezes, 2005).

#### **7.4.3.8. Enzima catalasa**

Se utiliza al final del proceso de pretratamiento, cuando se utiliza peróxido de hidrógeno. Éste producto elimina el peróxido residual, destruyendo la molécula, produciendo agua y oxígeno. No contamina al ambiente, ni afecta los procesos posteriores. (Salem, De Marchi, & Goncalves de Menezes, 2005).

### **7.5. Fabricación de productos auxiliares para la industria textil**

Para el 2012, en Guatemala hay 129 empresas de maquila de ropa, 39 textileras e hilanderías y 260 empresas de servicios y accesorios. (Asociación de la Industria de Vestuario y Textiles, 2013).

Los fabricantes de productos auxiliares para la industria textil se encuentran en la sección de Servicios y Accesorios. Estas empresas se abastecen, en su mayoría, de materias primas de importación y comercializan sus productos en las textileras guatemaltecas y de la región centroamericana.

Los fabricantes de productos auxiliares también tienen que cumplir con las exigencias de los clientes de sus clientes, eliminando de su producción, las materias primas tóxicas que se detallaron en la sección anterior. (Chavarría Pinzón, 2013).

#### **7.5.1. Mercado Local**

El mercado local se refiere a las textileras que consumen producto para abastecer el consumo nacional. Normalmente este tipo de industria no tiene exigencias ambientales y trabajan con productos relativamente económicos, que les sean de utilidad. (Chavarría Pinzón, 2013).

#### **7.5.2. Mercado Internacional**

Las textileras que trabajan para clientes extranjeros, generalmente estadounidenses, son las que exigen a sus proveedores de productos auxiliares, que estos estén exentos de todos los contaminantes que se detallaron en la sección anterior. Muchas veces, ellos exigen que se les entreguen certificados de análisis donde esté garantizado que no contienen estos productos. (Chavarría Pinzón, 2013).

### **7.5.3. Producción de un detergente/emulsionante para la industria textil**

El procedimiento convencional de producción industrial de un detergente/emulsionante es realizar una emulsión entre dos o más productos surfactantes en un reactor con agitación constante, a la cual se le agregará una determinada cantidad de agua para lograr una mezcla homogénea y estable. (Chavarría Pinzón, Producción de auxiliares textiles, 2013).

#### **7.5.3.1. Materia prima utilizada en la actualidad para la producción de un detergente/emulsionante**

- Alquilfenol Etoxilados (APEs). Están catalogados como tensioactivos no iónicos, conocidos desde hace más de 40 años por ser muy eficaces, económicos, fáciles de maniobrar y formular. Dentro de este grupo están incluidos los nonilfenol etoxilados (NPEs), los cuales comprenden el mayor grupo de compuestos de esta categoría. Su mayor uso es principalmente en la limpieza industrial e institucional, detergentes domésticos, tratamiento de textiles y cuero, metalurgia, agroquímicos, emulsiones de polimerización, pintura, industria petrolera y papelera. (Sasol Olefins & Surfactants, 2006). El nonilfenol en su forma pura es un líquido claro, incoloro a ligeramente amarillo y de baja volatilidad. Es un compuesto corrosivo y sus vapores pueden ser explosivos. (Mendoza Cantú).

Lo más peligroso es el alto grado de toxicidad del nonilfenol en organismos acuáticos y el riesgo que esto implica para los ecosistemas acuáticos y terrestres. (Sasol Olefins & Surfactants, 2006). Por medio de

varias investigaciones, se ha detectado en diferentes especies de peces los siguientes efectos tóxicos: hermafrotidismo, disminución de la tasa de crecimiento, aumento en la producción de huevos, tumores y desórdenes morfológicos. En organismos terrestres se ha detectado la inhibición del crecimiento de algunas plantas, como la del tomate y la cebada. (Mendoza Cantú).

#### **7.5.3.2. Materia prima biodegradable sustituta de los alquilfenol etoxilados**

- Alcoholes etoxilados lineales. Constituyen la mejor opción para sustituir los derivados de los alquilfenoles etoxilados. Las propiedades de aplicación pueden ajustarse según sean los requerimientos del producto final, en función del tipo de alcohol y de la longitud de la cadena hidrofílica de polietilenglicol. Son materias primas más biodegradables y los productos de su biodegradación no son tóxicos para los organismos acuáticos. (Sasol Olefins & Surfactants, 2006).

Los alcoholes etoxilados lineales sufren una rápida biodegradación, tanto en condiciones de laboratorio como en el campo. Se degradan por una hidrólisis del enlace éter en el enlace hidrófilo-hidrófobo, seguido de la oxidación de los restos del alquilo y del polioxietileno. (Talmage, 1994).



## **8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

De las cinco formulaciones que se proponen para realizar los ensayos, existe al menos una que posee propiedades de aplicación textil similares al producto original y que además cumple con las normas ambientales que exigen a nivel internacional y del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.



## **9. CONTENIDO PROPUESTO DEL INFORME FINAL**

El índice preliminar propuesto para el informe final se detalla a continuación:

1. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES
2. GLOSARIO
3. INTRODUCCIÓN
4. ANTECEDENTES
5. OBJETIVOS
6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
7. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA
8. ALCANCES DEL TEMA
  
9. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL
  - 9.1. El agua
    - 9.1.1. El ciclo hidrológico
    - 9.1.2. Disponibilidad de agua en Guatemala
    - 9.1.3. Usos y calidad del agua
  - 9.2. Impacto ambiental de la industria textil en Guatemala
    - 9.2.1. Contaminación del agua
      - 9.2.1.1. Tipos de contaminantes del agua
    - 9.2.2. Contaminación de aguas residuales por la industria textil
    - 9.2.3. Contaminantes ambientales químicos, tóxicos y persistentes de la industria textil
      - 9.2.3.1. Alquilfenoles

- 9.2.3.2. Ftalatos
- 9.2.3.3. Retardantes de flama bromados y clorados
- 9.2.3.4. Colorantes –azo
- 9.2.3.5. Compuestos organo-estánicos
- 9.2.3.6. Químicos perfluorados (PFC)
- 9.2.3.7. Clorobencenos
- 9.2.3.8. Solventes clorados
- 9.2.3.9. Clorofenoles
- 9.2.3.10. Parafinas cloradas de cadena corta
- 9.2.3.11. Metales pesados: cadmio, plomo, mercurio y cromo (VI)
- 9.2.4. Contaminación de aguas domésticas por textiles
- 9.2.5. Monitoreo ambiental por parte de los clientes extranjeros
- 9.2.6. Legislación ambiental
- 9.3. Descripción del sector textil en Guatemala
  - 9.3.1. Generalidades
  - 9.3.2. Clasificación del sector textil
- 9.4. Conceptos básicos de la industria textil
  - 9.4.1. Proceso húmedo de textiles
  - 9.4.2. Proceso de pretratamiento de textiles
  - 9.4.3. Productos químicos y auxiliares utilizados en el pretratamiento
    - 9.4.3.1. Detergente / emulsionante
    - 9.4.3.2. Secuestrante y/o dispersante de dureza
    - 9.4.3.3. Lubricante
    - 9.4.3.4. Antiespumante
    - 9.4.3.5. Estabilizador de peróxido de hidrógeno

- 9.4.3.6. Soda cáustica
- 9.4.3.7. Peróxido de hidrógeno
- 9.4.3.8. Enzima catalasa
- 9.5. Fabricación de productos auxiliares para la industria textil
  - 9.5.1. Mercado local
  - 9.5.2. Mercado internacional
  - 9.5.3. Producción de un detergente/emulsionante para la industria textil
    - 9.5.3.1. Materia prima utilizada en la actualidad para la producción de un detergente/emulsionante
    - 9.5.3.2. Materia prima biodegradable sustituta de los alquilfenol etoxilados
- 10. HIPÓTESIS
- 11. DISCUSIÓN DE RESULTADOS
- 12. CONCLUSIONES
- 13. RECOMENDACIONES
- 14. BIBLIOGRAFÍA
- 15. ANEXOS



## 10. MÉTODOS Y TÉCNICAS

### Tipo de investigación

El presente estudio es de carácter experimental, ya que se pretende formular un producto detergente/emulsionante, realizando pruebas con distintas combinaciones de dos materias primas biodegradables, con el fin de encontrar una formulación que obtenga el mejor resultado en las mediciones de varios parámetros textiles (se detallará en metodología) y que sea ambientalmente aceptable.

### Tipo de hipótesis de investigación

La hipótesis planteada en este trabajo es una hipótesis de la diferencia entre grupos, ya que se afirma que las propiedades textiles del detergente/emulsionante biodegradable que se formulará y el que ya está en el mercado serán similares.

### Metodología

#### Fase 1: Investigación preliminar

- Investigación documental

Se estudiará información teórica y ecotoxicológica sobre materias primas alternativas, que cumplan con las exigencias ecológicas y que además sean adecuadas para el proceso de pretratamiento de textiles.

- Fase de solicitud de muestras

Al tener ya elegidas las materias primas alternativas, se solicitarán muestras de un kilogramo a los proveedores. Estas serán para hacer pruebas de formulación a nivel laboratorio.

Fase 2: Diseño de investigación, métodos e instrumentación

Variables

Tabla III. **Tipo de variables e indicadores**

<b>Variable</b>	<b>Tipo de Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Dimensionales</b>
<i>Agente Tensoactivo S-20</i>	Independiente	Materia Prima (cuantitativo)	% en peso
<i>Surfactante NI-5</i>	Independiente	Materia Prima (cuantitativo)	% en peso
<i>Tiempo de humectación de algodón crudo</i>	Dependiente	Aplicación Textil	Segundos
<i>Formación de Espuma</i>	Dependiente	Aplicación Textil	Centímetros cúbicos
<i>Prueba de la Gota</i>	Dependiente	Aplicación Textil	Segundos
<i>Prueba de Rehumectación</i>	Dependiente	Aplicación Textil	Centímetros
<i>Análisis Cromatográfico</i>	Dependiente	Contenido de contaminantes	Positivo / Negativo

Fuente: elaboración propia.

- Manipulación de variables

Un experimento se lleva a cabo para analizar si una o más variables independientes afectan a una o más variables dependientes y por qué las afectan. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio).

Cada una de las variables independientes se manipulará dos veces y se evaluará el efecto que tendrá cada manipulación sobre las variables dependientes. Dicho en otras palabras, se variará las concentraciones de las materias primas para evaluar, mediante las pruebas de aplicación textil, el efecto de cada variación.

- Validez

Todo experimento debe cumplir con el control o validez interna de la situación experimental, es decir, si se observa que la manipulación de las variables independientes provoca una variación en las variables dependientes, la variación de estas últimas se debe a la manipulación de las independientes y no a otros factores. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio).

Validez interna: para validar el experimento, se realizarán cuatro repeticiones para cada una de las formulaciones propuestas, y para cada una de estas repeticiones, se realizarán tres veces cada una de las pruebas de aplicación textil.

Validez externa: para validar externamente el experimento, se realizará un análisis cromatográfico de la mejor formulación resultante, para evaluar que el producto esté libre de los contaminantes restringidos y de esta manera poder

reducir la contaminación de las aguas residuales provenientes de la industria textil.

#### Plan de pruebas

Se utilizarán cuatro materias primas, de las cuáles dos permanecerán constantes dentro de la formulación. Estas son:

- Agente Tensoactivo S-20, el cual se denominará en el cuadro de Planificación de Pruebas como MP-A.
- Surfactante NI-5, el cual se denominará en el cuadro de pruebas como MP-B.
- Surfactante NI-6, el cual se denominará en el cuadro de pruebas como MP-C. Esta materia prima permanecerá constante en las distintas formulaciones que se realicen (20% en peso), ya que es un producto que se utiliza para que MP-A y MP-B no se separen, es decir, tiene una función de emulsificante.
- Agua, también permanecerá constante en las formulaciones (10 % en peso), ya que funciona en conjunto con el emulsificante, para evitar la separación de MP-A y MP-B.

La siguiente tabla muestra las distintas formulaciones que se ensayarán:

Tabla IV. **Formulaciones propuestas**

	<b>Ensayo 1</b>	<b>Ensayo 2</b>	<b>Ensayo 3</b>	<b>Ensayo 4</b>	<b>Ensayo 5</b>
<b>MP-A</b>	35 g	25 g	10 g	45 g	60 g
<b>MP-B</b>	35 g	45 g	60 g	25 g	10 g
<b>MP-C</b>	20 g				
<b>AGUA</b>	10 g				
<b>Total (peso)</b>	<b>100 g</b>				

Fuente: elaboración propia.

Se realizarán cuatro repeticiones para cada uno de los ensayos. Todos los ensayos se realizarán en el laboratorio de una empresa fabricante de productos auxiliares textiles.

El material y equipo que se utilizará para ésta etapa de la preparación de los ensayos consiste en:

- Balanza analítica
- Beakers de 200 ml de capacidad
- Varillas de agitación
- Espátulas
- Piceta con agua
- Frascos plásticos con tapadera
- Muestras de un kilogramo de las tres materias primas que se utilizarán
- Muestra de un kilogramo del producto detergente-emulsionante original, de un lote de producción elegido al azar.

## Procedimiento de preparación de las muestras

(El procedimiento se repetirá para cada una de los ensayos y sus repeticiones):

- A. Colocar el beacker de 200 ml sobre la balanza analítica.
- B. Agregar el agua con la piceta.
- C. Pesar el Surfactante NI-6, que es el producto emulsificante de la mezcla. Mezclar bien con una varilla de agitación.
- D. Pesar el agente tensoactivo SI-20 y el surfactante NI-5. Mezclar bien con la varilla de agitación, hasta obtener una mezcla homogénea.
- E. Envasar en un frasco plástico y tapar bien.
- F. Identificar el frasco con una etiqueta, colocando el número de ensayo y número de repetición.

## Pruebas de aplicación textil para los ensayos de detergente - emulsionante

A cada ensayo y repetición que se realice, y al producto original, se le practicarán las siguientes pruebas de aplicación textil:

- Tiempo de humectación de algodón crudo  
Esta prueba consiste en medir el tiempo que tarda en hundirse un pedazo pequeño de algodón crudo en una solución a un gramo/litro de concentración del producto que se está ensayando. A menor tiempo, mejor es el poder humectante del producto. El procedimiento es el siguiente:
  - A. Se cortan tres pedazos de tela algodón 100 % crudo, tejido de punto. Con la ayuda de la balanza analítica y tijeras, se ajusta el peso de los pedazos a 0,1 gramos.

- B. Preparar 100 ml de solución de 1 g/l del detergente-emulsionante que se desea evaluar, en un beacker de 250 ml.
- C. Dejar caer sobre la solución, el pedazo de tela y con un cronómetro tomar el tiempo a partir del instante en que la tela toca la superficie de la solución.
- D. Parar el cronómetro, en el momento en que el pedazo de tela toca el fondo del beacker.
- E. Anotar el tiempo.
- F. Repetir la prueba desde el paso c, dos veces más.
- G. Calcular la media aritmética de los tiempos obtenidos para obtener un solo resultado.

Se llenará una tabla de datos como la siguiente:

Tabla V. **Resultados de tiempo de humectación de algodón crudo**

	Ensayo					Producto Original
	1	2	3	4	5	
<b>Tiempo 1</b>						
<b>Tiempo 2</b>						
<b>Tiempo 3</b>						
<b>Media</b>						

Fuente: elaboración propia.

- **Formación de espuma**  
En la industria textil, la espuma adentro de las máquinas es indeseable, ya que generan atascamientos de la tela, también puede producir manchas. Por eso es preferible un producto que genere la menor

cantidad de espuma posible. El procedimiento para la prueba es el siguiente:

- A. Preparar un litro de solución a 1 g/l de la muestra a evaluar.
- B. Colocar la solución en una probeta de 2 litros.
- C. Colocar en el interior de la probeta la punta de la manguera del compresor, aproximadamente en la línea de 100 ml.
- D. Poner a trabajar el compresor durante 10 minutos.
- E. Al finalizar los 10 minutos, observar cuantos centímetros cúbicos alcanzó la espuma.
- F. Analizar los resultados de la siguiente forma:
  - NO ESPUMA: será cuando a los 10 minutos alcanzó 50 centímetros cúbicos de espuma. Se le asignará un valor numérico para fines de análisis de datos, el cual será: 10.
  - BAJA ESPUMA: será cuando a los 10 minutos alcanzó entre 50-200 centímetros cúbicos de espuma. Se le asignará un valor numérico para fines de análisis de datos, el cual será: 8.
  - MEDIANA ESPUMA: será cuando a los 10 minutos alcanzó entre 200-600 centímetros cúbicos de espuma. Se le asignará un valor numérico para fines de análisis de datos, el cual será: 5.
  - ESPUMA TOTAL: será cuando a los 10 minutos alcanzó entre 600-1000 centímetros cúbicos de espuma. Se le asignará un valor numérico para fines de análisis de datos, el cual será: 2.Los valores asignados se interpretarán así: 10 es el mejor resultado, 2 el menor resultado.
- G. Repetir la prueba 2 veces más.
- H. Anotar los resultados obtenidos y calcular la media aritmética de las 3 pruebas.

Se llenará una tabla de datos como la siguiente:

Tabla VI. **Resultado de formación de espuma**

	Ensayo					Producto Original
	1	2	3	4	5	
<b>Espuma 1</b>						
<b>Espuma 2</b>						
<b>Espuma 3</b>						
<b>Media</b>						

Fuente: elaboración propia.

- Descrude y blanqueo químico de algodón en laboratorio.  
 En este proceso, se determina si el producto utilizado elimina completamente la suciedad y las grasas que contiene el material textil. El proceso de limpieza es el paso previo a la tintura, y si el material textil no tiene un buen pretratamiento, puede ocasionar colores mal igualados en la tintura o bien, resaltar las partes que contenga grasa no eliminada. El procedimiento es el siguiente:
  - A. Pesar un pedazo de tela algodón 100 % crudo de 10 gramos.
  - B. Preparar en un beacker de 250 ml, 100 mililitros de solución que contenga:
    - 0,5 g/l del detergente – emulsionante
    - 0,5 g/l de estabilizador de peróxido
    - 3 g/l de soda cáustica al 50 %
    - 4 g/l de peróxido de hidrógeno

- C. Meter el pedazo de tela en la solución y con una varilla agitar regularmente.
- D. Colocar el beacker sobre una hornilla y elevar la temperatura hasta ebullición.
- E. Trabajar a ebullición durante 30 minutos.
- F. Retirar el beacker de la hornilla.
- G. Con unas pinzas, sacar el pedazo de tela del beacker y lavar bajo el chorro de agua.
- H. En otro beacker con agua limpia, agregar 0,5 g/l de ácido acético para neutralizar la tela. Luego agregar 0,5 g/l de enzima catalasa para eliminar el peróxido de hidrógeno residual.
- I. Secar el pedazo de tela.
- J. Proseguir con las pruebas:
  - i. Prueba de la gota
    - a. Se agrega una gota de solución de 5 g/l colorante turquesa.
    - b. Con un cronómetro se toma el tiempo en que la gota toca la superficie de la tela y se detiene el cronómetro cuando la gota se absorbió completamente. El mejor resultado es cuando la absorción es inmediata < 2 segundos.
  - ii. Prueba de rehumectación
    - a. Se corta con la ayuda de una regla, un rectángulo de la tela tratada, con medidas de 4 cm x 12 cm.
    - b. En un beacker de 250 ml, colocar aproximadamente 50 ml de solución de 5 g/l de colorante turquesa.

- c. Sumergir 1cm del rectángulo de tela y con un cronómetro medir 1 minuto.
- d. Al pasar el minuto, con la tijera hacer una marca del nivel que alcanzó absorber la tela de la solución de colorante.
- e. Dejar secar.
- f. Cuando esté seco, con la regla, medir cuánto absorbió la tela.
- g. El mejor resultado es cuando absorbe más de 4 centímetros y el peor resultado es cuando ni siquiera se sumerge el rectángulo.

Las pruebas i y ii se repetirán dos veces más y se calculará la media aritmética para ambas.

Se llenará unas tablas de datos como las siguientes:

Tabla VII. **Resultado de prueba de la gota y rehumectación**

	Ensayo					Producto Original
	1	2	3	4	5	
<b>t gota 1</b>						
<b>t gota 2</b>						
<b>t gota 3</b>						
<b>Media</b>						

Continuación de la tabla VII.

	Ensayo					Producto Original
	1	2	3	4	5	
rehumectación 1						
rehumectación 2						
rehumectación 3						
Media						

Fuente: elaboración propia.

Fase 3: Análisis de datos

Para el producto original se obtendrá los siguientes datos:

Tabla VIII. **Medias de resultados de pruebas del producto original**

	Media Tiempo de humectación (seg)	Media Formación de Espuma	Media Tiempo de Gota (seg)	Media Rehumectación (cm)
Producto Original				

Fuente: elaboración propia.

Por cada ensayo y sus repeticiones, se obtendrá los siguientes datos:

Tabla IX. **Medias de resultados de pruebas de los ensayos**

	Media Tiempo de humectación (seg)	Media Formación de Espuma	Media Tiempo de Gota (seg)	Media Rehumectación (cm)
Ensayo X Repeticón 1				
Ensayo X Repeticón 2				
Ensayo X Repeticón 3				
Ensayo X Repeticón 4				

Fuente: elaboración propia.

Con la ayuda de estos datos, se calculará un índice, el cual se llamará en este trabajo, índice textil ponderado. Se le asignará a cada una de las pruebas un porcentaje, basándose en la importancia de aplicación textil que se obtiene de cada una. Los porcentajes de importancia de cada prueba se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Tabla X. **Porcentajes de importancia de pruebas de aplicación**

<b>Prueba</b>	<b>Porcentaje de Importancia</b>
<b>Humectación de algodón en crudo</b>	<b>20%</b>
<b>Formación de espuma</b>	<b>10%</b>
<b>Prueba de la gota</b>	<b>30%</b>
<b>Rehumectación</b>	<b>40%</b>

Fuente: (Chavarría Pinzón, Importancia de las pruebas de aplicación textil, 2013).

Cada prueba se calificará así, siendo 1 la mejor nota y 0 la peor nota:

Tabla XI. **Punteo de humectación de algodón en crudo**

Tiempo < 10 segundos	1
Tiempo 10 – 25 segundos	0,8
Tiempo 26 – 40 segundos	0,5
Tiempo 41 – 60 segundos	0,3
Tiempo > 61 segundos	0

Fuente: (Chavarría Pinzón, Importancia de las pruebas de aplicación textil, 2013).

La humectación del algodón crudo tiene cierta importancia, ya que cuando se tiñen colores oscuros (negros, marrones, azul marinos, verdes oscuros, etc.), se elimina por completo del proceso total, la fase de descrude del algodón. Se agrega directamente el detergente/emulsionante al proceso de tintura, y si el producto agregado no es buen humectante, la tintura saldrá defectuosa. (Chavarría Pinzón, Importancia de las pruebas de aplicación textil, 2013).

Tabla XII. **Punteo de formación de espuma**

< 50 cc de espuma	1
50 – 200 cc de espuma	0,8
200 – 600 cc de espuma	0,5
> 600 cc de espuma	0,2

Fuente: (Chavarría Pinzón, Importancia de las pruebas de aplicación textil, 2013).

Cuando se utiliza el producto detergente/emulsionante en máquinas tipo Jet, las cuales se caracterizan por su alta velocidad, se genera mucha espuma. Se desea que el producto forme poca espuma, para poder usar la menor cantidad de químicos en la receta. Pero la formación de espuma es algo que se puede solucionar agregando un antiespumante al baño de proceso. Por lo que su importancia en el índice ponderado se considera baja. (Chavarría Pinzón, Importancia de las pruebas de aplicación textil, 2013).

Tabla XIII. **Punteo de prueba de la gota**

Tiempo < 2 segundos	1
2 – 5 segundos	0,8
6 – 10 segundos	0,5
11 – 20 segundos	0,3
Tiempo > 20 segundos	0

Fuente: (Chavarría Pinzón, Importancia de las pruebas de aplicación textil, 2013).

La prueba de la gota y la de rehumectación, son las más importantes, ya que representan los resultados obtenidos después de la aplicación real sobre el material textil del producto detergente/emulsionante.

La prueba de la gota es importante, ya que demuestra si las grasas y parafinas fueron removidas del material textil con éxito o no. Si la gota tarda mucho en absorberse, se puede concluir que el producto no funcionó. (Chavarría Pinzón, Importancia de las pruebas de aplicación textil, 2013).

Tabla XIV. **Punteo de rehumectación**

Absorción > 4 centímetros	1
3 – 3.9 centímetros	0,8
2 – 2.9 centímetros	0,5
1 – 1.9 centímetros	0,3
< 1 centímetro	0

Fuente: (Chavarría Pinzón, Importancia de las pruebas de aplicación textil, 2013).

La prueba más importante es la de rehumectación. Por medio de ella se comprobará si el producto detergente/emulsionante, removi6 las grasas, parafinas y otros tipos de suciedad, y adem6s s6 le proporcion6 humectaci6n al material textil. Si la rehumectaci6n es mala e irregular, significa que el producto no funciona como detergente/emulsionante. (Chavarría Pinz6n, Importancia de las pruebas de aplicaci6n textil, 2013).

Se asignar6 las notas correspondientes a cada una de las pruebas, y luego seg6n los porcentajes de importancia, se calcular6 los 6ndices textiles ponderados por cada ensayo y repeticiones, y el producto original.

Para el producto original se obtendrá un índice que será el testigo.

Y para los ensayos con repeticiones se obtendrá los índices así:

Tabla XV. **Índice textil ponderado de ensayos**

	Índice Textil Ponderado
Ensayo X Repetición 1	
Ensayo X Repetición 2	
Ensayo X Repetición 3	
Ensayo X Repetición 4	

Fuente: elaboración propia.

Estos índices son los que serán analizados por medio del paquete estadístico SIGMAPLOT 11, calculando para cada ensayo y sus repeticiones, lo siguiente:

- Moda
- Mediana
- Media aritmética
- Rango
- Desviación Standard
- Varianza

- Análisis factorial de varianza – ANOVA
- Análisis Inferencial

Lo que se desea, es que uno de los ensayos obtenga un índice textil ponderado igual o mayor al que tiene el producto original.

#### Análisis cromatográfico para determinación de contaminantes

Si se llega a obtener un producto con el índice textil ponderado que se anda buscando, entonces se enviará una muestra de este, a un laboratorio experto, para que se le realicen los análisis cromatográficos necesarios, para determinar que el producto está exento de las materias primas contaminantes y persistentes que están prohibidas a nivel mundial, específicamente alquilfenoles.

## 11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

mes	jul-13				ago-13				sep-13				oct-13				nov-13				dic-13				ene-14				feb-14				mar-14			
semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Fase 1: Investigación Preliminar	█	█	█	█																																
Fase 2: Realización de los ensayos propuestos					█	█	█	█																												
Fase 2: Realización de pruebas de aplicación textil									█	█	█	█																								
Fase 3: Análisis de los resultados de las pruebas de aplicación textil													█	█	█	█																				
Fase 3: Análisis cromatográfico para determinación de contaminantes																	█	█	█	█																
Realización del Informe Final																					█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█				



## 12. RECURSOS NECESARIOS

Tabla XVI. **Recursos humanos (financiado por el estudiante-investigador)**

	<b>Costo por mes (Q)</b>	<b>Costo por 9 meses (Q)</b>
Estudiante-Investigador	Q 3 000,00	Q 27 000,00
Asesor	Q 2 000,00	Q 18 000,00
<b>Total Recursos Humanos: Q 45 000,00</b>		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Materiales e insumos (financiado por el estudiante-investigador)**

	<b>Costo por unidad (Q)</b>	<b>Costo Total (Q)</b>
Muestras de 3 materias primas	Q 100,00	Q 300,00
Transporte de las materias primas (Courier)	Q 1 000,00	Q 1 000,00
Costo de Análisis Cromatográfico	Q 1 600,00	Q 1 600,00
Gastos varios	Q 1 000,00	Q 1 000,00
<b>Total Materiales e Insumos: Q 3 900,00</b>		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Infraestructura (financiado por el estudiante-investigador)**

	Costo por unidad (Q)	Costo total (Q)
Energía eléctrica usada en las pruebas	Q 500,00	Q 500,00
Gastos varios	Q 500,00	Q 500,00
<b>Total Infraestructura: Q 1 000,00</b>		

Fuente: elaboración propia.

### 13. BIBLIOGRAFÍA

1. AGEXPORT. (2012). *Informe de las Exportaciones Acumuladas a Diciembre 2012*. Guatemala: AGEXPORT.
2. Asociación de la Industria de Vestuario y Textiles. (29 de mayo de 2013). *Perfil del Sector*. Obtenido de Vestex Web site: <http://www.vestex.com.gt>
3. Bridgen, K., Santillo, D., & Johnston, P. (2012). *Nonylphenol Ethoxylates (NPEs) in Textile Products, and their release through laundering*. Greenpeace.
4. Capó Martí, M. (2002). *Principios de Ecotoxicología. Diagnóstico, Tratamiento y Gestión del Medio Ambiente*. Madrid, España: McGraw-Hill.
5. Carreras García, J. (2008). *Gestión Racional y Sostenible de Sustancias Químicas*. Madrid, España: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
6. Centro Guatemalteco de Producción Más Limpia . (2008). *Guía de Buenas Prácticas Ambientales para el Sector Textil en Guatemala*. Guatemala: Centro Guatemalteco de Producción Más Limpia.
7. Chavarría Pinzón, L. (20 de Marzo de 2013). Importancia de las pruebas de aplicación textil. (A. L. Sánchez Meyer, Entrevistador)

8. Chavarría Pinzón, L. (28 de mayo de 2013). Producción de auxiliares textiles. (A. L. Sánchez, Entrevistador)
9. Chavarría Pinzón, L. (28 de Mayo de 2013). Producción Textil en Guatemala. (A. L. Sánchez, Entrevistador)
10. Chavarría Pinzón, L. (25 de febrero de 2013). Situación actual de las fábricas de auxiliares para textiles con respecto a las exigencias ambientales. (A. L. Sánchez Meyer, Entrevistador)
11. Dirección General Ambiental Sectorial. (2002). *Guía de Ahorro y Uso Eficiente del Agua*. Colombia: Ministerio del Medio Ambiente.
12. Dussán, J., Vives-Florez, M. J., Sarria, V. M., & Sánchez, O. (2010). Aproximaciones biológicas y fisicoquímicas en el tratamiento de contaminantes: un resumen del aporte de la Universidad de los Andes. *Revista de Ingeniería*, 100-111.
13. Esparza, D., & Flores, D. (2011). *Elaboración de una Guía Didáctica Virtual para los procesos de Hilatura de fibras largas*. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
14. Gear for Sports. (2013). *Quality Assurance - Testing Program*. USA: Gear for Sports.
15. Greenpeace. (2011). *Trapos Sucios 2: aireando la ropa - La contaminación tóxica desde las fábricas a los productos textiles*. Madrid, España: Greenpeace.

16. Greenpeace Internacional. (2012). *La Política de Adquisición de Textiles*. México D.F.: Greenpeace México.
17. Greenpeace International. (2011). *Dirty Laundry - Unravelling the corporate connections to toxic water pollution in China*. Amsterdam, The Netherlands: Greenpeace International.
18. Greenpeace México A.C. (2012). *Hilos Tóxicos: Al desnudo - Exponiendo el papel de la industria textil en la contaminación de los ríos de México*. México D.F.: Greenpeace México A.C.
19. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (s.f.). *Metodología de la Investigación*. Monterrey: McGraw Hill.
20. Kirk, R., & Othmer, D. (1965). *Enciclopedia de Tecnología Química* (2da Edición ed., Vol. 6). USA: Editorial Board.
21. Kogg, B. (2004). *Greening a Cotton-Textile Supply Chain*. Suecia: Lund University.
22. Laursen, S., Hansen, J., Drojdahl, A., Ole, H., Pommer, K., Pedersen, E., & Bernth, N. (2003). *Survey of Chemical compounds in textile fabrics*. Dinamarca: Danish Environmental Protection Agency.
23. Mendoza Cantú, A. (s.f.). *Listado adicional al Convenio de Estocolmo: Sustancias de uso industrial*. México: Instituto Nacional de Ecología.
24. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2006). *Manual de Gestión Integrada del Agua*. Guatemala: MARN.

25. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales; Embajada Británica . (2011). *Guía Práctica para uso eficiente del agua en el sector público guatemalteco*. Guatemala: MARN.
26. Morales Sánchez, J. C., Comelles Folch, F., & Parra Juez, J. L. (2011). *España Patente nº PCT/ES2010/070857*.
27. Prado, P., Hernández, V., Coj, M., Pineda, I., & Ventura, E. (2010). *El sector textil y confección, y el desarrollo sostenible en Guatemala*. Geneva, Switzerland: International Centre for Trade and Sustainable Development.
28. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. (2011). *El PNUD y la Convención de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP)*. Estocolmo: Grupo de Medio Ambiente y Energía. PNUD.
29. Salem, V., De Marchi, A., & Goncalves de Menezes, F. (2005). *O Beneficiamento Têxtil Na Prática*. Sao Paulo: Golden Química do Brasil Ltda.
30. Sasol Olefins & Surfactants. (2006). *Alcoholes Etoxilados - Soluciones versátiles para aplicaciones técnicas*. Alemania: Sasol Olefins % Surfactants.
31. Secretaría de Planificación y Programación. (2006). *Estrategia para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de Guatemala*. Guatemala: SEGEPLAN.
32. StarChem. (2010). *Startex Scour GR*. USA: StarChem.

33. Talmage, S. S. (1994). *Environmental and Human Safety of Major Surfactants*. Oak Ridge, Tennessee: Lewis Publishers.
34. U.S. Environmental Protection Agency. (2007). *Profile of the Textile Industry*. Washington, USA: U.S. Environmental Protection Agency.
35. VESTEX. (2010). *Análisis de la Situación Actual de la Industria de Vestuario y Textiles*. Guatemala.