



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

**EVALUACIÓN DE UN FILTRO ULTRAVIOLETA CONTENIDO EN UN ENVASE DE  
POLIETILENTEREFTALATO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL PRINCIPIO  
ACTIVO DE UN DETERGENTE LÍQUIDO EN FUNCIÓN DEL COLOR DEL PRODUCTO**

**Kelinton Ottoniel Sic Cajbón**

Asesorado por el Ing. Giancarlo Salvatore Vitola Sanchinelli y

Licda. María Eugenia Oliva Pozuelos

Guatemala, febrero de 2014



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE UN FILTRO ULTRAVIOLETA CONTENIDO EN UN ENVASE DE  
POLIETILENTEREFTALATO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL PRINCIPIO  
ACTIVO DE UN DETERGENTE LÍQUIDO EN FUNCIÓN DEL COLOR DEL PRODUCTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**KELINTON OTTONIEL SIC CAJBÓN**

ASESORADO POR EL ING. GIANCARLO SALVATORE VITOLA SANCHINELLI Y  
LICDA. MARÍA EUGENIA OLIVA POZUELOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto 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. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León Paz
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**EVALUACIÓN DE UN FILTRO ULTRAVIOLETA CONTENIDO EN UN ENVASE DE POLIETILENTEREFTALATO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL PRINCIPIO ACTIVO DE UN DETERGENTE LÍQUIDO EN FUNCIÓN DEL COLOR DEL PRODUCTO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha enero de 2014.



**Kelinton Ottoniel Sic Cajbón**

Guatemala, 03 de febrero de 2014.

Ingeniero Químico  
Víctor Manuel Monzón Valdez  
Director de Escuela  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería, USAC

Estimado Ing. Monzón:

Por este medio me dirijo a usted para informarle que he asesorado y aprobado el informe final del Trabajo de Graduación, titulado **"EVALUACIÓN DE UN FILTRO ULTRAVIOLETA CONTENIDO EN UN ENVASE DE POLIETILENTEREFALATO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL PRINCIPIO ACTIVO DE UN DETERGENTE LÍQUIDO EN FUNCIÓN DEL COLOR DEL PRODUCTO"** elaborado por el estudiante de Ingeniería Química Kelinton Ottoniel Sic Cajbón, quien se identifica con número de carné 200819146.

Sin otro particular y deseándole éxitos en sus actividades diarias, me suscribo, atentamente,



*Ing. Giancarlo Vitola*  
INGENIERO QUÍMICO  
COLEGIADO 1614

---

Ing. Giancarlo Salvatore Vitola Sanchinelli

Ingeniero Químico

Colegiado Activo No. 1614


Guatemala, 03 de febrero de 2014.

Ingeniero Químico  
Víctor Manuel Monzón Valdez  
Director de Escuela  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería, USAC

Estimado Ing. Monzón:

Por este medio me dirijo a usted para informarle que he asesorado y aprobado el informe final del Trabajo de Graduación, titulado **"EVALUACIÓN DE UN FILTRO ULTRAVIOLETA CONTENIDO EN UN ENVASE DE POLIETILENTEREFTALATO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL PRINCIPIO ACTIVO DE UN DETERGENTE LÍQUIDO EN FUNCIÓN DEL COLOR DEL PRODUCTO"** elaborado por el estudiante de Ingeniería Química Kelinton Ottoniel Sic Cajbón, quien se identifica con número de carné 200819146.

Sin otro particular y deseándole éxitos en sus actividades diarias, me suscribo, atentamente,



---

Licda. María Eugenia Oliva Pozuelos  
Licenciada en Química Farmacéutica  
Colegiado Activo No. 3226

*Lda. María Eugenia Oliva  
Química Farmacéutica  
Colegiada No. 3226*



Guatemala, 07 de febrero de 2014  
Ref. EIQ.TG-IF.005.2014

Ingeniero  
**Víctor Manuel Monzón Valdez**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo 153-2013 le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

### INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Kelinton Ottoniel Sic Cajbón**.  
Identificado con número de carné: **2008-19146**.

Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

#### **EVALUACIÓN DE UN FILTRO ULTRAVIOLETA CONTENIDO EN UN ENVASE DE POLIETILENTEREFTALATO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL PRINCIPIO ACTIVO DE UN DETERGENTE LÍQUIDO EN FUNCIÓN DEL COLOR DEL PRODUCTO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Giancarlo Salvatore Vitola Sanchinelli**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Adrian Antonio Soberanis Ibañez  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.019.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **KELINTON OTTONIEL SIC CAJBÓN** titulado: **"EVALUACIÓN DE UN FILTRO ULTRAVIOLETA CONTENIDO EN UN ENVASE DE POLIETILENTEREFTALATO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL PRINCIPIO ACTIVO DE UN DETERGENTE LÍQUIDO EN FUNCIÓN DEL COLOR DEL PRODUCTO"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

  
Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, febrero 2014

Cc: Archivo  
VMMV/ale



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE UN FILTRO UTLTRAVIOLETA CONTENIDO EN UN ENVASE DE POLIETILENTEREFTALATO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL PRINCIPIO ACTIVO DE UN DETERGENTE LÍQUIDO EN FUNCIÓN DEL COLOR DEL PRODUCTO**, presentado por el estudiante universitario **Kelinton Ottoniel Sic Cajbón**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A large, handwritten signature in black ink, enclosed in a large oval shape.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, febrero de 2014

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser una influencia significativa en mi vida y ser mi fortaleza en todo momento.
<b>Mis padres</b>	Patrocinia Cajbón Ismalej y Sebastián Sic Ixpancoc, por su apoyo, amor y grandes enseñanzas de vida.
<b>Mis hermanos y hermanas</b>	Mirza Verónica, Derlin Octavio, Erick Orlando y Yamelin Diana Sic Cajbón, por todo su cariño y apoyo.
<b>Mis abuelas</b>	Nicolasa Ismalej y Victoria Ixpancoc (q.e.p.d.), por ser ejemplos de perseverancia y superación.
<b>Mis sobrinos</b>	Por ser un motor de alegría en nuestra familia.
<b>Mis familiares</b>	Tíos, tías, primos, primas y todos los familiares que ejercieron influencias positivas en mi vida.
<b>Mis amigos</b>	Por todas las experiencias compartidas a lo largo de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Mis padres</b>	Patrocinia Cajbón Ismalej y Sebastian Sic Ixpancoc, por ser ejemplos de superación, perseverancia y por brindarme todo su apoyo incondicional a lo largo de mi vida
<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por formarme académicamente y ser mi segundo hogar al darme todas las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente.
<b>Escuela de Ingeniería Química</b>	Por abrir sus puertas y recibirme para formarme académicamente en la carrera que elegí.
<b>Todos mis catedráticos</b>	Por darme sus enseñanzas sin egoísmo y brindarme su amistad y apoyo en el transcurso de mi vida universitaria.
<b>Centros de formación</b>	Instituto Normal Mixto de Norte “Emilio Rosales Ponce”, Instituto Nacional de Educación Básica INEB central, Escuela Oficial para Varones No. 2 “Salvador de Oliva”, por formarme académicamente y darme lecciones de vida.

**Familia Ordoñez Padilla**

Por todo el apoyo incondicional que me proporcionaron en momentos difíciles, don William, doña Betzy, Mario, William, Gerson y Samuel: ¡MIL GRACIAS por todo!

**Asesores**

Licda. María Oliva, Ing. Giancarlo Vitola e Inga. Jeimy Barrios, por su guía y confianza en la elaboración de este trabajo de graduación.

**Laboratoristas**

Elsa Marina Chin Bran y Byron Eguizabal, por su ayuda incondicional en la elaboración de este proyecto.

**La Empresa**

Por brindarme la oportunidad desarrollarme profesionalmente y permitirme elaborar el trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN .....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
Hipótesis .....	XVIII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1.    MARCO CONCEPTUAL .....	1
1.1.    Antecedentes .....	1
1.2.    Justificación .....	2
1.3.    Determinación del problema .....	3
1.3.1.    Definición .....	4
1.3.2.    Delimitación .....	4
2.    MARCO TEÓRICO .....	7
2.1.    Detergente .....	7
2.1.1.    Materias primas para detergentes líquidos.....	9
2.2.    Envases de polietilentereftalato (PET) .....	11
2.2.1.    Características del polietilentereftalato .....	12
2.2.2.    Producción de PET .....	13
2.2.2.1.    Polimerización .....	13
2.2.2.2.    Cristalización .....	15

	2.2.2.3.	Polimerización en estado sólido.....	15
2.3.		Protector UV .....	16
	2.3.1.	<i>Benzotriazole UV absorber</i> (Tinuvin ®) .....	16
2.4.		Espectrofotometría .....	17
	2.4.1.	Espectrofotómetro .....	19
	2.4.2.	Transmitancia y absorbancia.....	20
3.		METODOLOGÍA.....	21
	3.1.	Variables.....	21
		3.1.1. Variables independientes .....	21
		3.1.2. Variables dependientes .....	22
	3.2.	Delimitación del campo de estudio .....	23
	3.3.	Recursos humanos disponibles .....	23
	3.4.	Recursos materiales disponibles .....	24
	3.5.	Técnica cuantitativa/cualitativa .....	25
		3.5.1. Diseño general .....	25
		3.5.2. Metodología de medición de viscosidad.....	30
		3.5.3. Metodología de medición de densidad .....	31
	3.6.	Recolección y ordenamiento de información .....	32
	3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de información .....	33
4.		RESULTADOS .....	35
	4.1.	Comportamiento de decoloración de un colorante de triarilmetano contenido en un detergente líquido y	

	almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %).....	35
4.2.	Comparación del comportamiento de decoloración de un colorante de triarilmetano contenido en un detergente líquido y almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %).....	37
4.3.	Evaluación de la estabilidad del principio activo de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %) .....	40
4.4.	Comparación de la estabilidad del principio activo de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %) .....	42
4.5.	Comportamiento del pH de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %).....	45
4.6.	Comportamiento de la viscosidad de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %).....	47
4.7.	Comportamiento de la densidad de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %).....	50
4.8.	Resultados de las pruebas realizadas a dos envases de PET, variando el porcentaje de protector UV (0,0 % y 0,5 %).....	52



5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	57
5.1.	Comportamiento de decoloración de un colorante de triarilmetano contenido en un detergente líquido y almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %) .....	58
5.2.	Comparación del comportamiento de decoloración de un colorante de triarilmetano contenido en un detergente líquido y almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %) .....	60
5.3.	Evaluación de la estabilidad del principio activo de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %).....	62
5.4.	Comparación de la estabilidad del principio activo de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %).....	64
5.5.	Comportamiento del pH de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %) .....	66
5.6.	Comportamiento de la viscosidad de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %) .....	68
5.7.	Comportamiento de la densidad de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %) .....	70

5.8. Resultados de las pruebas realizadas a dos envases de PET, variando el porcentaje de protector UV (0,0 % y 0,5 %)	71
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	81
APÉNDICE	83
ANEXO	89



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Unidad repetitiva del PET.....	12
2.	Producción de PET .....	14
3.	Longitud de onda que afecta la vida útil de un producto .....	16
4.	Espectro electromagnético.....	17
5.	Diseño general de investigación .....	26
6.	Viscosímetro Brookfield DV-II + PRO .....	30
7.	Picnómetro .....	31
8.	Variación de la absorbancia de un detergente líquido, almacenado en un envase de PET sin protector UV, en una prueba de estabilidad .....	35
9.	Variación de la absorbancia de un detergente líquido, almacenado en un envase de PET con 0,5 % de protector UV, en una prueba de estabilidad .....	36
10.	Variación de la absorbancia de un detergente líquido a 40 °C en función del empaque primario .....	38
11.	Variación de la absorbancia de un detergente líquido expuesto al medio ambiente (20 °C) en función del empaque primario .....	38
12.	Variación de la absorbancia de un detergente líquido a 4 °C, en función del empaque primario .....	39
13.	Variación de la absorbancia de un detergente líquido expuesto al sol en función del empaque primario.....	39

14.	Variación del principio activo de un detergente líquido, almacenado en un envase de PET sin Protector UV, en una prueba de estabilidad.....	40
15.	Variación del principio activo de un detergente líquido, almacenado en un envase de PET con 0,5 % de protector UV, en una prueba de estabilidad.....	41
16.	Variación del principio activo de un detergente líquido a 40 °C, en función del empaque primario.....	43
17.	Variación del principio activo de un detergente líquido expuesto al medio ambiente (20 °C), en función del empaque primario .....	43
18.	Variación del principio activo de un detergente líquido a 4 °C, en función del empaque primario.....	44
19.	Variación del principio activo de un detergente líquido expuesto al sol, en función del empaque primario .....	44
20.	Variación del pH de un detergente líquido, almacenado en un envase PET sin protector UV, en una prueba de estabilidad.....	45
21.	Variación del pH de un detergente líquido, almacenado en un envase de PET con 0,5 % de protector UV, en una prueba de estabilidad.....	46
22.	Variación de la viscosidad de un detergente líquido, almacenado en un envase de PET sin protector UV, en una prueba de estabilidad.....	48
23.	Variación de la viscosidad de un detergente líquido, almacenado en un envase de PET con 0,5 % de protector UV, en una prueba de estabilidad.....	49
24.	Variación de la densidad de un detergente líquido, almacenado en un envase de PET sin protector UV, en una prueba de estabilidad.....	50
25.	Variación de la densidad de un detergente líquido, almacenado en un envase de PET con 0,5 % de protector UV, en una prueba de estabilidad.....	51

## TABLAS

I.	Longitud de onda para diversos colores visibles .....	19
II.	Variables independientes del estudio.....	21
III.	Variables dependientes del estudio .....	22
IV.	Condiciones de prueba de estabilidad .....	27
V.	Distribución de muestras a evaluar para envase con 0,5 % de benzotriazole UV absorber (Tinuvín®) .....	27
VI.	Distribución de muestras a evaluar para envase con 0,0 % de benzotriazole UV absorber (Tinuvín®) .....	28
VII.	Evaluaciones de material de empaque para su aprobación.....	29
VIII.	Evaluaciones de la prueba de estabilidad.....	29
IX.	Frecuencia de la recolección de datos.....	32
X.	Recolección de datos para los diferentes análisis según la secuencia de semanas para empaque con protector UV y empaque sin protector UV .....	33
XI.	Modelos matemáticos del comportamiento de decoloración de un colorante de triarilmetano contenido en un detergente líquido y almacenado en un envase transparente de PET sin protector UV.....	36
XII.	Modelos matemáticos del comportamiento de decoloración de un colorante de triarilmetano contenido en un detergente líquido y almacenado en un envase transparente de PET con 0,5 % de protector UV .....	37
XIII.	Modelos matemáticos de la estabilidad del principio activo de un detergente líquido almacenado en un envase de PET sin protector UV.....	41
XIV.	Modelos matemáticos de la estabilidad del principio activo de un detergente líquido almacenado en un envase de PET con 0,5 % de protector UV .....	42

XV.	Modelos matemáticos del comportamiento del pH de un detergente líquido almacenado en un envase de PET sin protector UV.....	46
XVI.	Modelos matemáticos del comportamiento del pH de un detergente líquido almacenado en un envase de PET con 0,5 % de protector UV.....	47
XVII.	Modelos matemáticos del comportamiento de la viscosidad de un detergente líquido almacenado en un envase de PET sin protector UV.....	48
XVIII.	Modelos matemáticos del comportamiento de la viscosidad de un detergente líquido almacenado en un envase de PET con 0,5 % de protector UV.....	49
XIX.	Modelos matemáticos del comportamiento de la densidad de un detergente líquido almacenado en un envase de PET sin protector UV.....	51
XX.	Modelos matemáticos del comportamiento de la densidad de un detergente líquido almacenado en un envase de PET con 0,5 % de protector UV.....	52
XXI.	Resultado de dimensiones para los diferentes envases transparentes de PET que se evaluaron.....	52
XXII.	Resistencia a la compresión de un envase de PET sin protector UV a diferentes alturas .....	53
XXIII.	Resistencia a la compresión de un envase de PET con 0,5 % de protector UV a diferentes alturas .....	54
XXIV.	Resultados de la prueba de caída para los envases transparentes de PET evaluados.....	54
XXV.	Resultados de la prueba de Stress Cracking para los envases transparentes de PET evaluados.....	55

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Abs</b>	Absorbancia
<b>TPA</b>	Ácido tereftálico
<b>R<sup>2</sup></b>	Coefficiente de regresión
<b>ρ</b>	Densidad [g/mL]
<b>DMT</b>	Dimetiltereftalato
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>DDBS</b>	Dodecil bencenosulfonato de sodio
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>g</b>	Gramos
<b>Kg-f</b>	Kilogramo fuerza
<b>LESS</b>	Lauril éter sulfato de sodio
<b>®</b>	Marca registrada
<b>mm</b>	Milímetros
<b>mL</b>	Militros
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxígeno bimolecular
<b>PET</b>	Polietilentereftalato
<b>%</b>	Porcentaje
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>REM</b>	Radiación electromagnética
<b>LAS</b>	Sulfonato de alquilbenceno lineal
<b>t</b>	Tiempo
<b>UV</b>	Ultravioleta
<b>μ</b>	Viscosidad absoluta [cP]





## GLOSARIO

<b>Absorbancia</b>	Medida de la radiación que absorbe una muestra analizada, se define como el logaritmo del inverso de la transmitancia.
<b>Detergente</b>	Sustancia tensoactiva que disuelve la suciedad o impurezas de un material sin corroerlo o dañarlo, existes detergentes líquidos y en polvo.
<b>Espectrofotometría</b>	Medición de la cantidad radiante que absorbe un sistema químico en función de la longitud de onda de la radiación.
<b>Military Stantard</b>	MIL-STD-105, norma estadounidense que establece procedimientos y tablas de muestreo por atributos, así como, rangos de confianza.
<b>Polímeros</b>	Se denomina polímero a la unión de moléculas denominadas monómeros, estas uniones forman cadenas largas que poseen formas diversas.
<b>Protector UV</b>	Aditivo que desarrolla una barrera de protección contras rayos ultra violeta, incrementando la vida útil de un producto.

<b>Surfactantes</b>	Agente activo de superficie, sustancia que posee una actividad superficial o interfacial. Influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases, también se les denomina tensoactivo.
<b>Tinuvin ®</b>	Nombre comercial de un protector UV, <i>benzotriazole UV absorber</i> .
<b>Transmitancia</b>	Fracción de la intensidad de luz que atraviesa una muestra en relación a la intensidad de luz que llega al detector después de pasar por un material transparente (blanco).

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento del ingrediente activo y decoloración de un colorante de triarilmetano contenidos en un detergente líquido y almacenado en un envase transparente de polietilentereftalato con 0,5 % de *benzotriazole UV absorber* (Tinuvín ®), considerando la variación de las propiedades fisicoquímicas del mismo.

El trabajo se realizó con apoyo del laboratorio de investigación y desarrollo de una empresa productora de detergentes y jabones, dicho laboratorio proporcionó los materiales de empaque y materia prima para poder realizar la investigación de la variación de color y propiedades fisicoquímicas de un detergente líquido en función del uso de *benzotriazole UV absorber* en el empaque primario.

La importancia del estudio radica en mejorar la vida útil de un detergente líquido para poder llevar al mercado productos de mayor calidad y que conserven sus características fisicoquímicas, basándose en un estudio de estabilidad (6 semanas en 4 condiciones ambientales diferentes).

A través del estudio se determinó la efectividad del uso de *benzotriazole UV absorber* (Tinuvín ®) añadido a un envase de polietilentereftalato para la conservación de un colorante de triarilmetano utilizado en un detergente líquido, asimismo, se estableció el comportamiento de las propiedades físicas y químicas del detergente líquido al estar almacenadas en envases con protector UV y sin protector UV.

El estudio abarcó la medición de densidad, viscosidad, pH, ingrediente activo y absorbancia de muestras de detergente líquido almacenadas en envases transparentes elaborados de PET, variando el porcentaje de adición de protector UV al envase, dichas mediciones se realizaron con métodos internos de la empresa.

Al definir el comportamiento de cada propiedad del detergente líquido se procedió a establecer modelos matemáticos que representen la tendencia de cada propiedad en función del tiempo de almacenamiento para cada condición evaluada (40 °C, medio ambiente, 4 °C y exposición al sol), también se obtuvieron los valores de coeficiente de regresión para cada modelo obtenido. Dichas tendencias son independientes del envase que almacene el detergente líquido.

Realizando el análisis de resultados se logró definir que el pH, viscosidad y densidad como variables independientes de la adición de protector UV al envase transparente de PET, es decir, no hay incidencia significativa del protector sobre estas variables. Caso contrario se obtuvo para los valores de absorbancia y materia activa, para estas últimas es el envase con 0,5 % de *benzotriazole UV absorber* el que presenta un mayor porcentaje de conservación de estas propiedades.

Se logró determinar la variación de propiedades físico mecánicas de un envase transparente con 0,5 % de protector UV y otro que carecía del mismo, dicha variación no representa cambios sobre las propiedades de los envases evaluados.

## OBJETIVOS

### General

Evaluar el comportamiento del ingrediente activo y decoloración de un colorante de triarilmetano contenido en un detergente líquido y almacenado en un envase transparente de polietilentereftalato con 0,5 % de *benzotriazole* UV *absorber* (Tinuvin®).

### Específicos

1. Determinar el comportamiento de decoloración de un colorante de triarilmetano, en función del tiempo, contenido en un detergente líquido utilizando un envase de polietilentereftalato con 0,5 % de *benzotriazole* UV *absorber* (Tinuvin®).
2. Evaluar la variación de propiedades químicas de materia activa y pH de un detergente líquido utilizando *benzotriazole* UV *absorber* (Tinuvin®) en un envase transparente de polietilentereftalato.
3. Evaluar la variación de propiedades físicas de densidad y viscosidad de un detergente líquido utilizando 0,5 % *benzotriazole* UV *absorber* (Tinuvin®) en un envase transparente de polietilentereftalato.
4. Determinar la variación de propiedades físico mecánicas entre dos envases de polietilentereftalato con 0,0 % y 0,5 % de *benzotriazole* UV *absorber* (Tinuvin®).

## Hipótesis

### Hipótesis nula:

- Existe una relación entre la decoloración de un colorante de triarilmetano contenido en un detergente líquido, utilizando como empaque primario envases de polietilentereftalato con 0,5 % de *benzotriazole UV absorber* (Tinuvín®).
- El uso de *benzotriazole UV absorber* (Tinuvín®) en un envase de PET transparente tiene influencia sobre la variación de las propiedades fisicoquímicas de un detergente líquido, utilizando un colorante de triarilmetano.
- La propiedades físico mecánicas de un envase de PET transparente con 0,5 % de *benzotriazole UV absorber* (Tinuvín®) tienen variación al compararlas con un envase de PET que carece de protector UV.

### Hipótesis alternativa:

- No existe una relación entre la decoloración de un colorante de triarilmetano contenido en un detergente líquido, utilizando como empaque primario envases de polietilentereftalato con 0,5 % de *benzotriazole UV absorber* (Tinuvín®).
- El uso de *benzotriazole UV absorber* (Tinuvín®) en un envase de PET transparente no ejerce influencia sobre la variación de las propiedades fisicoquímicas de un detergente líquido, utilizando un colorante de triarilmetano.
- La propiedades físico mecánicas de un envase de PET transparente con 0,5 % de *benzotriazole UV absorber* (Tinuvín®) no presentan variación al compararlas con un envase de PET que carece de protector UV.

## INTRODUCCIÓN

La elaboración de detergentes y jabones es una industria que ha crecido a través de los años, muestra de ello es la alta variedad de productos de limpieza que se encuentran en el mercado actual, el incremento de competencia en esta industria ha generado que las empresas tomen iniciativas de mejora en la calidad y aumento de vida útil de los productos que elaboran y distribuyen en los mercados consumidores.

La conservación de color y propiedades fisicoquímicas de los detergentes líquidos es un problema que se ha detectado en los diferentes puntos de consumo del producto, es decir, la disminución de la vida útil de un producto se encuentra afectado por factores ambientales externos no controlables, tales como temperatura, rayos ultravioleta, humedad, entre otros. La percepción del consumidor respecto a la calidad de un producto está definida por el aspecto visual del producto, para mejorar esta variable se utilizan aditivos que sirven de barreras de protección contra la degradación del detergente respecto del tiempo.

Los protectores contra rayos ultravioleta son una herramienta que se utilizan como barrera de protección de las condiciones ambientales, a las que se encuentran expuestos los productos de limpieza que se distribuyen en el mercado consumidor. Estos pueden adicionar a la fórmula principal del detergente líquido o en el proceso de producción del empaque primario del producto, la variación de su uso repercute en los costos de producción.



Las industrias de detergentes optan por colocar el protector UV como aditivo al empaque primario debido a su bajo costo en comparación de los protectores UV que forman parte de la receta principal de un detergente. La implementación de un aditivo al empaque primario conlleva una validación de conservación de propiedades del detergente líquido y del empaque primario.

# **1. MARCO CONCEPTUAL**

## **1.1. Antecedentes**

A través de los años la conservación de las propiedades fisicoquímicas en el tiempo de un producto final ha tomado importancia para las diferentes industrias dedicadas a la elaboración de productos de limpieza.

Los estudios realizados sobre el funcionamiento de protectores UV en empaques elaborados de polietilentereftalato (PET), han sido llevados a cabo por entidades privadas o empresas dedicadas a la producción de envases de este tipo de material. Las investigaciones tienen como fin, determinar el grado de protección a la radiación UV que posee un recipiente elaborado de PET.

El análisis de la efectividad de un protector UV tiene como finalidad determinar el porcentaje de conservación de color, propiedades fisicoquímicas y otros, durante un período de tiempo establecido.

Debido a la variedad de productos que los envases de PET pueden almacenar se han realizado pruebas de estabilidad con diferentes productos, como alimentos, bebidas, productos de higiene personal y lavandería. El período de tiempo que dura una evaluación se encuentra definido por el tiempo en anaquel aproximado que posee un producto, así como, el tiempo en el que éste llegará al consumidor.

Los entes encargados de investigaciones referentes a protectores UV y envases de PET dejan sus resultados como internos debido a la alta competencia que existe en los mercados actuales y emergentes. Dentro de los estudios que se han realizado se pueden encontrar investigaciones de universidades extranjeras:

- Envases, empaques y embalajes alimentarios  
María Daniela Demuner Carreón e Iñigo Verdalet Guzmán  
Facultad de Nutrición-Xalapa.  
Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Veracruzana
- Efecto de la adición del absorbedor UV (Tinuvín 234) sobre la calidad del aceite de soja en envases de polietileno tereftalato (PET)  
Márcia Aurelina de Oliveira Alves, Carmen Silvia Arruda, Paulo José Ogliari, Elza Maria Meinert, Evanilda Teixeira, Daniel Barrera-Arellano y Jane Mara Block.  
Brasil

## **1.2. Justificación**

Actualmente las diferentes industrias que existen en el medio buscan mejorar la conservación de sus productos, incrementando la vida útil de los mismos, su principal objetivo la satisfacción del consumidor brindando productos de calidad a menores costos de producción.

En la industria de detergentes líquidos que tienen como empaque primario un envase transparente de PET se presenta como principal problema la decoloración del producto en un tiempo indefinido debido a las condiciones ambientales a las que se encuentra expuesto el producto.

La decoloración del producto se puede retrasar al hacer uso de aditivos que contribuyen a la protección del producto, los protectores UV son ejemplo de ello y estos pueden ser añadidos como parte de la fórmula principal del detergente o como parte del empaque primario del producto, el impacto de éstas radica en los costos que se encuentran ligados a la producción del producto final.

Para definir la efectividad del protector UV se debe considerar la variación de las propiedades fisicoquímicas del detergente, en función de su conservación o disminución de su valor aceptado por un período de tiempo determinado.

Debido a que el añadir un protector UV a la fórmula principal implica un mayor costo al de añadirlo al empaque se realizó el estudio para la opción de menor costo, es decir, añadir el protector UV a un envase transparente elaborado de PET.

### **1.3. Determinación del problema**

La preocupación de las diferentes empresas dedicadas a la elaboración de detergentes líquidos por la conservación de las propiedades fisicoquímicas de los productos, da como resultado la búsqueda de alternativas que extiendan la vida útil de un producto sin dañar la efectividad del mismo.

Actualmente se hace uso de los protectores UV para disminuir degeneración de las propiedades fisicoquímicas y colorante de un detergente, existen dos alternativas las cuales son: añadir el protector a la fórmula y la otra es añadir el protector al empaque primario del detergente.

En los últimos meses se han detectados problemas de decoloración en detergentes líquidos, con tres colorantes diferentes, esto ha generado la necesidad de determinar el nivel de eficiencia de un protector UV utilizado en el empaque primario, al compararlo con otro empaque sin el protector.

### **1.3.1. Definición**

El problema de la decoloración detectada para detergentes líquidos con envases de PET transparente, generó la incertidumbre del comportamiento del resto de las propiedades fisicoquímicas de estos.

La eficiencia del protector UV se determina a través de la conservación de las propiedades fisicoquímicas del detergente líquido, la barrera de protección que éste brinda al producto es visible al realizar un estudio de estabilidad, que establezca las condiciones extremas a las que puede someterse un determinado producto.

### **1.3.2. Delimitación**

El análisis de la eficiencia de *benzotriazole UV absorber* (Tinuvin ®) se determinó al evaluar el comportamiento de la decoloración que se presenta en los detergentes líquidos al estar en cuatro condiciones definidas de temperatura, por medio de una prueba de estabilidad.

El estudio se realizó utilizando un empaque transparente elaborado de PET con adición del 0,5 % de *benzotriazole UV absorber* (Tinuvin ®) y un colorante de triarilmetano, su finalidad es el establecer un patrón o relación la variación del ingrediente activo y su contenedor.

Adicional al control de color se analizó otras propiedades del detergente: densidad, viscosidad, ingrediente activo y pH, los análisis de laboratorio se realizaron con métodos internos de la empresa interesada por el estudio.



## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Detergente

Detergente es una sustancia tensoactiva que tiene la propiedad química de disolver la suciedad o las impurezas de un objeto sin corroerlo. Para lograr su función limpiadora, un detergente debe producir numerosos fenómenos, los cuales dependen del tipo de sustrato, suciedad y de las condiciones ambientales. Por ello se diseñan fórmulas específicas capaces de actuar con eficiencia en casos particulares y fórmulas generales con variedad de resultados.

La mayoría de los detergentes son compuestos de sodio del sulfonato de benceno sustituido, denominados sulfonatos de alquilbenceno lineales (LAS). Otros son compuestos de alquilbencen sulfatos de cadena ramificada, que se degradan más lentamente que los LAS. Hasta los años 70 un detergente de lavandería de gran potencia contenía en general 50 % de tripolifosfato de sodio y sólo un 18 % de ingrediente activo, la eliminación del tripolifosfato de sodio de los detergentes es iniciativa de las empresas como parte de la responsabilidad social empresarial que poseen, pues los fosfatos tienen efectos secundarios sobre cuerpos hídricos a los que drenan las aguas residuales.

Los detergentes pueden ser líquidos y en polvo, las propiedades y usos de ambos son variables. Los detergentes líquidos son productos de limpieza cuyo fin principal es el de remover la suciedad mediante un agente limpiador, llamado agente surfactante.



Dependiendo del tipo de producto, en su formulación puede incluir algunos de los siguientes compuestos: agentes ablandadores de agua, abrillantadores, blanqueadores, fijadores del color, enzimas, suavizantes, perfumes, colorantes y rellenos.

El creciente interés por preservar el ambiente y la especialización de los detergentes han llevado a las empresas dedicadas a la producción de jabones y detergentes a poner un especial cuidado en la composición de los mismos, como incluir agentes biodegradables y desarrollar formulaciones para usos específicos, tal como remoción de manchas, blanquear la ropa, conservar el color o proteger la ropa con diferentes calidades.

Es importante mencionar que aunque los jabones comparten propiedades con los detergentes, los jabones no son considerados detergentes. Los jabones deben su tensoactividad a la propiedad de sus moléculas de tener una parte hidrófila y otra lipófila y poder emulsionar la suciedad insoluble en agua. En el jabón, esta propiedad se obtiene al hidrolizar un ácido graso de cadena larga con una sal alcalina, frecuentemente de sodio o de calcio, este proceso se denomina saponificación.

El primer detergente se fabricó consistía en una mezcla de jabón tradicional al que se añadió perborato y silicato sódicos. Se denominó con las tres primeras letras de cada añadido, Persil (1906).

La principal diferencia entre jabón y detergente se encuentra en los grupos polares, en los jabones es el grupo carboxilato ( $\text{O}=\text{C}-\text{O}-\text{Na}$ ) y en los detergentes es el grupo  $\text{SO}_3\text{Na}$ .

### **2.1.1. Materias primas para detergentes líquidos**

Las materias primas generales que componen un detergente líquido son las siguientes:

- **Tensoactivo:** es el componente principal del detergente y encargado de remover la suciedad durante el lavado. Los que se utilizan para este fin son los tensoactivos aniónicos, dentro de ellos los más usados comercialmente son el lauril etoxisulfato de sodio, conocido también como lauril eter sulfato de sodio (LESS) y el dodecil bencenosulfonato de sodio (DDBS), con nombre común ácido sulfónico.

Los tensoactivos aniónicos (sulfonatos, ester-sulfatos, jabones) y no iónicos (alcoholes o fenoles etoxilados) actúan rebajando la tensión interfacial, se adsorben y cambian el potencial superficial, emulsionando y dispersando las partículas sólidas.

- **Agua:** es el componente de mayor porcentaje de un detergente y el medio en el cual se disuelve todos los componentes del detergente. Debido a que puede facilitar la contaminación es importante que sea microbiológicamente adecuada para su uso.
- **Aditivos solubilizantes:** se utilizan para favorecer la solubilidad en agua de los tensoactivos. Dependiendo del tensoactivo que se utilice en la formulación puede no ser necesario su uso, ejemplo de ellos son: etanol, glicerina, propilenglicol, urea.

- Agente secuestrante: se agrega para disminuir la dureza del agua, es importante debido a que la dureza del agua (presencia de sales) puede desestabilizar la fórmula y, en corto plazo, el detergente obtenido podría insolubilizar sus componentes, disminuyendo el rendimiento del mismo.

Estos agentes tienen como fin la “secuestrar” los cationes divalentes del agua dura (calcio, magnesio) para evitar la interacción de estos iones con el tensoactivo que se utiliza en la fórmula principal. La eliminación se hace en forma de solubilización, precipitación, o intercambio iónico.

- Conservante: sirve para mantener la estabilidad del detergente líquido evitando la contaminación bacteriana del mismo. Ejemplo de los conservantes son: propil y metil parabenos.
- Colorantes – esencias: sirven para darle aspecto agradable al producto final y disminuir posibles olores desagradables, debido a los tensoactivos o algún otro componente de la fórmula.
- Espesante: aumenta la viscosidad del detergente y mejora su apariencia generando una sensación de calidad en el consumidor. Por lo general se utiliza cloruro de sodio disuelto en agua.
- Aditivos protectores de la piel: contrarrestan la acción nociva de los tensoactivos sobre la piel. Es importante que se utilicen para obtener un producto de calidad y seguro para su uso.
- Regulador de pH: el valor aceptable de pH en un detergente líquido se encuentra entre 6 o 7. Para mantener el valor se aumenta el pH utilizando álcalis como hidróxido de sodio diluido y para disminuir el pH se utilizan ácidos como el ácido cítrico, bórico o clorhídrico.

- Agentes espumantes y no espumantes: los agentes espumantes más utilizados son el lauril sulfato y los surfactantes no iónicos nitrogenados como óxido de aminas, alcanol amidas, aminas y amidas etoxiladas, también se usan compuestos complejos como alcanolamidas o monoglicéridos sulfatados.
- Enzimas: los surfactantes con actividad biológica contienen enzimas tales como esperasa, savinasa o alcalasa. Estas enzimas son capaces de degradar rápidamente manchas de proteínas en un medio de pH alcalino y temperatura máxima de 60 °C. Su actividad permite la utilización de un medio detergente en frío, particularmente en detergentes líquido, para remojo a temperatura ambiente.

## **2.2. Envases de polietilentereftalato (PET)**

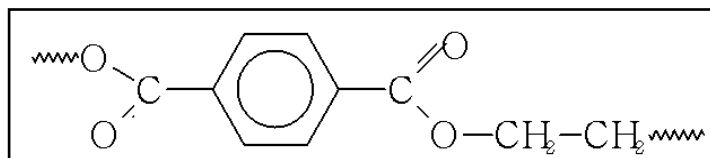
Otros nombres que recibe el polietilentereftalato son tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno o polietileno tereftalato, el uso común del PET es para la elaboración de envases de bebidas, textiles y detergentes.

El PET es un polímero termoplástico lineal con un alto grado de cristalinidad. Puede ser procesado mediante extrusión, inyección, inyección y soplado, soplado de preforma. Para evitar el crecimiento excesivo de las esferulitas y lamelas de cristales el PET, en el proceso de producción, debe ser enfriado rápidamente con esto se logra una mayor transparencia, la razón de su transparencia al enfriarse rápido consiste en que los cristales no alcanzan a desarrollarse completamente y su tamaño no interfiere con la trayectoria de la longitud de onda de la luz visible.

### 2.2.1. Características del polietilentereftalato

La unidad repetitiva del PET tiene un anillo aromático, éste presenta una estructura molecular con una regularidad estructural necesaria para obtener un potencial de cristalización. Su cristalización varía de amorfo a muy cristalino; puede ser muy transparente e incoloro pero sus secciones gruesas suelen ser opacas y blancas, tiene propiedades de protección y alta resistencia química excepto a los álcalis.

Figura 1. Unidad repetitiva del PET



Fuente: EEIGM. Estudio de mezcla y copolímeros de PET/PEN. p. 4.

El PET se caracteriza por ser ligero y poseer una alta resistencia mecánica a la compresión y caídas. Su empleo actual es diverso y el más común es la fabricación de botellas, también se produce en forma de film que se utilizan en alimentos, láminas, audio / video y fotografía.

Dentro de sus características relevantes están:

- Alta transparencia, aunque admite cargas de colorantes.
- Alta resistencia al desgaste y corrosión.
- Buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química y térmica.
- Buena barrera a CO<sub>2</sub>, aceptable barrera a O<sub>2</sub> y humedad.

- Compatible con otros materiales que se usan como barrera que juntos mejoran la calidad de barrera de los envases y permiten su uso en mercados específicos.
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios.

## **2.2.2. Producción de PET**

La producción de envases transparentes de PET implica etapas que buscan mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un envase, las cuales en forma general son:

### **2.2.2.1. Polimerización**

Industrialmente, se puede partir de dos productos intermedios distintos: TPA (ácido tereftálico) y DMT (dimetiltereftalato). Se hace reaccionar por esterificación TPA o DMT con glicol etilénico y se obtiene el monómero Bis-beta-hidroxi-etil-tereftalato, el cual en una fase sucesiva, mediante policondensación, se polimeriza en PET.

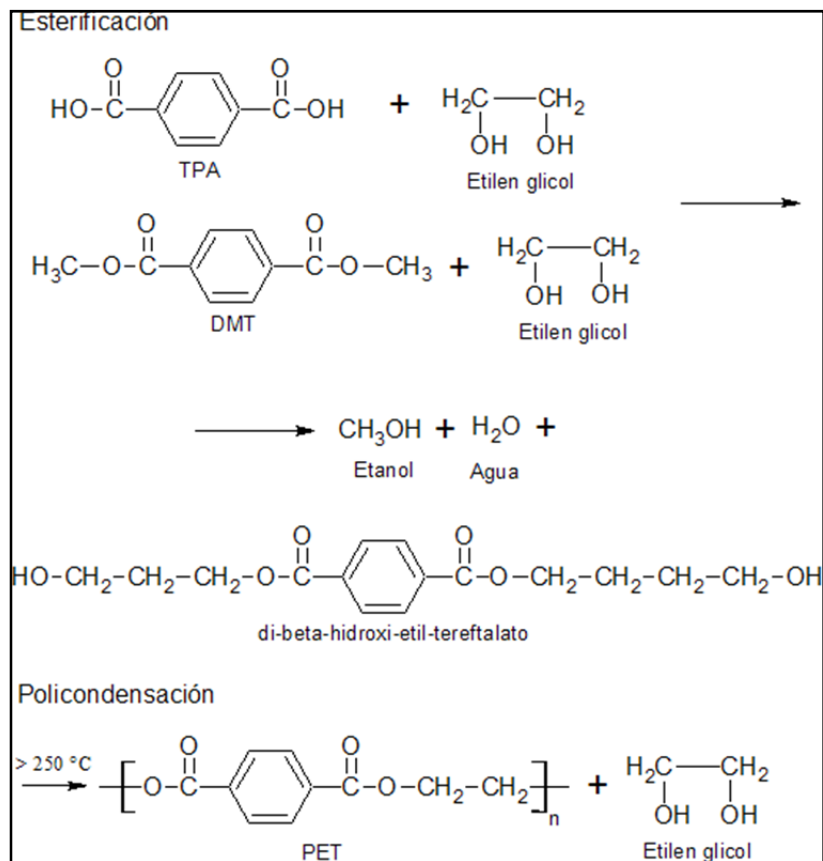
En la reacción de esterificación, se elimina agua en el proceso del TPA y metanol en el proceso del DMT. La reacción de policondensación se facilita mediante catalizadores y elevadas temperaturas (mayor a 270 °C). La eliminación del glicol etilénico es favorecida por el vacío que se aplica en la autoclave; el glicol recuperado se destila y vuelve al proceso de fabricación.

Cuando la masa del polímero ha alcanzado la viscosidad deseada, registrada en un reómetro adecuado, se romperá el vacío introduciendo nitrógeno en la autoclave. En este punto se detiene la reacción y la presencia

del nitrógeno evita fenómenos de oxidación. La masa fundida, por efecto de una suave presión ejercida por el nitrógeno, es obligada a pasar a través de una matriz cayendo en una batea con agua se enfrían y consolidan.

Los hilos que pasan por una cortadora que reduce a gránulos, los cuales, tamizados y desempolvados se envían al almacenamiento y fabricación. El gránulo así obtenido es brillante y transparente porque es amorfo, tiene baja viscosidad.

Figura 2. Producción de PET



Fuente: <http://www.textoscientificos.com/polimeros/pet/produccion-pet>. Consulta: enero de 2014.

### **2.2.2.2. Cristalización**

Con este término se define el cambio de estructura de los polímeros semicristalinos y que consiste en el fenómeno físico con el que las macromoléculas pasan de una estructura en la cual su disposición espacial es desordenada a una estructura uniforme y ordenada.

El proceso industrial consiste en un tratamiento térmico a 130 °C – 160 °C, durante un tiempo que puede variar de 10 minutos a una hora, mientras el gránulo es mantenido en agitación por efecto de un lecho fluido o de un movimiento mecánico.

### **2.2.2.3. Polimerización en estado sólido**

Esta etapa también se conoce como pospolimerización, es una fase posterior de polimerización del PET. El granulo cristalizado se carga en un reactor cilíndrico en cuyo interior es sometido a un flujo de gas inerte (nitrógeno) a temperatura elevada (sobre los 200 °C) durante tiempos muy largos.

Este tratamiento lleva una reacción de polimerización que hace aumentar posteriormente el peso molecular de la resina, hasta los valores correspondientes idóneos para la fabricación de la una botella de PET. El aumento de la viscosidad intrínseca es directamente proporcional al aumento del peso molecular.

En esta reacción, mientras se ligan las moléculas, es eliminado parte del acetaldehído que se forma en la primera polimerización.



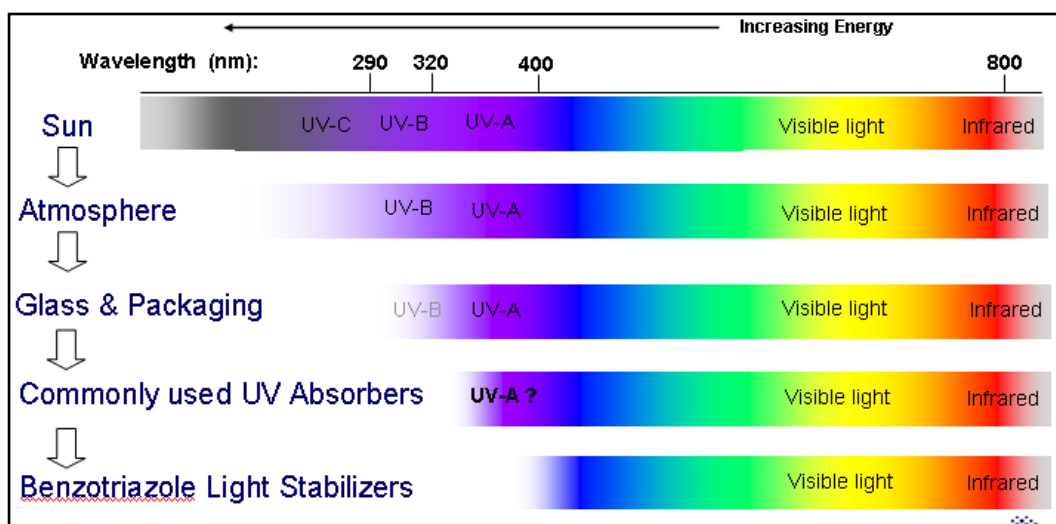
## 2.3. Protector UV

Los estabilizadores para polímeros se utilizan, de forma individual o combinados, para prevenir la oxidación, la fisión en cadena, recombinaciones no controladas y reticulaciones causadas por la foto oxidación de los polímeros. Los polímeros se deterioran por el contacto directo o indirecto del calor o de la luz ultravioleta. Los absorbentes UV disipan la energía de la luz absorbida de los rayos UV como calor por la transferencia reversible intramolecular de protón. Esto reduce la absorción de rayos UV a través de la matriz de polímero y reduce el desgaste.

### 2.3.1. Benzotriazole UV absorber (Tinuvin®)

El Tinuvin® es un absorbedor de luz ultravioleta para materias plásticas de poliolefinas y poliéster, así como, otros sustratos susceptibles de deterioro UV.

Figura 3. Longitud de onda que afecta la vida útil de un producto



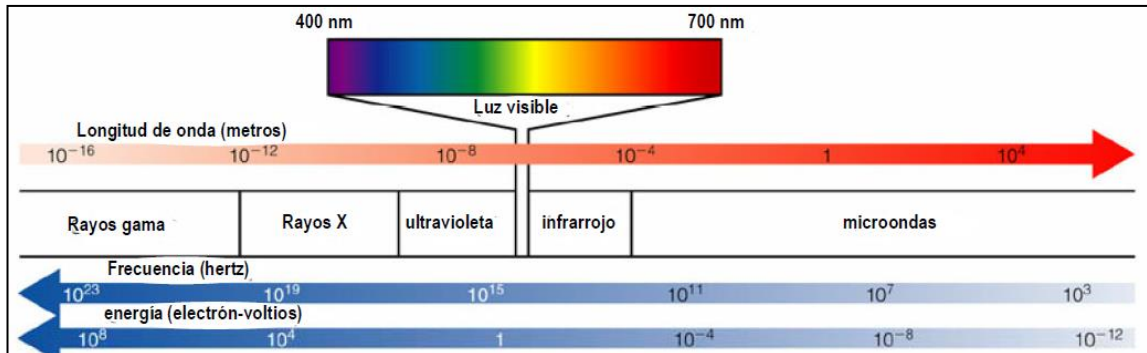
Fuente: CIBA. UV Light Stabilizers. p. 6.

## 2.4. Espectrofotometría

Se denomina espectrofotometría a la medición de la cantidad de energía radiante que absorbe un sistema químico en función de la longitud de onda de la radiación, es un método de análisis óptico.

El fundamento de la espectrofotometría es la capacidad que tienen las moléculas para absorber radiaciones, entre ellas las radiaciones dentro del espectro UV visible. Las longitudes de onda de las radiaciones que una molécula puede absorber y la eficiencia con la que se absorben dependen de la estructura atómica y de las condiciones del medio (pH, temperatura, fuerza iónica, constante dieléctrica), por lo que dicha técnica constituye un valioso instrumento para la determinación y caracterización de biomoléculas.

Figura 4. Espectro electromagnético



Fuente: Brunatti, Carlos. Espectrofotometría: espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. p. 2.

En espectroscopia el término luz no sólo se aplica a la forma visible de radiación electromagnética, sino también a las formas UV e IR, que son invisibles. En espectrofotometría de absorbancia se utilizan las siguientes regiones:

- Región ultravioleta: UV cercano de 195 nm – 400 nm, región de energía muy alta que provoca daño al ojo humano. Los compuestos con dobles enlaces aislados, triples enlaces, enlaces peptídicos, sistemas aromáticos, grupos carbonilos y otros heteroátomos tiene su máxima absorbancia en esta región. La fuente de radiación ultravioleta es una lámpara de deuterio.
- Luz visible: 400 nm – 780 nm, en esta región se aprecia el color de una solución y que corresponde a la longitud de onda de luz que trasmite, no que absorbe. El color que absorbe es el complementario del color que trasmite. Por ello para realizar mediciones de absorción es necesaria utilizar la longitud de onda en la que absorbe luz la solución colorada. La fuente de radiación visible suele ser una lámpara de tungsteno y no proporciona suficiente energía por debajo de 320 nm.

Tabla I. Longitud de onda para diversos colores visibles

Longitud de onda aproximada [nm]	Color de luz que se absorbe	Color de luz que se refleja
390 – 435	Violeta	Amarillo verdoso
435 – 490	Azul	Amarillo
490 – 580	Verde	Rojo
580 – 595	Amarillo	Azul
595 – 650	Naranja	Azul verdoso
650 – 780	Rojo	Verde azulado

Fuente: Brunatti, Carlos. Espectrofotometría: espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. p. 3.

### 2.4.1. Espectrofotómetro

El espectrofotómetro es un instrumento que permite comparar la radiación absorbida o transmitida por una solución que contiene una cantidad desconocida de soluto y una que contiene una cantidad conocida de la misma sustancia. Los cuatro componentes fundamentales de un espectrofotómetro son: la fuente, el monocromador, la celda y el detector.

Un espectrofotómetro es un instrumento que tiene la capacidad de manejar un haz de Radiación Electromagnética (REM), comúnmente denominado “luz”, separándolo en facilitar la identificación, calificación y cuantificación de su energía. Su eficiencia, resolución, sensibilidad y rango espectral, dependerán de las variables de diseño y de la selección de los componentes ópticos que lo conforman.

El color de las sustancias se debe a que éstas absorben ciertas longitudes de onda de la luz blanca que incide sobre ellas, y sólo se logran ver aquellas longitudes de onda que no fueron absorbidas.

#### **2.4.2. Transmitancia y absorbancia**

Cuando un rayo de luz de una determinada longitud de onda de intensidad incide perpendicularmente sobre una disolución de un compuesto químico que absorbe luz, el compuesto absorberá una parte de la radiación incidente y dejará pasar el resto.

La transmitancia de una sustancia en solución es la relación entre la cantidad de luz transmitida que lleva un detector una vez que ha atravesado la muestra ( $I_t$ ), y la cantidad de luz que incidió sobre ella ( $I_o$ ), y se representa en porcentaje  $\%T = I_t/I_o \cdot 100$ . La transmitancia da la medida física de la relación de intensidad incidente y transmitida al pasar por una muestra. La relación posee una función logarítmica inversa.

La absorbancia es un concepto que indica la cantidad de luz absorbida por la misma, se define como el logaritmo del inverso de la transmitancia. La cantidad absorbida dependerá de la distancia que atraviesa la luz a través de la solución y de la concentración de éste.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Variables

El estudio de la decoloración de los detergentes líquidos, considerando sus propiedades fisicoquímicas, en función del uso de *benzotriazole* UV *absorber* se define con las siguientes variables:

##### 3.1.1. Variables independientes

Las variables independientes del estudio se encuentran divididas en dos grupos, siendo los siguientes:

- Protector UV
  - *Benzotriazole* UV *absorber*
- Color de detergente
  - Azul (colorante de triarilmetano)

Tabla II. **Variables independientes del estudio**

Descripción	Símbolo	Dimensional
Protector UV	-	%
Color	-	Absorbancia

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2. Variables dependientes

Las variables dependientes del estudio del comportamiento de las propiedades fisicoquímicas y colorantes con el uso de protector UV en el empaque primario son las siguientes:

- Densidad
- Materia activa
- pH
- Viscosidad

Tabla III. Variables dependientes del estudio

Descripción	Símbolo	Dimensional
Densidad	$\rho$	g/mL
Materia activa	%	Adimensional
pH	-	Adimensional
Viscosidad	$\mu$	cP

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Delimitación del campo de estudio

El estudio se realiza con las siguientes delimitaciones:

- Campo de estudio: detergentes líquidos
- Proceso: pruebas de estabilidad
- Unidad de estudio: *benzotriazole UV absorber* (Tinuvin®)
- Ubicación: la investigación se elaboró en un laboratorio de investigación y desarrollo, donde se realizan estudios para determinar la funcionalidad de nuevas iniciativas de productos antes de ingresar al mercado, así como, la optimización de los productos actuales de la empresa misma.

### 3.3. Recursos humanos disponibles

Los recursos humanos con que se contará son:

- Tesista: Kelinton Ottoniel Sic Cajbón  
Estudiante Ingeniería Química
- Asesor: Licda. María Eugenia Oliva Pozuelos  
Licenciada en Química Farmacéutica  
USAC  
Colegiado No. 3226



- Asesor: Ing. Giancarlo Salvatore Vitola Sanchinelli  
Ingeniero Químico  
Universidad Rafael Landívar  
Colegiado No. 1614
  
- Asistente: Elsa Marina Chin Bran  
Asistente de Laboratorio
  
- Otros: Departamento de Investigación y Desarrollo  
Personal administrativo

#### **3.4. Recursos materiales disponibles**

La investigación se basó en determinar la efectividad de un protector UV para detergentes líquidos, utilizado en un empaque primario elaborado de PET. Para realizar el estudio se hizo uso de los siguientes instrumentos de medición:

- Viscosímetro
- Potenciómetro
- Picnómetro
- Espectrofotómetro

### **3.5. Técnica cuantitativa/cualitativa**

El estudio inició con la aprobación del material de empaque a utilizar, envases de PET con 0,0 % y 0,5 % de *benzotriazole UV absorber* (Tinuvin ®), para ello se realizaron pruebas de dimensiones, caída y stress cracking, donde los criterios de aceptación se establecen por la tolerancias aceptadas para cada variable involucrada.

Al aprobar el material de empaque se procedió a la determinar la variación de color de un detergente líquido en un período de tiempo, a través de una prueba de estabilidad que involucra el análisis de las propiedades físicas y químicas del detergente líquido.

La prueba de estabilidad involucró el análisis de la variación de las propiedades fisicoquímicas de un detergente líquido en cuatro condiciones ambientales diferentes.

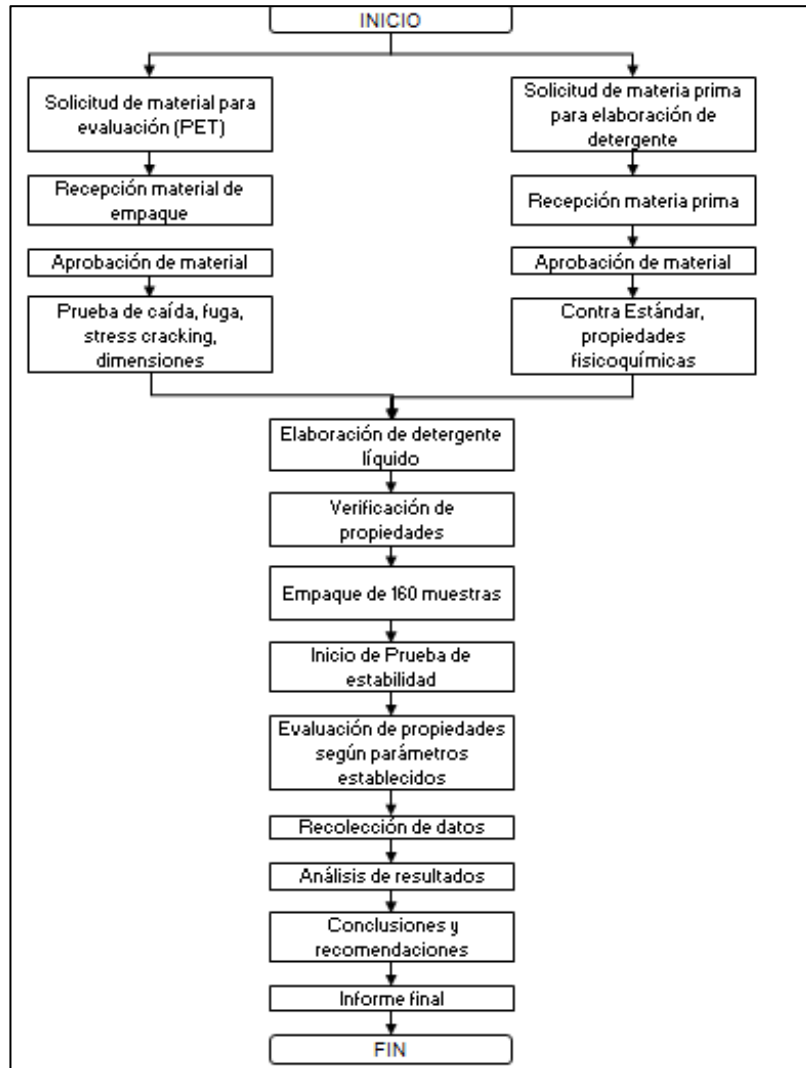
#### **3.5.1. Diseño general**

La prueba inició con una evaluación de las propiedades físicas y de resistencia de los envases a evaluar, esto con la finalidad de establecer las condiciones iniciales del empaque y verificar que todas las variables de medición cumplan con las tolerancias permitidas.

La evaluación de la eficiencia de un protector UV para la disminución de la variación de color en un detergente líquido y conservación de propiedades fisicoquímicas, se basó en el análisis de los cambios de estas propiedades a través de un determinado período de tiempo, dicha evaluación se denomina “Prueba de Estabilidad”.

Una prueba de estabilidad determina la compatibilidad del empaque primario de un producto con la fórmula actual del mismo. En este caso se realizó para determinar la variación de las propiedades fisicoquímicas de un detergente líquido a utilizar, dos empaques primarios variando una característica (con protector UV y en ausencia del mismo).

Figura 5. **Diseño general de investigación**



Fuente: elaboración propia.

El diseño de la prueba se realizó para un color de producto, tomando en cuenta la interacción con el empaque primario y propiedades fisicoquímicas del detergente líquido. La prueba se divide en 4 condiciones siendo las siguientes:

Tabla IV. **Condiciones de prueba de estabilidad**

Condición		Descripción
1	4 °C	A través de una cámara de estabilidad con temperatura controlada.
2	Medio ambiente	A través de una cámara de estabilidad con temperatura oscilante de (20 – 25) °C.
3	40 °C	A través de una cámara de estabilidad con temperatura controlada.
4	Al Sol	Condición que simula la vida en anaquel del producto, sin control de temperatura.

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Distribución de muestras a evaluar para envase con 0,5 % de benzotriazole UV absorber (Tinuvin ®)**

Condición	Número de muestras
	Colorante A
4 °C	10
Medio ambiente	10
40 °C	10
Al Sol	10
Total	40

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Distribución de muestras a evaluar para envase con 0,0 % de *benzotriazole UV absorber* (Tinuvin®)**

Condición	Número de muestras
	Colorante A
4 °C	10
Medio ambiente	10
40 °C	10
Al Sol	10
Total	40

Fuente: elaboración propia.

La prueba de estabilidad considera las siguientes evaluaciones:

- Inspección cualitativa del empaque primario (PET)
- Inspección cuantitativa del empaque primario (PET)
- Inspección cualitativa del detergente líquido
- Inspección cuantitativa del detergente líquido

Antes de iniciar la prueba de estabilidad se realizaron pruebas generales del envase, verificando las medidas y resistencia del material de empaque, esto con la finalidad de determinar las condiciones de los diferentes envases a evaluar, así como, la variación de las propiedades en función de la adición de *benzotriazole UV absorber* (Tinuvin®).

Tabla VII. **Evaluaciones de material de empaque para su aprobación**

<b>Tipo de Inspección</b>	<b>Atributo</b>	<b>Método / Instrumento</b>	<b>Referencia</b>
<b>Inspección general</b>	Peso	Balanza	Estándar
	Dimensiones	Vernier	Estándar
<b>Pruebas de resistencia</b>	Stress cracking	Interno	Sin fugas
	Prueba de caída	Interno	Sin fugas
	Prueba de fugas	Interno	Sin fugas

Fuente: elaboración propia.

La prueba de estabilidad consideró las siguientes mediciones:

Tabla VIII. **Evaluaciones de la prueba de estabilidad**

<b>Tipo de Inspección</b>	<b>Atributo</b>	<b>Método / Instrumento</b>	<b>Referencia</b>
<b>Cualitativos de envase PET</b>	Deformaciones	Visual	Estándar
	Color	Visual	Estándar
<b>Cuantitativos de envase PET</b>	Peso	Balanza	Estándar
<b>Cuantitativos de detergente líquido</b>	Materia activa	Titulación	Estándar
	Viscosidad	Viscosímetro	Estándar
	pH	Potenciómetro	Estándar
	Densidad	Interno	Estándar
	Color	Espectrofotómetro	-
<b>Cualitativos de detergente líquido</b>	Estabilidad del producto (que no se separe)	Visual	Estándar

Fuente: elaboración propia.

### 3.5.2. Metodología de medición de viscosidad

La viscosidad se midió con un **viscosímetro Brookfield DV-II + PRO** con dimensionales de cP, para ello se acondicionaron las muestras de detergente líquido a 20 °C en una cámara de estabilidad.

El viscosímetro cuenta con un juego de agujas que se clasifican por especificaciones del proveedor y parámetros del líquido a evaluar, para el análisis se utilizó la aguja que proporcionó una lectura de torque mayor al 80 %.

Figura 6. **Viscosímetro Brookfield DV-II + PRO**



Fuente: <http://www.laborat.com/viscosimetro-dv-ii-pro-sm>. Consulta. 5 de enero de 2014.

### 3.5.3. Metodología de medición de densidad

La densidad de las muestras de detergente líquido se midió utilizando un picnómetro de 25 mL, el cual es un instrumento que proporciona resultados con mayor precisión.

Los datos de los diferentes pesos se midieron con una balanza digital de 4 decimales y el resultado de densidad se obtuvo con la ecuación 3 (anexo 1).

Figura 7. **Picnómetro**



Fuente: <http://www.directindustry.es/>. Consulta. Fecha: 6 de enero de 2014.



### 3.6. Recolección y ordenamiento de información

Durante las 6 semanas de prueba se realizaron análisis descritos en la tabla VIII (Evaluaciones de la prueba de estabilidad) en intervalos de 2 semanas.

Tabla IX. Frecuencia de la recolección de datos

<b>Tipo de Inspección</b>	<b>Atributo</b>	<b>Semana</b>	<b>Dimensional</b>
<b>Cualitativos de envase PET</b>	Deformaciones	0, 2, 4, 6.	-
	Color	0, 2, 4, 6.	-
<b>Cuantitativos de envase PET</b>	Peso	0, 6.	[g]
	Dimensiones	0.	[mm]
<b>Cuantitativos de detergente líquido</b>	Materia activa	0, 2, 4, 6.	[%]
	Viscosidad	0, 2, 4, 6.	[cP]
	pH	0, 2, 4, 6.	-
	Densidad	0, 2, 4, 6.	[g/mL]
	Color	0, 2, 4, 6.	[Abs]
<b>Cualitativos de detergente líquido</b>	Estabilidad del producto (que no se separe)	0, 2, 4, 6.	-

Fuente: elaboración propia.

### 3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de información

Los diferentes análisis que se realizaron fueron registrados en la siguiente tabla, dicha tabla se utilizó para llevar un control de los resultados para los dos empaques a evaluar.

Tabla X. **Recolección de datos para los diferentes análisis según la secuencia de semanas para empaque con protector UV y empaque sin protector UV**

Inspección	Atributo	Número de semana				
		4 °C	MA	40 °C	Sol	
Cualitativos de envase PET	Deformaciones					-
	Color					-
Cuantitativos de envase PET	Peso					[g]
	Dimensiones					[mm]
Cuantitativos de detergente líquido	Materia activa					[%]
	Viscosidad					[cP]
	pH					-
	Densidad					[g/mL]
	Color					[Abs]
Cualitativos de detergente líquido	Estabilidad					-
	Perfume (olor)					-

Fuente: elaboración propia.

Con la información obtenida se realizó la modelación de la tendencia de las diferentes propiedades fisicoquímicas de un detergente líquido, a través del tiempo en función del empaque primario utilizado.

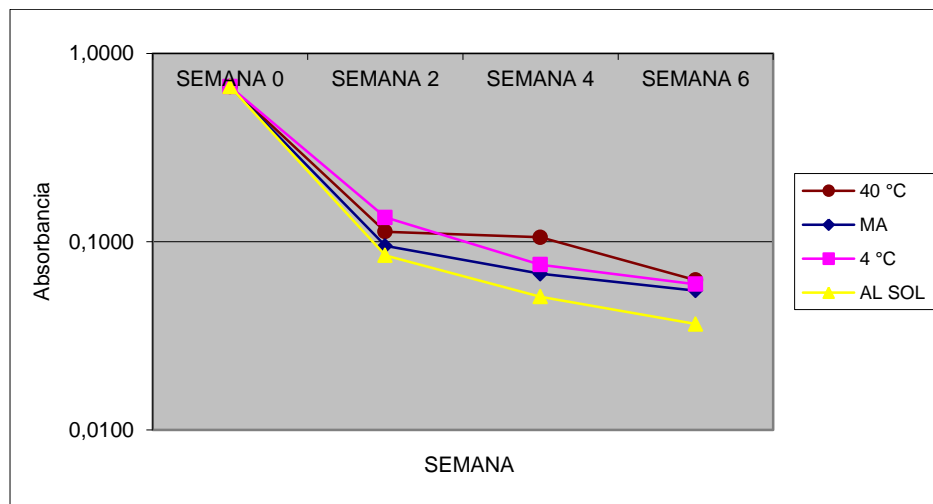


## 4. RESULTADOS

### 4.1. Comportamiento de decoloración de un colorante de triarilmetano contenido en un detergente líquido y almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %)

El comportamiento de decoloración de un colorante de triarilmetano añadido a un detergente líquido, en función del envase que lo almacene se muestra en las siguientes figuras.

Figura 8. Variación de la absorbancia de un detergente líquido, almacenado en un envase de PET sin protector UV, en una prueba de estabilidad



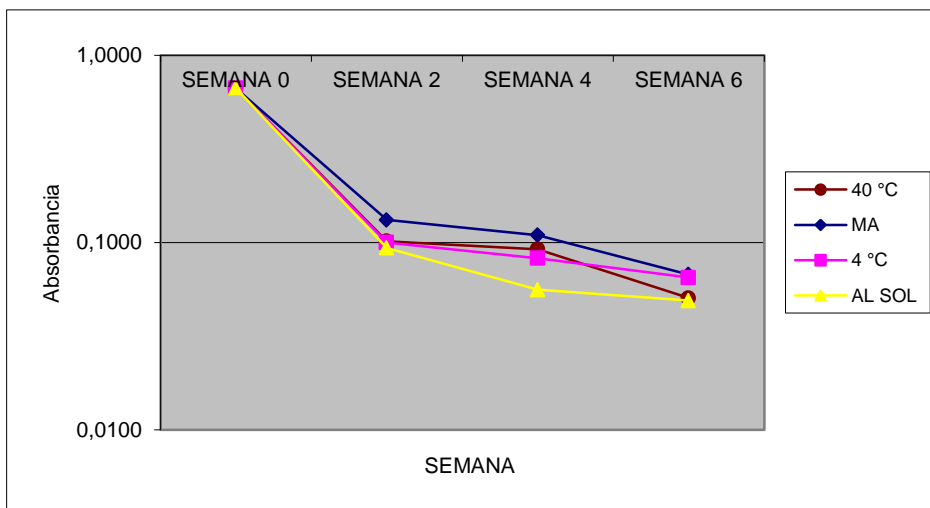
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.

Tabla XI. **Modelos matemáticos del comportamiento de decoloración de un colorante de triarilmetano contenido en un detergente líquido y almacenado en un envase transparente de PET sin protector UV**

Condición	Modelo	Coefficiente de regresión [R <sup>2</sup> ]
40 °C	$Abs = 0,5504t^{-1,6424}$	0,9161
MA	$Abs = 0,5262t^{-1,8212}$	0,9157
4 °C	$Abs = 0,5823t^{-1,7794}$	0,9678
Al Sol	$Abs = 0,5421t^{-2,1127}$	0,9503

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Variación de la absorbancia de un detergente líquido, almacenado en un envase de PET con 0,5 % de protector UV, en una prueba de estabilidad**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.

Tabla XII. **Modelos matemáticos del comportamiento de decoloración de un colorante de triarilmetano contenido en un detergente líquido y almacenado en un envase transparente de PET con 0,5 % de protector UV**

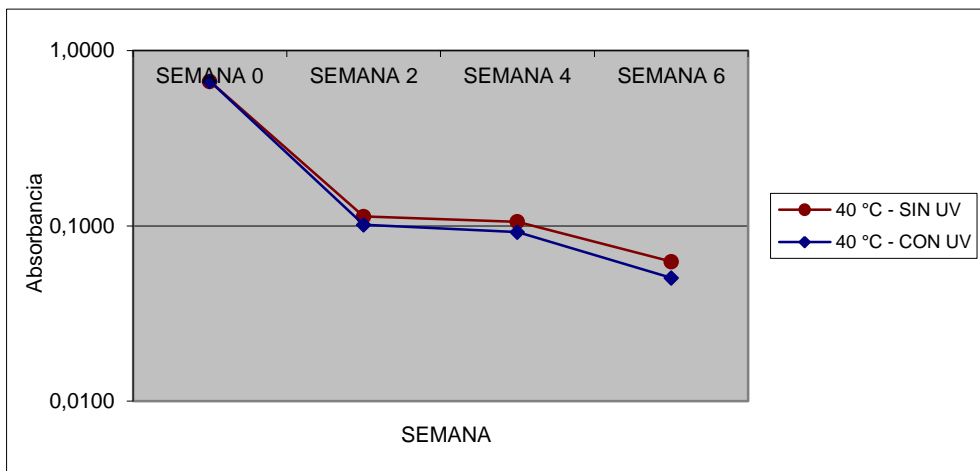
Condición	Modelo	Coefficiente de regresión [R <sup>2</sup> ]
40 °C	$Abs = 0,5507t^{-1,7872}$	0,9255
MA	$Abs = 0,5713t^{-1,6045}$	0,9432
4 °C	$Abs = 0,5217t^{-1,6786}$	0,8951
Al Sol	$Abs = 0,5320t^{-1,9352}$	0,9285

Fuente: elaboración propia.

**4.2. Comparación del comportamiento de decoloración de un colorante de triarilmetano contenido en un detergente líquido y almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %)**

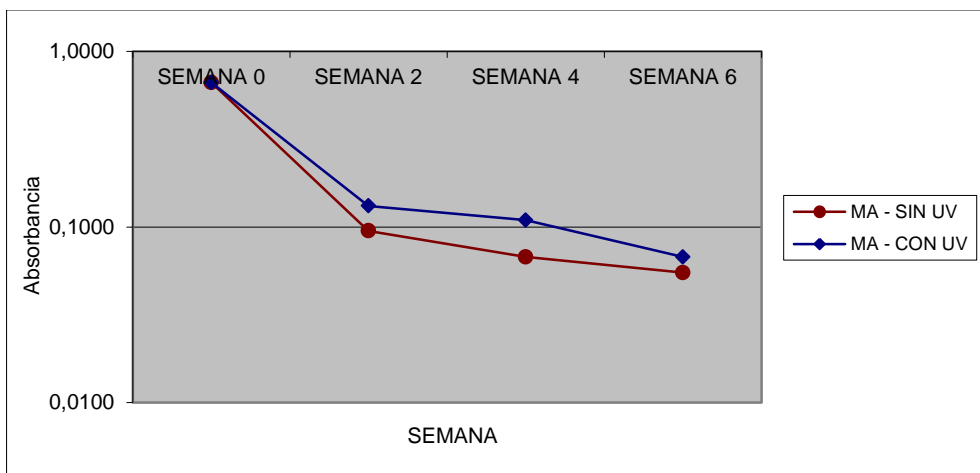
La decoloración de un colorante de triarilmetano añadido a un detergente líquido y almacenado en envases de PET, con y sin protector UV, presenta las siguientes diferencias en cada condición evaluada.

Figura 10. **Variación de la absorbancia de un detergente líquido a 40 °C en función del empaque primario**



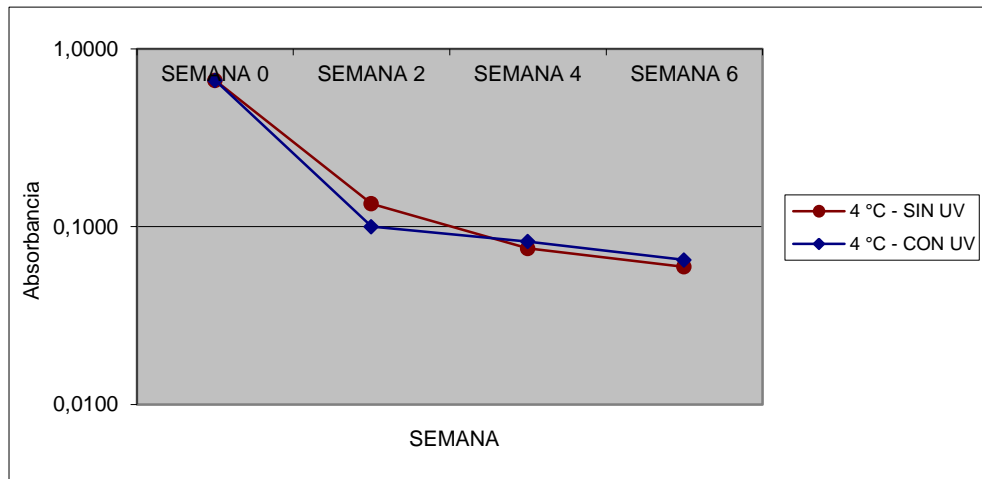
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.

Figura 11. **Variación de la absorbancia de un detergente líquido expuesto al medio ambiente (20 °C) en función del empaque primario**



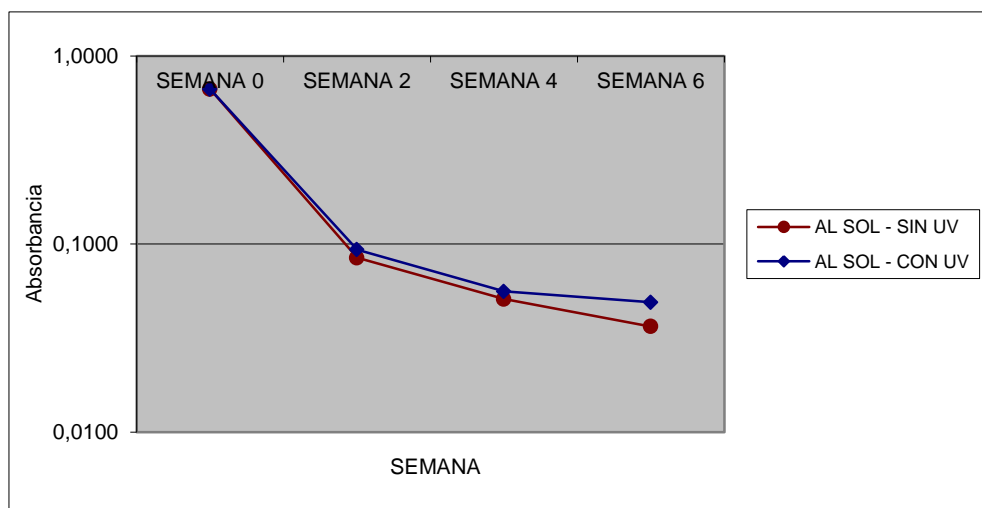
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.

Figura 12. **Variación de la absorbancia de un detergente líquido a 4 °C, en función del empaque primario**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.

Figura 13. **Variación de la absorbancia de un detergente líquido expuesto al sol en función del empaque primario**



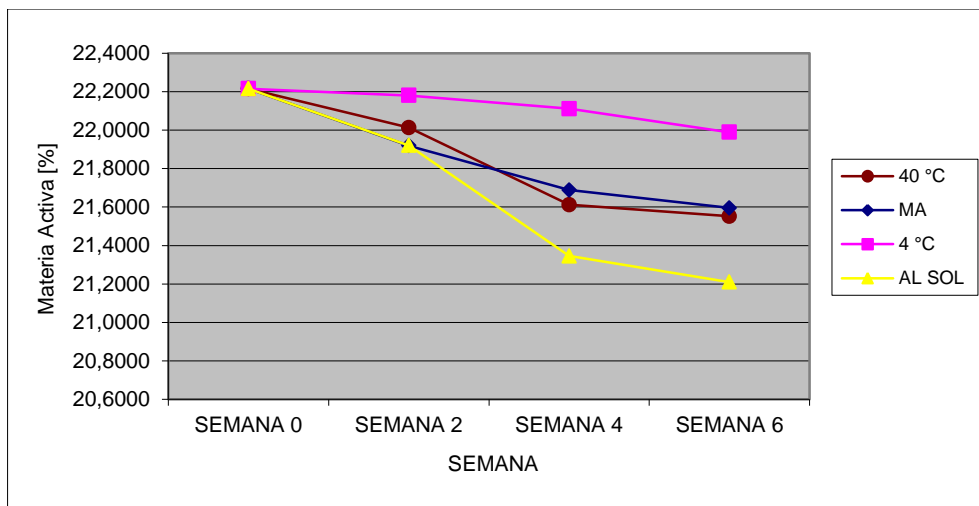
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.



**4.3. Evaluación de la estabilidad del principio activo de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %)**

El comportamiento del principio activo de un detergente líquido, a través del tiempo, en función del envase que lo almacene se muestra en las siguientes figuras.

**Figura 14. Variación del principio activo de un detergente líquido, almacenado en un envase de PET sin Protector UV, en una prueba de estabilidad**



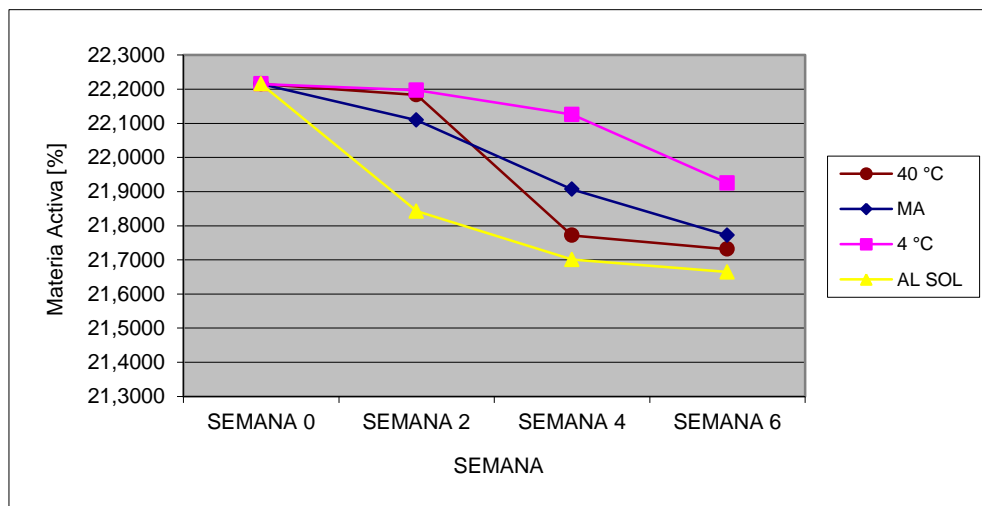
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.

Tabla XIII. **Modelos matemáticos de la estabilidad del principio activo de un detergente líquido almacenado en un envase de PET sin protector UV**

Condición	Modelo	Coefficiente de regresión [R <sup>2</sup> ]
40 °C	Activo = $0,0353t^2 - 0,4158t + 22,6228$	0,9523
MA	Activo = $0,0508t^2 - 0,4629t + 22,6311$	0,9988
4 °C	Activo = $-0,0218t^2 + 0,034t + 22,2022$	0,9995
Al Sol	Activo = $0,0397t^2 - 0,5577t + 22,7693$	0,9616

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Variación del principio activo de un detergente líquido, almacenado en un envase de PET con 0,5 % de protector UV, en una prueba de estabilidad**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.

Tabla XIV. **Modelos matemáticos de la estabilidad del principio activo de un detergente líquido almacenado en un envase de PET con 0,5 % de protector UV**

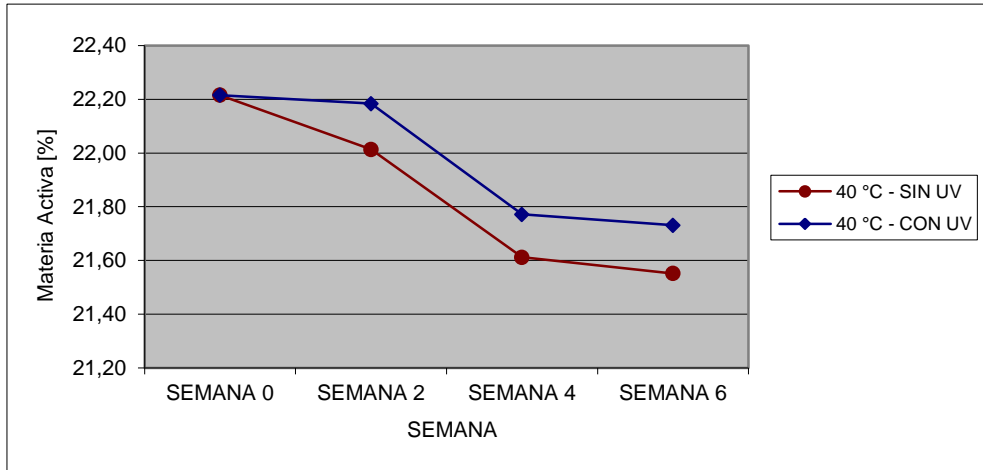
<b>Condición</b>	<b>Modelo</b>	<b>Coefficiente de regresión [R<sup>2</sup>]</b>
40 °C	Activo = $-0,0021t^2 - 0,1758t + 22,4309$	0,8600
MA	Activo = $-0,0073t^2 - 0,1166t + 22,3475$	0,9887
4 °C	Activo = $-0,0457t^2 + 0,1342t + 22,1229$	0,9943
Al Sol	Activo = $0,0842t^2 - 0,6003t + 22,7251$	0,9958

Fuente: elaboración propia.

**4.4. Comparación de la estabilidad del principio activo de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %)**

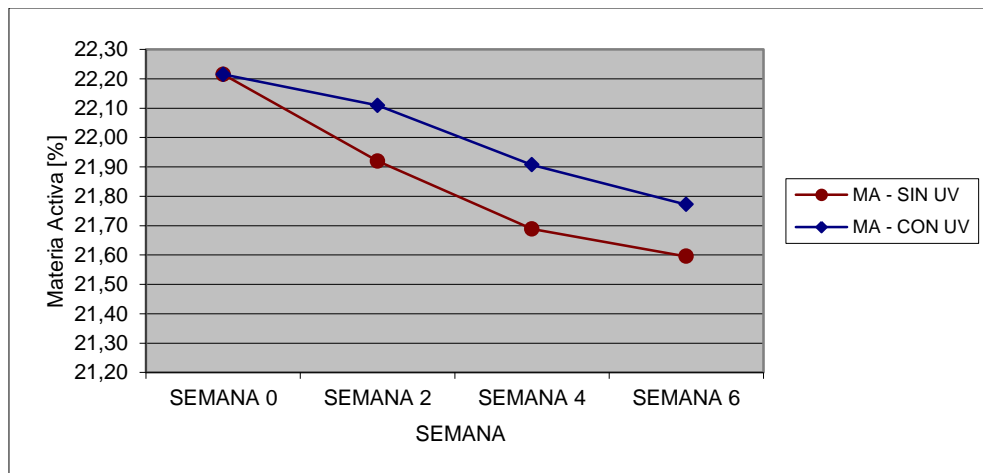
La degradación del principio activo de un detergente líquido almacenado en envases de PET, con y sin protector UV, presenta las siguientes diferencias en cada condición evaluada.

Figura 16. **Variación del principio activo de un detergente líquido a 40 °C, en función del empaque primario**



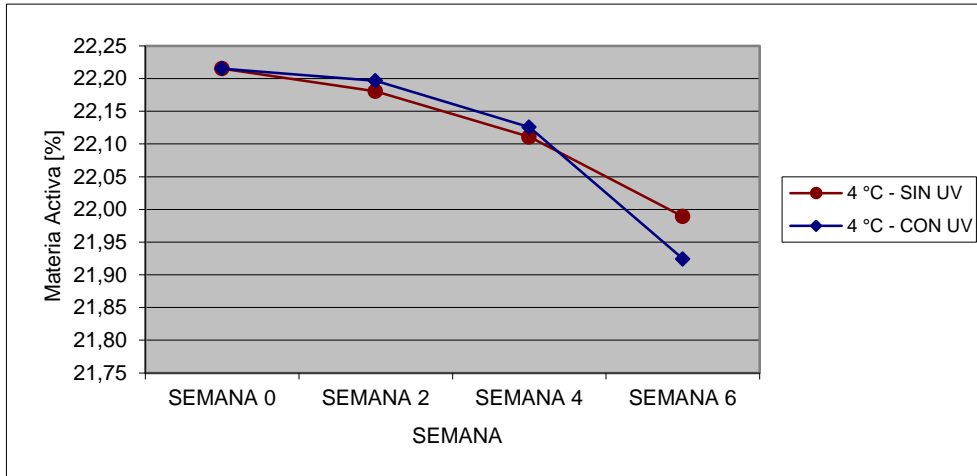
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.

Figura 17. **Variación del principio activo de un detergente líquido expuesto al medio ambiente (20 °C), en función del empaque primario**



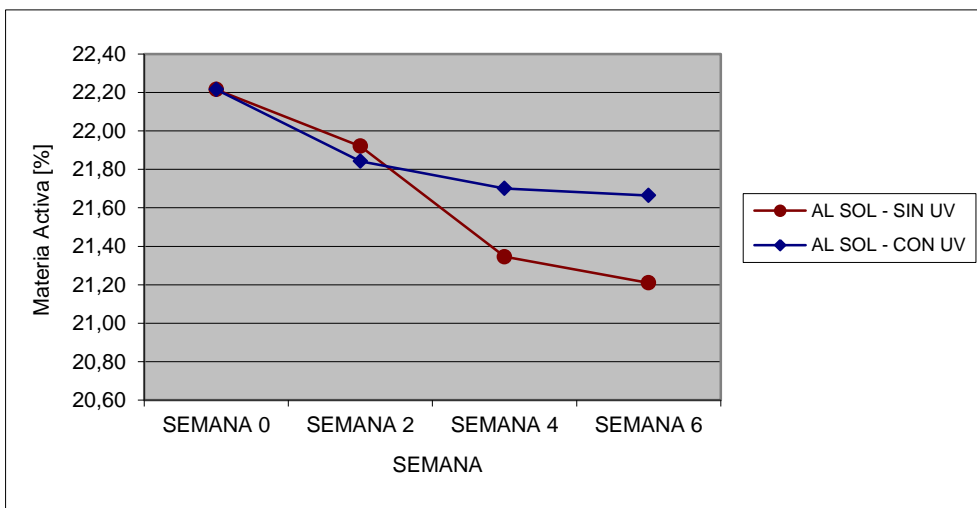
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.

Figura 18. **Variación del principio activo de un detergente líquido a 4 °C, en función del empaque primario**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.

Figura 19. **Variación del principio activo de un detergente líquido expuesto al sol, en función del empaque primario**

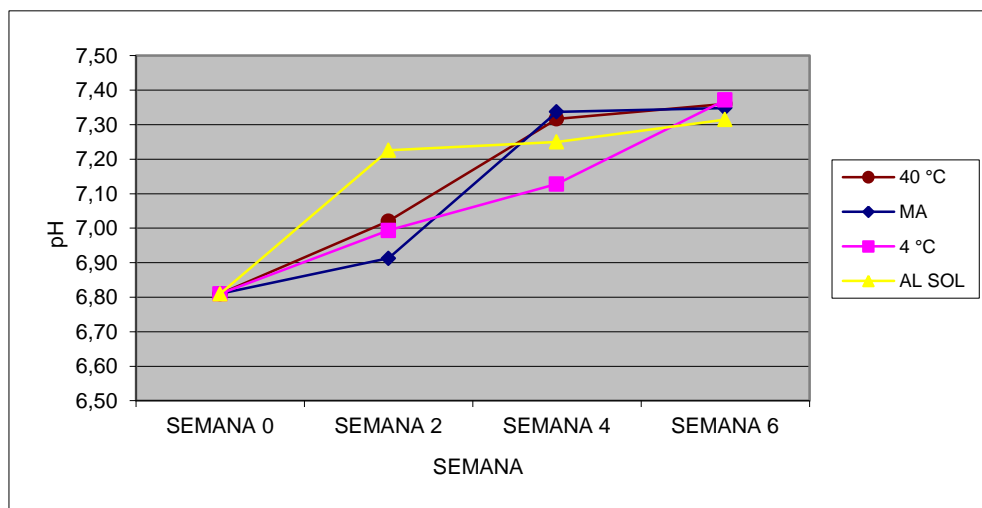


Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.

**4.5. Comportamiento del pH de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %)**

El comportamiento del pH de un detergente líquido, a través del tiempo, en función del envase que lo almacene se muestra en las siguientes figuras.

**Figura 20. Variación del pH de un detergente líquido, almacenado en un envase PET sin protector UV, en una prueba de estabilidad**



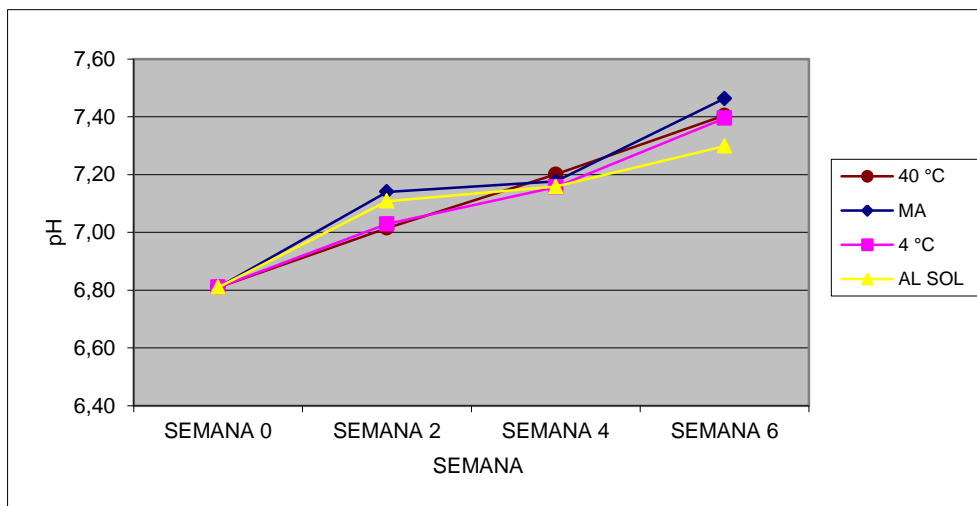
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.

Tabla XV. **Modelos matemáticos del comportamiento del pH de un detergente líquido almacenado en un envase de PET sin protector UV**

Condición	Modelo	Coefficiente de regresión [R <sup>2</sup> ]
40 °C	$\text{pH} = -0,0418t^2 + 0,4035t + 6,4313$	0,9716
MA	$\text{pH} = -0,0230t^2 + 0,3190t + 6,4773$	0,8861
4 °C	$\text{pH} = 0,0150t^2 + 0,1069t + 6,6960$	0,9926
Al Sol	$\text{pH} = -0,0877t^2 + 0,5926t + 6,3268$	0,9409

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Variación del pH de un detergente líquido, almacenado en un envase de PET con 0,5 % de protector UV, en una prueba de estabilidad**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.

Tabla XVI. **Modelos matemáticos del comportamiento del pH de un detergente líquido almacenado en un envase de PET con 0,5 % de protector UV**

<b>Condición</b>	<b>Modelo</b>	<b>Coefficiente de regresión [R<sup>2</sup>]</b>
40 °C	$\text{pH} = -0,0003t^2 + 0,1982t + 6,6140$	0,9996
MA	$\text{pH} = -0,0108t^2 + 0,2532t + 6,5948$	0,9307
4 °C	$\text{pH} = 0,0047t^2 + 0,1645t + 6,6508$	0,9887
Al Sol	$\text{pH} = -0,0395t^2 + 0,3491t + 6,5173$	0,9552

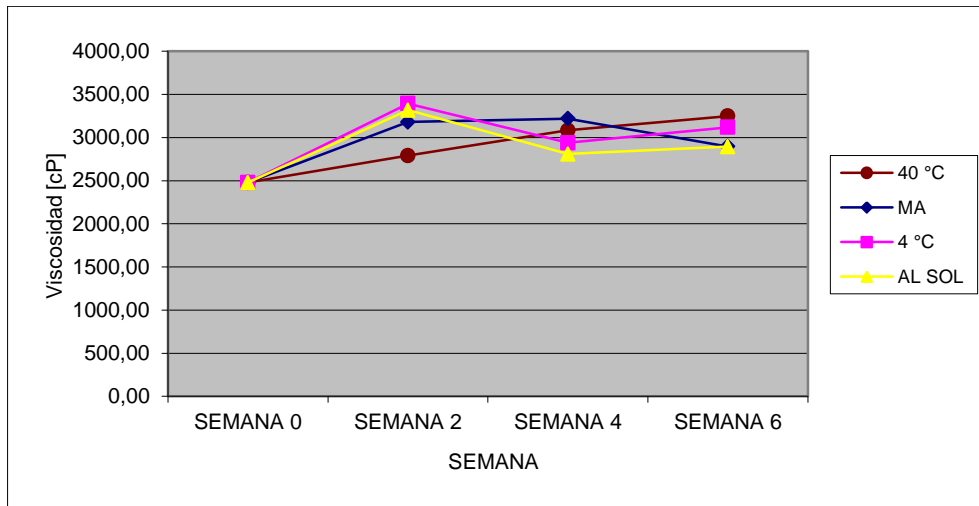
Fuente: elaboración propia.

**4.6. Comportamiento de la viscosidad de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %)**

El comportamiento de la viscosidad de un detergente líquido, a través del tiempo, en función del envase que lo almacene se muestra en las siguientes figuras.



Figura 22. **Variación de la viscosidad de un detergente líquido, almacenado en un envase de PET sin protector UV, en una prueba de estabilidad**



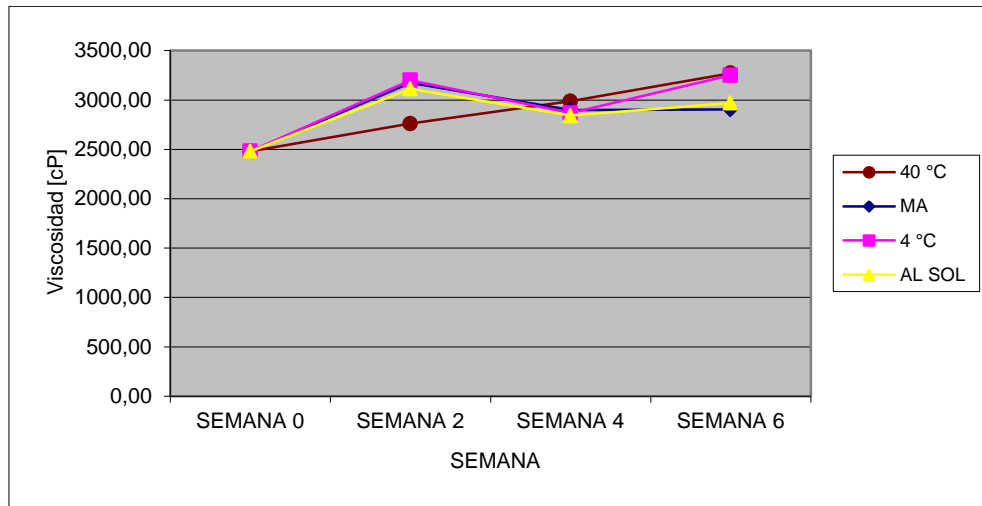
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.

Tabla XVII. **Modelos matemáticos del comportamiento de la viscosidad de un detergente líquido almacenado en un envase de PET sin protector UV**

Condición	Modelo	Coefficiente de regresión [R <sup>2</sup> ]
40 °C	$\mu = -36,25t^2 + 441,15t + 2\ 069,50$	0,9982
MA	$\mu = -255,88t^2 + 1\ 408,30t + 1\ 342,40$	0,9874
4 °C	$\mu = -183,00t^2 + 1\ 061,50t + 1\ 701,75$	0,5455
Al Sol	$\mu = -188,25t^2 + 1\ 015,00t + 1\ 750,30$	0,4733

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Variación de la viscosidad de un detergente líquido, almacenado en un envase de PET con 0,5 % de protector UV, en una prueba de estabilidad**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.

Tabla XVIII. **Modelos matemáticos del comportamiento de la viscosidad de un detergente líquido almacenado en un envase de PET con 0,5 % de protector UV**

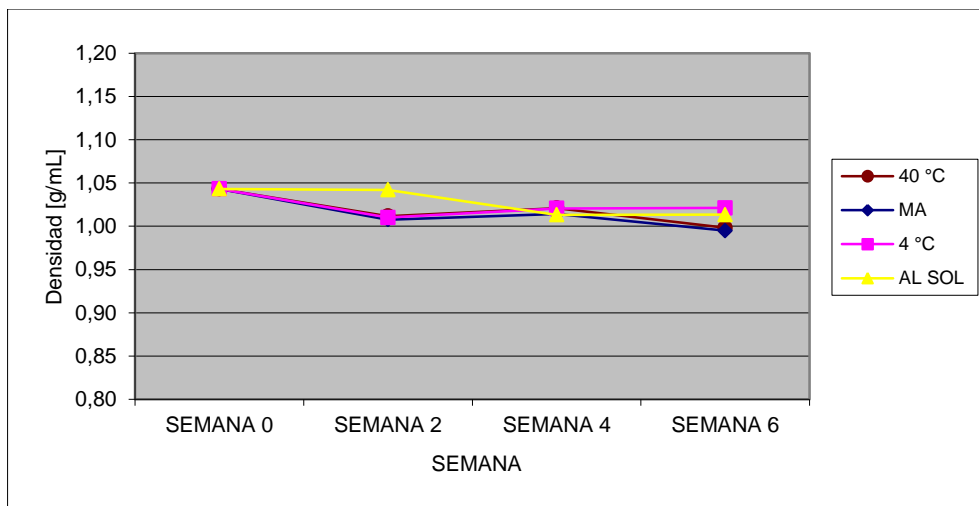
Condición	Modelo	Coefficiente de regresión [R <sup>2</sup> ]
40 °C	$\mu = 0,625t^2 + 257,12t + 2\ 227,90$	0,9981
MA	$\mu = -172,50t^2 + 961,90t + 1\ 753,30$	0,6821
4 °C	$\mu = -84,625t^2 + 620,97t + 2\ 031,9$	0,5904
Al Sol	$\mu = -126,13t^2 + 750,47t + 1\ 920,9$	0,6142

Fuente: elaboración propia.

**4.7. Comportamiento de la densidad de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %)**

El comportamiento de la densidad de un detergente líquido, a través del tiempo, en función del envase que lo almacene se muestra en las siguientes figuras.

**Figura 24. Variación de la densidad de un detergente líquido, almacenado en un envase de PET sin protector UV, en una prueba de estabilidad**



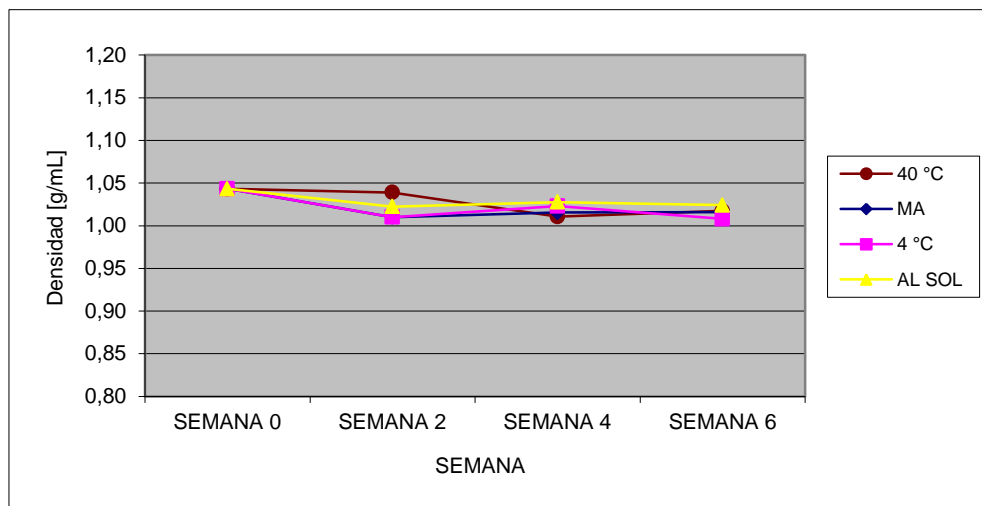
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.

Tabla XIX. **Modelos matemáticos del comportamiento de la densidad de un detergente líquido almacenado en un envase de PET sin protector UV**

Condición	Modelo	Coefficiente de regresión [R <sup>2</sup> ]
40 °C	$\rho = 0,0022t^2 - 0,0234t + 1,0608$	0,7506
MA	$\rho = 0,0041t^2 - 0,0342t + 1,0699$	0,8185
4 °C	$\rho = 0,0084t^2 - 0,0475t + 1,0796$	0,7528
Al Sol	$\rho = 0,0003t^2 - 0,0133t + 1,0590$	0,8141

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Variación de la densidad de un detergente líquido, almacenado en un envase de PET con 0,5 % de protector UV, en una prueba de estabilidad**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.

Tabla XX. **Modelos matemáticos del comportamiento de la densidad de un detergente líquido almacenado en un envase de PET con 0,5 % de protector UV**

Condición	Modelo	Coefficiente de regresión [R <sup>2</sup> ]
40 °C	$\rho = 0,0028t^2 - 0,0244t + 1,0678$	0,7693
MA	$\rho = 0,0084t^2 - 0,0497t + 1,0823$	0,8573
4 °C	$\rho = 0,0046t^2 - 0,0321t + 1,0671$	0,6528
Al Sol	$\rho = 0,0043t^2 - 0,0265t + 1,0637$	0,774

Fuente: elaboración propia.

#### 4.8. Resultados de las pruebas realizadas a dos envases de PET, variando el porcentaje de protector UV (0,0 % y 0,5 %)

Las pruebas realizadas a los diferentes envases de PET, con y sin protector UV, presenta los siguientes resultados:

Tabla XXI. **Resultado de dimensiones para los diferentes envases transparentes de PET que se evaluaron**

Envase transparente sin protector UV			
Descripción	Peso del envase [g]	Diámetro interno de cuello [mm]	Altura total de envase [mm]
Promedio	24,94	26,40	19,49
Máximo	25,23	26,58	19,50
Mínimo	24,65	25,86	19,40
Desviación Estándar	0,21	0,16	0,04
Incertidumbre	+/- 0,01	+/- 0,01	+/- 0,01

Fuente: elaboración propia.

Continuación tabla XXI.

<b>Envase transparente con protector UV</b>			
Descripción	Peso del envase [g]	Diámetro interno de cuello [mm]	Altura total de envase [mm]
Promedio	25,11	26,40	19,47
Máximo	25,23	26,56	19,50
Mínimo	24,88	26,19	19,40
Desviación Estándar	0,11	0,11	0,05
Incertidumbre	+/- 0,01	+/- 0,01	+/- 0,01

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Resistencia a la compresión de un envase de PET sin protector UV a diferentes alturas**

Altura de compresión [mm]	Resistencia [kg-f]			
	Promedio	Máximo	Mínimo	Desv. Estándar
1	4,24	4,85	3,78	0,3728
2	8,34	8,97	7,45	0,5238
3	11,71	12,94	10,02	0,9700
4	12,80	14,38	10,71	1,2370

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Resistencia a la compresión de un envase de PET con 0,5 % de protector UV a diferentes alturas**

Altura de compresión [mm]	Resistencia [kg-f]			
	Promedio	Máximo	Mínimo	Desv. Estándar
1	4,72	5,26	3,78	0,4668
2	9,29	9,94	8,56	0,4272
3	11,83	12,67	11,00	0,5150
4	13,46	14,78	12,56	0,6004

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Resultados de la prueba de caída para los envases transparentes de PET evaluados**

Envase transparente de PET sin protector UV	
Altura	Conclusión
1	Pasa
2	Pasa
3	Pasa
4	Pasa
5	Pasa
Envase transparente de PET con protector UV	
Altura	Conclusión
1	Pasa
2	Pasa
3	Pasa
4	Pasa
5	Pasa

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Resultados de la prueba de Stress Cracking para los envases transparentes de PET evaluados**

<b>Envase transparente de PET sin protector UV</b>	
<b>Tiempo</b>	<b>Conclusión</b>
100 horas	Pasa
<b>Envase transparente de PET con protector UV</b>	
<b>Tiempo</b>	<b>Conclusión</b>
100 horas	Pasa

Fuente: elaboración propia.





## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos tienen como objetivo principal evaluar el comportamiento del ingrediente activo y decoloración de un colorante de triarilmetano contenidos en un detergente líquido y almacenado en un envase transparente de PET con 0,5 % de *benzotriazole UV absorber* (Tinuvín®).

Para poder determinar la capacidad de conservación de ingrediente activo y colorante del detergente líquido se realizó una prueba de estabilidad con duración de 6 semanas, en este período de tiempo se logra establecer el comportamiento de las propiedades físicas y químicas del detergente líquido.

La prueba de estabilidad incluyo el análisis de la variación de las propiedades físicas y químicas del detergente líquido, almacenando muestras de detergente líquido en envases transparentes de PET variando el porcentaje de protector UV del mismo (0,0 % y 0,5 %).

Parte principal del estudio consta en desarrollar los modelos matemáticos de las diferentes propiedades del detergente líquido (densidad, viscosidad, pH, ingrediente activo y absorbancia), esto con el fin encontrar una relación de dependencia o independencia entre cada propiedad y el recipiente que almacena el detergente líquido.

### **5.1. Comportamiento de decoloración de un colorante de triarilmetano contenido en un detergente líquido y almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %)**

La decoloración de un colorante de triarilmetano a lo largo de un período de tiempo se determinó a través de un análisis de espectrofotometría, en éste se realizaron estudios en intervalos de 2 semanas para obtener la tendencia de la pérdida de color en el detergente líquido almacenado en dos diferentes envases transparentes elaborados de PET, donde la variación entre cada envase radica en el porcentaje de protector UV que se añadió al envase (0,0 % y 0,5 %).

La figura 8 muestra la tendencia que presenta la absorbancia de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET sin protector UV en cuatro diferentes condiciones (40 °C, medio ambiente, 4 °C y expuesto al sol), dicha tendencia es descendente en todas las condiciones representando la degradación del colorante en la muestras, esto es efecto de la traslucidez que adquieren las muestras después de un período de tiempo determinado, es decir, la intensidad de luz del espectrofotómetro pasa con mayor facilidad en una muestra que se encuentra almacenada por más de una semana que la muestra original, disminuyendo la cantidad de luz absorbida por el detergente líquido.

Según la figura 8 de las cuatro condiciones evaluadas la que presenta una mayor degradación del colorante es la condición en la que las muestras se encuentran expuestas al sol, resultado de los rayos ultravioleta que inciden directamente sobre el detergente líquido.

La tabla XI presenta los modelos matemáticos de la disminución de la absorbancia a través del tiempo utilizando un envase transparente sin protector UV, dichos modelos son decrecientes con forma de potencia, estos poseen un coeficiente de regresión cercano a uno, lo cual indica que la relación entre los datos tiene alta precisión y por ende las variables de absorbancia y tiempo son dependientes entre sí.

La figura 9 presenta los resultados de la absorbancia al almacenar el detergente líquido en envases transparentes elaborados de PET con 0,5 % de *benzotriazole UV absorber* (Tinuvin®), estos resultados presentan la misma tendencia de la figura 8, también los modelos matemáticos son con forma potencial con coeficiente de regresión cercano a uno.

Al observar las figuras 8 y 9 se nota que las tendencias son similares independientemente de tipo de empaque primario que almacene al detergente líquido, sin embargo, se observa una mayor conservación del color al utilizar envases de PET con 0,5 % de protector UV, esta diferencia tiene mayor relevancia al observar los resultados de muestras expuestas al sol.

## **5.2. Comparación del comportamiento de decoloración de un colorante de triarilmetano contenido en un detergente líquido y almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %)**

Las figuras 10, 11, 12 y 13 muestran la comparación de los resultados de absorbancia al almacenar el detergente líquido con envases con 0,5 % de protector UV y envases sin protector UV. De las cuatro condiciones evaluadas, es la que posee una temperatura de 40 °C y utilizando envases sin protector UV, la que conserva el color en mayor porcentaje igual al 19 % (figura 10), en comparación del envase que no posee protector UV. Lo contrario sucede para las condiciones de medio ambiente, 4 °C y expuestas al sol, en ellas existe mejor conservación del color cuando el detergente líquido se encuentra almacenado en envases con 0,5 % de protector UV.

Una de las condiciones que dió origen al presente estudio es la condición expuesta al sol, debido a que el fin de esta condición es que el detergente líquido se encuentre expuesto a condiciones reales del mercado consumidor. En la figura 13 se muestra los resultados de esta condición, donde se logra observar que los datos de absorbancia entre las muestras almacenadas con protector UV y sin protector presentan una diferencia del 34 % para la semana 6, donde el valor de absorbancia más alto le corresponde a los envases con protector UV, esto es resultado de la barrera de protección que proporciona el *benzotriazole UV absorber* (Tinuvin ®).

La función principal del protector UV es *absorber* los rayos ultravioleta, evitando que estos choquen de forma directa con el detergente líquido, dando como resultado la generación de una barrera contra los rayos ultravioleta, por ello es mayor la conservación de color de un detergente líquido almacenado en envases con protector UV que se encuentran expuestos al sol.

En la figura 11 se comparan los resultados de absorbancia para la condición de medio ambiente, temperatura variable de 20 °C a 25 °C. Bajo esta condición se obtiene una conservación de absorbancia de un 22 % al utilizar envases de PET con 0,5 % de protector UV, comparando dos datos de la semana 6, esto da la pauta a decir que el protector UV también ejerce protección a la degradación de color, al estar a condiciones normales (expuestas en anaqueles o góndolas de supermercados).

Para el caso de las muestras que se encuentran a 4 °C (figura 12) la diferencia entre los datos de absorbancia es menor al 10 %, es decir, bajo estas condiciones el uso de protector UV es insignificante para la conservación de color, lo cual se debe a que las muestras de detergente líquido se encuentran aisladas de factores externos ambientales que contribuyen a la degradación de sus propiedades.

En general, al comparar los datos iniciales y finales del estudio, se observa que el mayor porcentaje de pérdida de absorbancia en el detergente líquido se obtuvo en muestras se encontraban expuestas al sol en envases sin protector UV con una variación del 95 %, asimismo, la menor disminución de absorbancia se obtuvo en condiciones de medio ambiente con muestras almacenadas en envases con protector UV siendo del 89 % (ver anexo, tabla 3).

### **5.3. Evaluación de la estabilidad del principio activo de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %)**

El principio activo de un detergente líquido se determinó a través de análisis químicos internos de laboratorio. La estabilidad que la materia activa de un detergente líquido posee, en un determinado período de tiempo, se estableció monitoreando su comportamiento en intervalos de 2 semanas, donde la variación fue el envase en el que se almacenó el detergente (con y sin protector UV).

La figura 14 muestra la tendencia descendente del porcentaje de materia activa en un detergente líquido almacenado en envases transparentes de PET que carecían de protector UV. Se observa que la mayor disminución de activo en el detergente se da bajo condiciones expuestas al sol y la menor degradación de activo se dió a una temperatura de 4 °C, estos fenómenos se deben a que en la primera condición las muestras se encuentran expuestas en anaqueles donde están afectadas por fenómenos que aceleran la degradación sus propiedades tales como los rayos ultravioleta y la segunda aísla las muestras de estos factores externos, así como, se disminuyen los procesos de degradación natural del material al llevarlos a una temperatura cercana al punto de congelación del agua.

En la tabla XIII se resumen las funciones matemáticas que modelan la degradación de materia activa en el detergente líquido, todos los modelos obtenidos son polinomios de grado 2 con coeficientes de regresión cercanos a 1, es decir, la materia activa en variable dependiente del tiempo sin importar la condición a la que se encuentre expuesta el detergente líquido.

En la figura 15 se observa un comportamiento descendente entre materia activa en función del tiempo para el detergente líquido almacenado en envases transparentes de PET con 0,5 % de protector UV, es notorio que la mayor degradación también ocurre en las muestras expuestas al sol y la mayor conservación de activo se presenta en la muestras acondicionadas a 4 °C, esta tendencia ocurre por las mismas razones expuestas en párrafos anteriores.

La tabla XIV resume los modelos matemáticos para disminución de la materia activa, en función del tiempo para muestras de detergente líquido almacenadas en envases PET con 0,5 % de protector UV, dichos modelos son polinomios de grados 2 con coeficientes de regresión cercanos a 1, con excepción del modelo de la condición de 40 °C pues éste posee un coeficiente de 0,86.

Al observar las figuras 14 y 15 se nota que la disminución de materia activa en un detergente líquido es similar bajo las cuatro condiciones evaluadas al utilizar dos empaques diferentes. Es importante resaltar que los valores de activo en condición de medio ambiente y a una temperatura de 40 °C son cercanos entre ellos, es decir, que el incremento de la temperatura no acelera significativamente la degradación de activo en los detergentes líquidos. Se observa lo contrario en las muestras expuestas al sol, con ello se establece que la incidencia directa de los rayos ultravioleta sobre las muestras de detergente líquido es un factor determinante en la degradación de la materia activa.



#### **5.4. Comparación de la estabilidad del principio activo de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %)**

Las figuras 16, 17, 18 y 19 muestran la comparación de los resultados obtenidos para la disminución de materia activa a través del tiempo en cuatro condiciones diferentes, utilizando envases con protector UV y sin protector UV.

Se observa que para las condiciones de medio ambiente, 40 °C y expuestas al sol son los envases que poseen protector UV los que muestran menor disminución de activo (figuras 16, 17 y 19), para el caso de las muestras que están a una temperatura de 4 °C la materia activa tiene valores similares, es decir, que bajo esta condición la degradación es independiente del empaque que almacene el detergente, pues se obtiene una diferencia del 0,30 % entre los dos datos de materia activa a las 6 semanas de transcurrida la prueba de estabilidad.

Para las muestras que se encontraban en las condiciones de 40 °C, medio ambiente y expuestas al sol, se obtuvo que el detergente líquido almacenado en envases con protector UV conservan el ingrediente activo en un porcentaje mayor que las muestras almacenadas en envases sin protector UV, dicho porcentaje es de 0,82 %, 0,80 % y 2,10 % respectivamente, comparación basada en los valores finales de ingrediente activo para cada condición. Para las primeras dos condiciones la conservación de activo es similar y por ende la materia activa es variable independiente de la temperatura a la que se encuentre expuesta la muestra.

Para las muestras expuestas al sol se obtuvo mayor diferencia entre los valores finales de materia activa en envases sin protector UV, en 2,10 % mayor que las muestras almacenadas en envases con protector UV.

El comportamiento decreciente y menor de la materia activa de las muestras expuestas al sol y almacenadas en envases con UV, es resultado de la barrera que genera el *benzotriazole UV absorber* que estos envases poseen, con ello se determina que la degradación de activo es variable dependiente de los rayos ultravioleta que inciden sobre las muestras, es decir, que si la incidencia de rayos ultravioleta es directa a la muestra de detergente líquido su degradación es mayor.

Es importante mencionar que al comparar los datos iniciales y finales de ingrediente activo para todas las muestras analizadas (con UV o sin UV) se determinó que las muestras de detergente líquido almacenadas en envases con protector UV presentan un menor porcentaje de degradación en las cuatro condiciones evaluadas. La mayor pérdida de activo se obtuvo en muestras almacenadas en envases sin protector UV y expuestas al sol siendo el porcentaje de degradación del 4,5 %. Para el resto de muestras los valores de porcentajes de degradación entre el dato inicial y final son menores al 2,5 %, con ello se corrobora que los rayos ultravioleta ejercen un alto impacto en la conservación de las propiedades de los detergentes líquidos (ver anexo, tabla 7).

### **5.5. Comportamiento del pH de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %)**

Al observar las figuras 20 y 21, se determina que el comportamiento del pH en detergentes líquidos es ascendente en un período de tiempo de 6 semanas, para las 4 condiciones evaluadas, también se nota que la tendencia es independiente de envase que almacena la muestra.

La tabla XV muestra los modelos matemáticos de la relación que existe entre el pH y tiempo para la figura 20, estos modelos son polinomios de grado 2 y poseen un coeficiente de regresión cercano a uno para las condiciones de 40 °C, 4 °C y expuestas al sol, este valor indica que la variable de pH es dependiente del tiempo siendo la relación directamente proporcional.

Para el caso de las muestras bajo condiciones ambientales normales se obtuvo 0,89 para el coeficiente de regresión, este valor y la figura 18 reflejan que los cambios de pH son mayores en detergentes líquidos que se encuentran almacenados en envases de PET sin protector UV para las primeras 2 semanas de la prueba de estabilidad.

La tabla XVI resume las funciones polinomiales de grado 2 que modelan el comportamiento de pH en función del tiempo para el detergente líquido almacenados en envases con 0,5 % de protector UV, estas funciones poseen coeficiente de regresión cercano a uno y por ende todas tienen una relación directamente proporcional, es decir, que los cambios de pH son graduales e insignificantes al compararlos entre las cuatro condiciones evaluadas.

Es importante mencionar que al comparar los datos de pH final entre las muestras almacenadas en envases con protector UV y sin protector UV, las diferencias son menores al 0,5 %, indicando que esta propiedad de los detergentes líquidos es independiente del recipiente que lo almacene, para las condiciones de 40 °C, 4 °C y expuestas al sol. Para las muestras que encontraban bajo condiciones ambientales normales la diferencia entre los datos obtenidos fue del 1,5 %.

El incremento de pH en las muestras analizadas es resultado de la degradación del ingrediente activo que posee el detergente líquido, es decir, que la disminución de la concentración del ácido sulfónico en los detergentes líquidos provoca que estas soluciones aumenten su alcalinidad y por ende el aumento en pH, esto para todas las condiciones evaluadas en la prueba de estabilidad.

Según los valores de pH en ambas figuras, a las 6 semanas todos los datos de pH de las muestras analizadas se encuentran por debajo de 8, contribuyendo a que la estabilidad del producto sea constante, es decir, que los conservantes del detergente líquido no son alterados y por ende no hay riesgo de contaminación ni desestabilización de la fórmula del detergente.

Realizando el análisis de variación entre dato inicial y final de pH entre las muestras analizadas, en todos los casos los porcentajes de incremento de pH se encuentran en un rango del 7 % al 10 %, estos valores son muy cercanos entre si y por ende no hay dependencia del aumento de pH con el envase que contenta el detergente líquido (ver anexo, tabla 11).

## **5.6. Comportamiento de la viscosidad de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %)**

La viscosidad es en los detergentes líquidos es una propiedad que genera sensación de mayor calidad para el consumidor, ésta se obtiene al añadir al detergente un porcentaje de cloruro de sodio disuelto en agua.

La figura 22 presenta el comportamiento de la viscosidad de un detergente líquido a través del tiempo al estar almacenado en envases de PET sin UV, evaluadas en cuatro condiciones diferentes. El comportamiento de esta variable es incrementar su valor en un intervalo de tiempo de seis semanas, dicho comportamiento es similar en todas las condiciones.

La tabla XVII muestra las funciones de viscosidad en función del tiempo para las cuatro condiciones evaluadas siendo polinomios de grado 2, sin embargo, las condiciones de 4 °C y expuestas al sol poseen un coeficiente de regresión de 0,54 y 0,47 respectivamente, indicando que bajo estas condiciones los datos de viscosidad no presentan una relación proporcional con el tiempo. Lo contrario ocurre en las condiciones de 40 °C y medio ambiente donde el coeficiente de regresión es cercano a 1.

En la figura 23 se muestran los resultados de la viscosidad al almacenar el detergente líquido en envases con UV y en la tabla XVIII se resumen los modelos matemáticos para el comportamiento de esta variable en las cuatro condiciones evaluadas. Se nota que los valores de coeficiente de correlación varían entre 0,59 y 0,68 para las condiciones de medio ambiente, 4 °C y expuestas al sol, es decir, que los incrementos de viscosidad no poseen relación directamente proporcional con el tiempo.

Al comparar los datos obtenidos en ambos empaques para las diferentes condiciones, el resultado es que la variación de valores de viscosidad obtenida entre detergente almacenado en envases con protector UV o envases sin protector UV, para un período de 6 semanas, es menor al 5 % en todas las condiciones, es decir, que esta propiedad es independiente del envase que contenga el detergente líquido.

Los cambios porcentuales de viscosidad entre el dato inicial de la muestra y el dato final, son similares entre condiciones al utilizar envases con protector UV o envases sin protector UV (ver anexo, tabla 15), según los resultados los mayores incrementos de viscosidad se obtienen en condiciones de 40 °C y 4 °C (25 % - 32 %) y los menores incrementos de viscosidad se observan en condiciones de medio ambiente y expuestas al sol (16 % - 20 %). En general el aumento de la viscosidad se encuentra ligado al incremento del pH de la solución, esto resultado de aumento de la alcalinidad del detergente líquido a través del tiempo.

Debido a los resultados obtenidos se establece que el incremento de viscosidad de un detergente líquido es independiente del envase en el que se encuentre almacenado, también, que estos incrementos no presentan tendencia proporcional o similar en los diferentes intervalos de tiempo debido a que los coeficiente de regresión de los modelos no son cercanos a 1.

### **5.7. Comportamiento de la densidad de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, variando el porcentaje de protector UV del envase (0,0 % y 0,5 %)**

Las figuras 24 y 25 representan el comportamiento de la densidad de un detergente líquido a través del tiempo, variando el empaque primario. Al observar detalladamente las diferentes líneas de tendencia se nota que la variación de resultados entre condición es mínima, es decir, la densidad es independiente de la condición a la que se exponga una de detergente líquido.

La tabla XIX y XX presentan los modelos matemáticos para el comportamiento de la densidad de un detergente líquido para muestras almacenadas en envases con protector UV y envases sin protector UV, estos son polinomios de grado 2 y poseen coeficientes de regresión que varían en un intervalo de 0,65 a 0,85. Es decir, no existe una relación directa entre esta propiedad y empaque que contiene el detergente líquido.

Los cambios de densidad entre dato final e inicial de las muestras evaluadas son menores al 5 % (ver anexo, tabla 19), para los dos envases evaluados, esto indica que la densidad es variable dependiente del envase que almacene el detergente líquido, así como, dependiente del medio al que se encuentre expuesta la muestra.

## **5.8. Resultados de las pruebas realizadas a dos envases de PET, variando el porcentaje de protector UV (0,0 % y 0,5 %)**

Para realizar la evaluación comparativa de la conservación de propiedades físicas y químicas de un detergente líquido almacenado en dos envases elaborados de PET, variando el porcentaje de adición de *benzotriazole UV absorber* en el envase, se realizaron pruebas preliminares para determinar si estos envases cumplían con los requerimientos mínimos de resistencia y dimensionales.

La tabla XXI proporciona un resumen de las dimensionales medidas a las diferentes muestras de envases PET con y sin protector UV, se tomó una muestra representativa y aleatoria en función de lo establecido en la Military Standard. Los resultados muestran que el peso, diámetro interno de cuello y altura total de envase, son similares para los dos envases evaluados y que estos se encuentran dentro de los rangos tolerables que maneja la empresa interesada del estudio. Los datos de desviación estándar de cada medición indican que todos los valores medidos se encuentran dentro de un nivel de variación aceptable dentro de la curva normal.

La tabla XXII y XXIII presentan los resultados de la compresión a diferentes alturas para los dos envases evaluados, se observa que la mayor resistencia a compresión se obtiene a los 4 mm de altura, 12,80 Kg-f para envases sin UV y 13,46 Kg-f para envases con UV, entre estos valores existe una variación del 5,1 %. Al observar los valores de desviación estándar se nota que para envases sin UV y a una altura de 4 mm los datos se encuentran más alejados del promedio (desviación estándar de 1,24) y para el resto de mediciones la precisión de los datos es mayor al tener un dato de desviación menor.



Debido a que los datos de resistencia poseen solo una variación del 5 % se puede concluir que el envase posee la misma resistencia al añadirle protector UV u omitirlo del proceso de producción. La variación obtenida se debe a que en el proceso de soplado de los envases de PET la distribución de material no es uniforme en toda su área superficial, otro factor que influye sobre la estructura de material es la temperatura que manejan los productores de estos envases en las diferentes etapas del proceso de fabricación, no se profundizará el tema por no ser de interés para la investigación

La tabla XXIV y XXV presenta los resultados de las pruebas que se realizaron a envases de PET con UV y sin UV, prueba de caída y stress cracking respectivamente. La prueba de caída se realizó con envases llenos con agua en donde se busca obtener la resistencia al impacto de los envases a cinco diferentes alturas, se observa que los resultados son positivos para envases con UV y sin UV, es decir, que estos materiales no llegan a su punto de ruptura que es cuando la fatiga por impacto vence al material, provocando que se quiebre, originando riesgo de fugas de material o detergente líquido en pruebas extremas.

La prueba de Stress cracking tiene como objetivo principal el detectar problemas fugas en los envases en áreas donde se encuentren uniones o cortes, en esta prueba el material se encuentra expuesta a una temperatura mayor de 50 °C acelerando los procesos de degradación del material, es decir, que a estas condiciones se corrobora que en el envase no existan micro fugas que no son detectables a simple vista.

Realizando la recopilación de las pruebas hechas a los diferentes materiales de empaque se determinó que no hay variación de las propiedades

de un envase al añadir protector UV al proceso de producción, es decir, que las dimensiones y resistencia del material son independientes de este aditivo.

Como resultados generales de todos los análisis realizados se logra observar que existen propiedades independientes de las características propias del recipiente que almacene el detergente líquido, tales como densidad, pH y viscosidad, caso contrario para el color del detergente y principio activo del mismo.

Todos los resultados y tendencias obtenidas se encuentran corroborados al realizar el mismo estudio en otros dos colorantes bajo las mismas condiciones a las que se encontraban expuestas las muestras reportadas en el presente trabajo.



## CONCLUSIONES

1. La decoloración del colorante de triarilmetano de un detergente líquido y almacenado en envases transparentes elaborados de PET, los cuales tienen como aditivo *benzotriazole UV absorber* (Tinuvín®), poseen un comportamiento descendente para todas las condiciones evaluadas: 40 °C, medio ambiente, 4 °C y expuestas al sol. El mismo comportamiento se observó en las muestras de detergente almacenadas en envases que carecen de protector UV (figura 8 y 9).
2. La estabilidad de la materia activa de un detergente líquido almacenado en envases transparentes elaborados de PET, los cuales tienen como aditivo *benzotriazole UV absorber* (Tinuvín®), poseen un comportamiento descendente para todas las condiciones evaluadas: 40 °C, medio ambiente, 4 °C y expuestas al sol. El mismo comportamiento se observó en las muestras de detergente almacenadas en envases que carecen de protector UV (figura 14 y 15).
3. Los polinomios del comportamiento de decoloración de un colorante de triarilmetano contenido en un detergente líquido, almacenado en envases de PET con protector UV y sin protector UV, son funciones potenciales con coeficientes de regresión cercanos a 1, es decir, que la decoloración es una variable dependiente del tiempo (tabla XI y XII).
4. La degradación del colorante de triarilmetano contenido en un detergente líquido es mayor en envases de PET que carecen de protector UV, siendo la mayor pérdida en la condición expuesta al sol con el 94,52 % de disminución del valor de absorbancia inicial y la menor pérdida de

color se observa en muestras de detergente almacenadas en envases de PET con protector UV bajo condiciones de medio ambiente, siendo el valor final 89,80 % menor que el dato inicial.

5. La diferencia de los valores de absorbancia para muestras de detergente líquido, almacenadas en envases de PET con UV y sin UV, es mayor bajo las condiciones de medios ambientes y expuestos al sol; con ello se determina que el incremento de temperatura no es factor influyente sobre la pérdida de color en el detergente (figura 10 – 13).
6. Los polinomios que modelan la degradación de la materia activa de un detergente líquido, almacenado en envases de PET con protector UV y sin protector UV, son polinomios de grados 2 con coeficientes de regresión cercanos a uno, indicando que la degradación de activo es una variable dependiente del tiempo (tabla XIII y XIV).
7. Al comparar los resultados de materia activa bajo las cuatro condiciones de estabilidad se observa que las muestras almacenadas en envases de PET con protector UV conservan el ingrediente activo en mayor porcentaje que las muestras almacenadas en envases sin protector UV, la mayor degradación de activo se obtuvo en la condición expuesta al sol con 4,52 % para envases sin UV (figura 16 – 19), con este valor se determina que el protector UV contribuye a la conservación de este porcentaje de materia activa.
8. En la figura 18 se observa que la degradación de ingrediente activo bajo una condición de 4 °C es independiente del envase contenedor del detergente, debido a que en esta condición los cambios de activo oscilan entre el 1 % para ambos envases utilizados (con y sin protector UV).

9. Según las figuras 20 y 21, el pH de un detergente líquido y almacenado en envases transparentes elaborados de PET, con o sin protector UV, poseen un comportamiento ascendente. Al comparar los resultados finales de pH en las diferentes muestras evaluadas, se obtiene que las diferencias oscilan en un rango de 0,22 % y 1,55 %, por ende, esta propiedad es independiente del empaque y condición a la que se encuentre almacenada la muestra.
10. Los modelos matemáticos que representan el incremento de pH en un detergente líquido bajo diferentes condiciones son funciones polinomiales de grado 2, debido a que los coeficientes de regresión no son cercanos a uno, se determina que los cambios de pH no son proporcionales en el período de tiempo evaluados, 6 semanas (tabla XV y XVI).
11. Según las figuras 22 y 23, la viscosidad de un detergente líquido almacenado en envases transparentes elaborados de PET, con o sin protector UV, poseen un comportamiento ascendente. Comparando los resultados finales de viscosidad en las diferentes muestras con diferentes empaques, se nota que las diferencias oscilan entre el 0,20 % y 4,17 %, por ende, esta propiedad es independiente del empaque que almacene el detergente e independiente de la condición a la que se encuentre expuesta la muestra.
12. Los modelos matemáticos que representan el incremento de viscosidad en un detergente líquido bajo diferentes condiciones, son funciones polinomiales de grado 2 con coeficientes de regresión que no son cercanos a uno, esto debido a que los cambios de viscosidad no son proporcionales en un período de tiempo (tabla XVII y XVIII).

13. Según las figuras 24 y 25, la densidad de un detergente líquido almacenado en envases transparentes elaborados de PET, con o sin protector UV, no posee una tendencia marcada para las condiciones evaluadas, es decir, es una variable independiente de la medio que lo rodee y del envase que almacene el detergente líquido.
14. La tabla XIX y XX presentan los modelos matemáticos para el comportamiento de la densidad de un detergente líquido, para muestras almacenadas en envases con y sin protector UV, estos son polinomios de grado 2 y con coeficientes de regresión que varían en un intervalo de 0,65 a 0,85. Por ello no existe una relación directa entre esta propiedad y el tiempo de almacenamiento.
15. Al realizar las pruebas físico mecánicas de un envase que contiene 0,5 % de *benzotriazole UV absorber* (Tinuvin ®) y otro que carece del protector, se determina que no existe variación significativa entre dimensiones, compresión, caída y Stress cracking para ambos detergentes.

## RECOMENDACIONES

1. Para obtener un mejor panorama de la tendencia de todas las propiedades físico químicas de un detergente líquido, es necesario que se extienda un estudio tomando en cuenta las mismas variables analizadas, pero incrementando el período de observación.
2. Para definir si el porcentaje de protector UV es el correcto y adecuado, se propone realizar una prueba de estabilidad en la que se varíe este porcentaje, considerando las implicaciones en costos sobre los materiales de empaque que esto conlleve.
3. Debido a que la variación de color no fue visible hasta las 6 semanas, se propone hacer una prueba de estabilidad variando el porcentaje de colorante, para relacionar su concentración con datos de absorbancia.
4. Al definir el pH, densidad y viscosidad como variables independientes del de la adición de protector UV a los envases que almacenan el detergente líquido, se propone hacer medición de estas variables en intervalos de tiempo mayores a cuatro semanas, extendiendo la prueba de estabilidad a 12 semanas.





## BIBLIOGRAFÍA

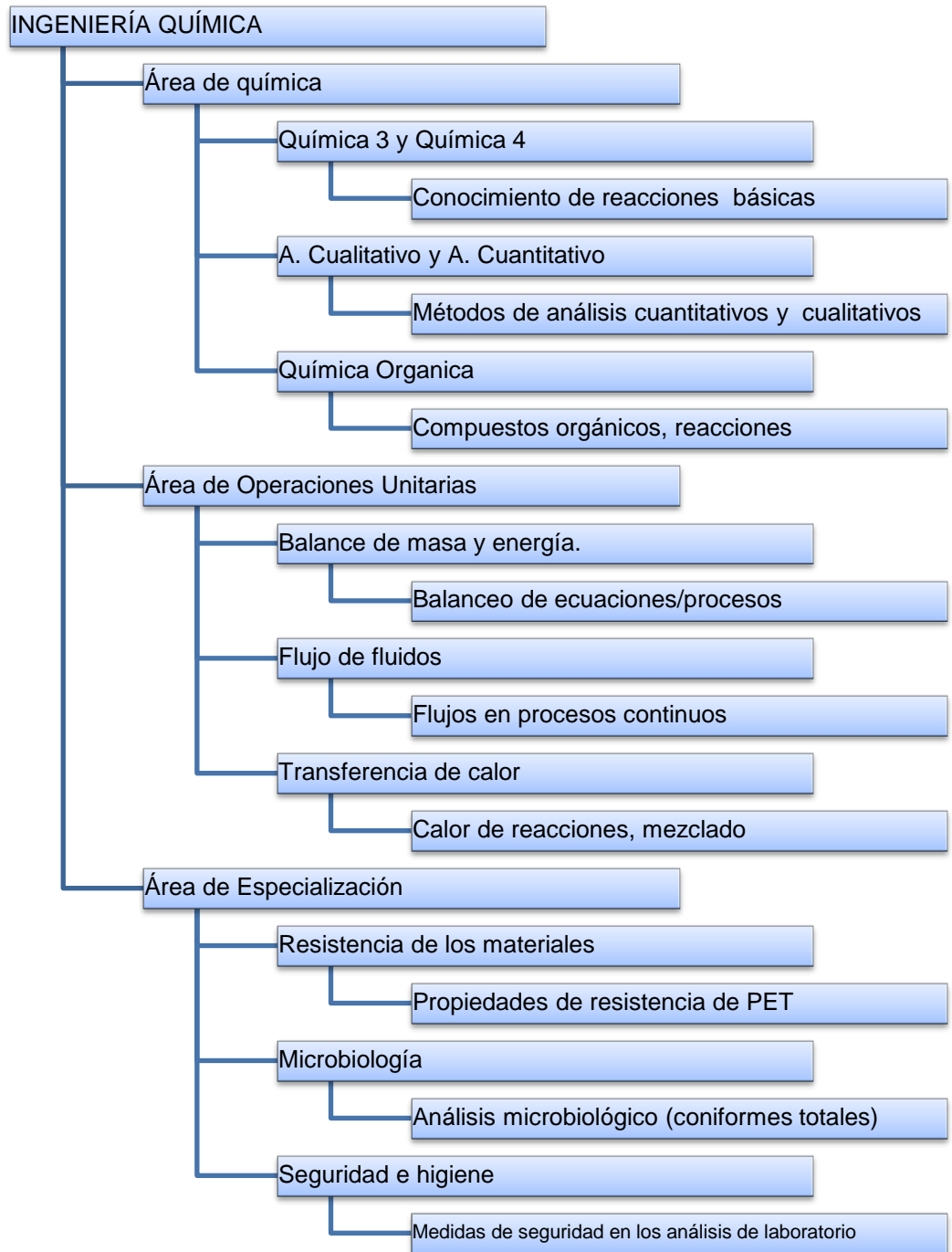
1. ABRIL DIAZ, Nieves, et al. *Espectrofotometría: espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas*. Córdoba. Campus Universitario Rabanales. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular. 2006. 8 p.
2. BRUNATTI, Carlos; MARTIN, Ana María. *Introducción a la espectroscopia de absorción molecular ultravioleta, visible e infrarrojo cercano*. [en línea] 2004. <<http://materias.fi.uba.ar/6305/download/Espectrofotometria.pdf>>. [Consulta: 8 de diciembre de 2013].
3. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. *Química: elaboración de detergente lavavajilla*. 2a ed. Buenos Aires, INTI, 2009. 28 p. ISBN: 978 – 950 – 532 – 144 – 5.
4. *Medida de la absorción de radiación o de la absorbancia*. [en línea] <[http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2001184/lecciones/Cap09/05\\_02\\_01.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2001184/lecciones/Cap09/05_02_01.htm)> [Consulta: 29 de enero de 2014]
5. RÉLOT, Emmanuelle. *Estudio de mezclas y copolímeros de PET/PEN*. Francia: Escuela Europea de Ingeniería de los Materiales, 2004. 72 p.

6. SALAGER, Jean-Louis. *Detergentes: componentes, fabricación, fórmulas*. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Laboratorio de Formulación, interfases reología y procesos, 1988. 22 p.

## APÉNDICE

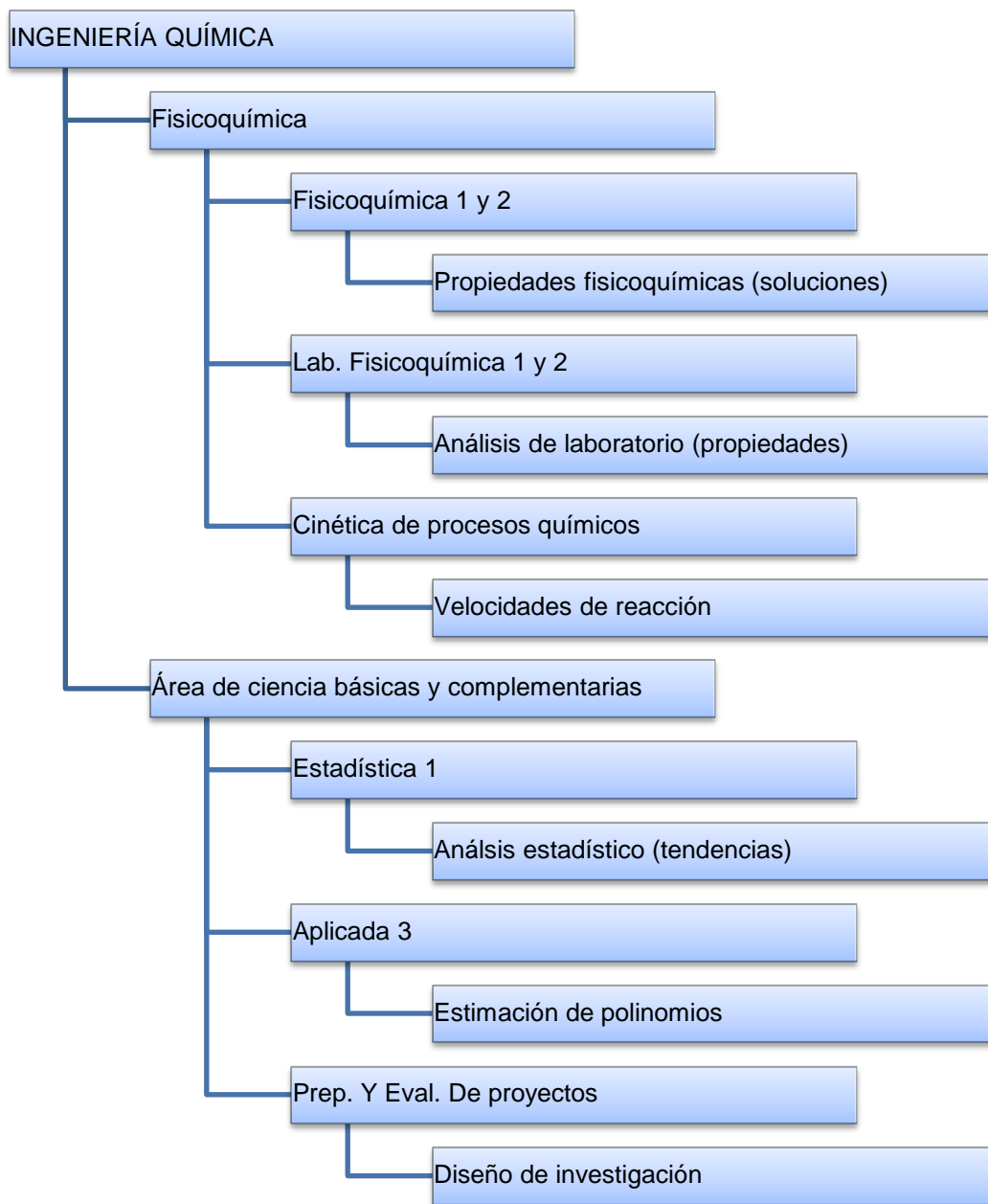


Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**



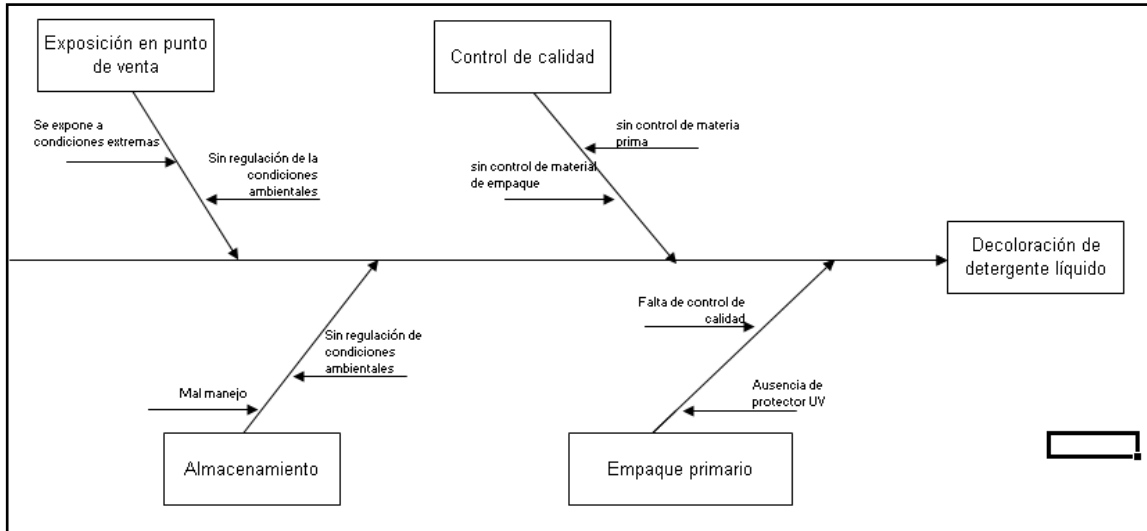
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Continuación tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 3. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia





## **ANEXO**



## Anexo 1. Muestra de cálculo

### 1. Cálculo de materia activa

Para determinar el porcentaje de materia activa en las muestras de detergente líquido se utilizó la siguiente ecuación

$$m = \frac{V_a * W}{A}$$

(Ecuación 1)

Donde:

- $m$  = Peso de la muestra en dilución [g]
- $W$  = Peso de la muestra analizada [g]
- $V_a$  = Volumen de la alícuota analizada [mL]
- $A$  = Volumen de aforo [mL]

Al tener el peso de la muestra en dilución se procedió a calcular el porcentaje de materia activa del detergente líquido:

$$\%Activo = \frac{V * N * F}{m}$$

(Ecuación 2)

Donde:

- $V$  = Volumen consumido de Hyamina [mL]
- $N$  = Normalidad de Hyamina [Equivalentes soluto / L]
- $F$  = Factor del peso molecular [g/mol]

## 2. Cálculo de pH

La medición de pH se realizó utilizando un potenciómetro **PH340**, la lectura fue directa con una muestra de 40 mL de detergente líquido acondicionada a 20 °C.

## 3. Cálculo de viscosidad

La viscosidad se midió utilizando un **viscosímetro Brookfield DV-II + PRO**, las muestras fueron acondicionadas a una temperatura de 20 °C y analizadas 24 horas después de retirarlas de cada condición evaluada, el valor de viscosidad se dio en dimensionales de cP.

## 4. Cálculo de densidad

La densidad se calculó con la siguiente ecuación

$$\rho = \frac{m}{V}$$

(Ecuación 3)

Donde:

- $\rho$  = Densidad [g/mL]
- $m$  = Peso de la muestra de detergente [g]
- $V$  = Volumen de muestra pesada [mL]

La densidad se midió utilizando un picnómetro de 25 mL y una balanza digital.

## **5. Cálculo de absorbancia**

La absorbancia de las muestras de detergente se determinó por medio de un espectrofotómetro, utilizando como blanco una muestra de alcohol etílico. Los análisis se realizaron con soluciones de detergente al 5 %.



## Anexo 2. Resultados

Tabla 1. **Resultados de absorbancia para un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET sin protector UV**

Condición	Absorbancia			
	Semana 0	Semana 2	Semana 4	Semana 6
40 °C	0,6660	0,1460	0,1040	0,0580
	0,6660	0,0800	0,1070	0,0670
MA	0,6660	0,1200	0,0660	0,0600
	0,6660	0,0700	0,0690	0,0500
4 °C	0,6660	0,1320	0,0780	0,0620
	0,6660	0,1370	0,0730	0,0570
AL SOL	0,6660	0,0850	0,0520	0,0370
	0,6660	0,0840	0,0500	0,0360

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. **Resultados de absorbancia para un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET con 0,5 % de protector UV**

Condición	Absorbancia			
	Semana 0	Semana 2	Semana 4	Semana 6
40 °C	0,6660	0,1300	0,1020	0,0460
	0,6660	0,0730	0,0820	0,0550
MA	0,6660	0,1300	0,1100	0,0720
	0,6660	0,1340	0,1090	0,0630
4 °C	0,6660	0,1000	0,0610	0,0670
	0,6660	0,1000	0,1040	0,0630
AL SOL	0,6660	0,0870	0,0480	0,0580
	0,6660	0,1000	0,0640	0,0400

Fuente: elaboración propia.



Tabla 3. **Porcentaje de disminución de absorbancia de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, con 0,5 % de protector UV y sin protector UV**

CONDICIÓN	% de variación de absorbancia
	Dato inicial – Dato final
40 °C - SIN UV	90,6156
40 °C - CON UV	92,4174
MA - SIN UV	91,7417
MA - CON UV	89,8649
4 °C - SIN UV	91,0661
4 °C - CON UV	90,2402
AL SOL - SIN UV	94,5195
AL SOL - CON UV	92,6426

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. **Porcentaje de variación de los valores de absorbancia para un detergente líquido almacenado en envases transparentes de PET, con 0,5 % de protector UV y sin protector UV**

CONDICIÓN	% de variación por semana		
	Semana 2	Semana 4	Semana 6
40 °C - SIN UV	10,1770	12,7962	19,2000
40 °C - CON UV			
MA - SIN UV	38,9474	62,2222	22,7273
MA - CON UV			
4 °C - SIN UV	25,6506	9,2715	9,2437
4 °C - CON UV			
AL SOL - SIN UV	10,6509	9,8039	34,2466
AL SOL - CON UV			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. **Resultados de materia activa para un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET sin protector UV**

<b>Condición</b>	<b>% Materia activa</b>			
	<b>Semana 0</b>	<b>Semana 2</b>	<b>Semana 4</b>	<b>Semana 6</b>
40 °C	22,2153	22,0134	21,6122	21,5516
MA	22,2153	21,9193	21,6884	21,5954
4 °C	22,2153	22,1806	22,1110	21,9893
AL SOL	22,2153	21,9211	21,3456	21,2102

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. **Resultados de materia activa para un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET con 0,5 % de protector UV**

<b>Condición</b>	<b>% Materia activa</b>			
	<b>Semana 0</b>	<b>Semana 2</b>	<b>Semana 4</b>	<b>Semana 6</b>
40 °C	22,2153	22,1836	21,7715	21,7313
MA	22,2153	22,1095	21,9069	21,7717
4 °C	22,2153	22,1968	22,1258	21,9244
AL SOL	22,2153	21,8422	21,7006	21,6642

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. **Porcentaje de disminución de materia activa de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, con 0,5 % de protector UV y sin protector UV**

CONDICIÓN	% disminución de materia activa
	Dato inicial – Dato final
40 °C - SIN UV	2,9877
40 °C - CON UV	2,1787
MA - SIN UV	2,7903
MA - CON UV	1,9969
4 °C - SIN UV	1,0175
4 °C - CON UV	1,3094
AL SOL - SIN UV	4,5243
AL SOL - CON UV	2,4807

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. **Porcentaje de variación de los valores de materia activa para un detergente líquido almacenado en envases transparentes de PET, con 0,5 % de protector UV y sin protector UV**

CONDICIÓN	% de variación por semana		
	Semana 2	Semana 4	Semana 6
40 °C - SIN UV	0,7730	0,7371	0,8339
40 °C - CON UV			
MA - SIN UV	0,8677	1,0075	0,8161
MA - CON UV			
4 °C - SIN UV	0,0727	0,0670	0,2949
4 °C - CON UV			
AL SOL - SIN UV	0,3596	1,6633	2,1404
AL SOL - CON UV			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. **Resultados de pH para un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET sin protector UV**

Condición	pH			
	Semana 0	Semana 2	Semana 4	Semana 6
40 °C	6,8100	7,0370	7,3300	7,3330
	6,8100	7,0040	7,3040	7,3880
MA	6,8100	6,8680	7,1470	7,2100
	6,8100	6,9580	7,5280	7,4870
4 °C	6,8100	7,0930	7,1700	7,2900
	6,8100	6,8940	7,0860	7,4530
AL SOL	6,8100	7,4900	7,3500	7,3850
	6,8100	6,9620	7,1500	7,2450

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. **Resultados de pH para un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET con 0,5 % de protector UV**

Condición	pH			
	Semana 0	Semana 2	Semana 4	Semana 6
40 °C	6,8100	6,9340	7,2180	7,4760
	6,8100	7,0960	7,1830	7,3330
MA	6,8100	7,1400	7,1740	7,5600
	6,8100	7,1400	7,1780	7,3660
4 °C	6,8100	7,0480	7,1240	7,4100
	6,8100	7,0100	7,1900	7,3800
AL SOL	6,8100	7,0430	7,1970	7,2970
	6,8100	7,1730	7,1200	7,3000

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11. **Porcentaje de variación de pH de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, con 0,5 % de protector UV y sin protector UV**

CONDICIÓN	% de variación de pH
	Dato inicial – Dato final
40 °C - SIN UV	8,0837
40 °C - CON UV	8,7298
MA - SIN UV	7,9075
MA - CON UV	9,5888
4 °C - SIN UV	8,2452
4 °C - CON UV	8,5903
AL SOL - SIN UV	7,4156
AL SOL - CON UV	7,1733

Fuente: elaboración propia.

Tabla 12. **Porcentaje de variación de los valores de pH para un detergente líquido almacenado en envases transparentes de PET, con 0,5 % de protector UV y sin protector UV**

CONDICIÓN	% de variación por semana		
	Semana 2	Semana 4	Semana 6
40 °C - SIN UV	0,0783	1,5922	0,5978
40 °C - CON UV			
MA - SIN UV	3,2837	2,2010	1,5581
MA - CON UV			
4 °C - SIN UV	0,5076	0,4068	0,3188
4 °C - CON UV			
AL SOL - SIN UV	1,6330	1,2621	0,2256
AL SOL - CON UV			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 13. **Resultados de viscosidad para un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET sin protector UV**

Condición	Viscosidad (cP)			
	Semana 0	Semana 2	Semana 4	Semana 6
40 °C	2 480	2 813	3 087	3 277
	2 480	2 767	3 080	3 220
MA	2 480	3 127	3 220	2 810
	2 480	3 233	3 220	2 983
4 °C	2 480	3 287	2 927	3 100
	2 480	3 500	2 950	3 140
AL SOL	2 480	3 723	2 870	2 840
	2 480	2 913	2 750	2 950

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14. **Resultados de viscosidad para un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET con 0,5 % de protector UV**

Condición	Viscosidad (cP)			
	Semana 0	Semana 2	Semana 4	Semana 6
40 °C	2 480	2 810	3 063	3 337
	2 480	2 713	2 913	3 207
MA	2 480	3 210	2 827	2 860
	2 480	3 140	2 970	2 947
4 °C	2 480	3 200	2 850	3 280
	2 480	3 200	2 887	3 220
AL SOL	2 480	3 093	2 713	2 920
	2 480	3 133	2 970	3 020

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15. **Porcentaje de variación de viscosidad de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, con 0,5 % de protector UV y sin protector UV**

CONDICIÓN	% de variación de viscosidad
	Dato inicial – Dato final
40 °C - SIN UV	30,9879
40 °C - CON UV	31,9355
MA - SIN UV	16,7944
MA - CON UV	17,0766
4 °C - SIN UV	25,8065
4 °C - CON UV	31,0484
AL SOL - SIN UV	16,7339
AL SOL - CON UV	19,7581

Fuente: elaboración propia.

Tabla 16. **Porcentaje de variación de los valores de viscosidad para un detergente líquido almacenado en envases transparentes de PET, con 0,5 % de protector UV y sin protector UV**

CONDICIÓN	% de variación por semana		
	Semana 2	Semana 4	Semana 6
40 °C - SIN UV	1,0215	3,0971	0,7234
40 °C - CON UV			
MA - SIN UV	0,1572	9,9845	0,2417
MA - CON UV			
4 °C - SIN UV	5,7021	2,3822	4,1667
4 °C - CON UV			
AL SOL - SIN UV	6,1784	1,1210	2,5907
AL SOL - CON UV			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 17. **Resultados de densidad para un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET sin protector UV**

Condición	Densidad (g/mL)			
	Semana 0	Semana 2	Semana 4	Semana 6
40 °C	1,0432	0,9790	1,0100	1,0344
	1,0432	1,0443	1,0321	0,9620
MA	1,0432	1,0500	1,0171	0,9520
	1,0432	0,9655	1,0112	1,0379
4 °C	1,0432	1,0280	1,0204	1,0322
	1,0432	0,9923	1,0209	1,0100
AL SOL	1,0432	1,0382	1,0133	1,0100
	1,0432	1,0460	1,0133	1,0167

Fuente: elaboración propia.

Tabla 18. **Resultados de densidad para un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET con 0,5 % de protector UV**

Condición	Densidad (g/mL)			
	Semana 0	Semana 2	Semana 4	Semana 6
40 °C	1,0432	1,0375	1,0080	1,0108
	1,0432	1,0405	1,0131	1,0240
MA	1,0432	1,0100	1,0083	1,0400
	1,0432	1,0100	1,0227	0,9920
4 °C	1,0432	1,0100	1,0204	1,0120
	1,0432	1,0100	1,0254	1,0040
AL SOL	1,0432	0,9770	1,0226	1,0161
	1,0432	1,0680	1,0329	1,0320

Fuente: elaboración propia.



Tabla 19. **Porcentaje de variación de densidad de un detergente líquido almacenado en un envase transparente de PET, con 0,5 % de protector UV y sin protector UV**

<b>CONDICIÓN</b>	<b>% de variación de densidad</b>
	Dato inicial – Dato final
40 °C - SIN UV	4,3137
40 °C - CON UV	2,4732
MA - SIN UV	4,6252
MA - CON UV	2,6074
4 °C - SIN UV	2,1185
4 °C - CON UV	3,3742
AL SOL - SIN UV	2,8608
AL SOL - CON UV	1,8336

Fuente: elaboración propia.

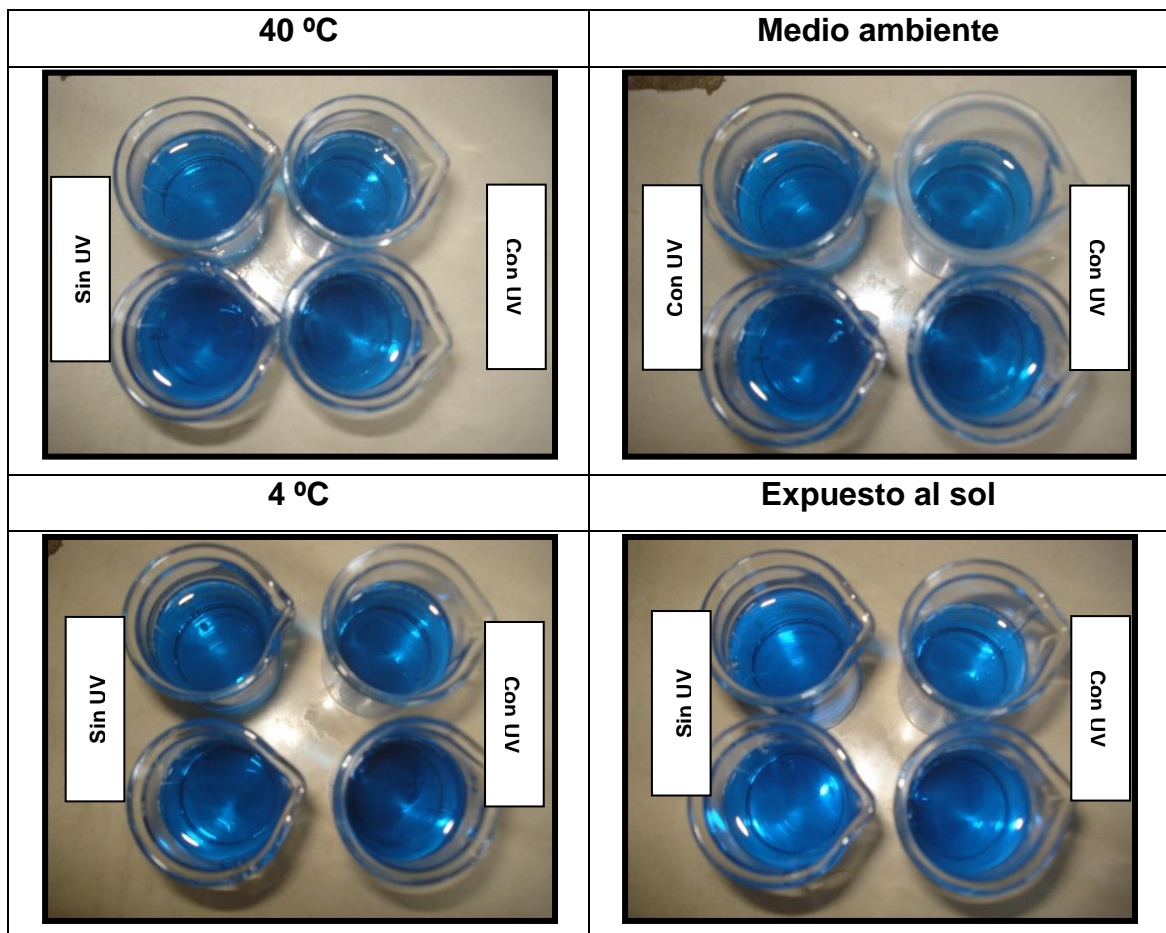
Tabla 20. **Porcentaje de variación de los valores de densidad para un detergente líquido almacenado en envases transparentes de PET, con 0,5 % de protector UV y sin protector UV**

<b>CONDICIÓN</b>	<b>% de variación por semana</b>		
	Semana 2	Semana 4	Semana 6
40 °C - SIN UV	2,7035	1,0287	1,9235
40 °C - CON UV			
MA - SIN UV	0,2233	0,1353	2,1157
MA - CON UV			
4 °C - SIN UV	0,0148	0,2218	1,2829
4 °C - CON UV			
AL SOL - SIN UV	1,8808	1,4260	1,0575
AL SOL - CON UV			

Fuente: elaboración propia.

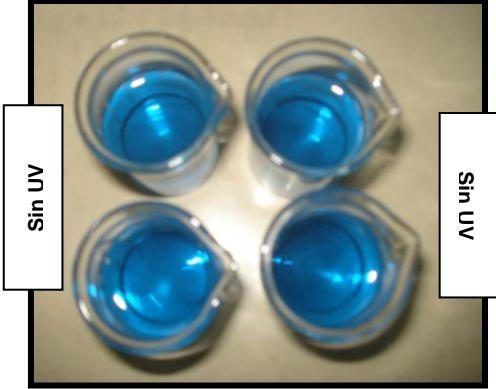
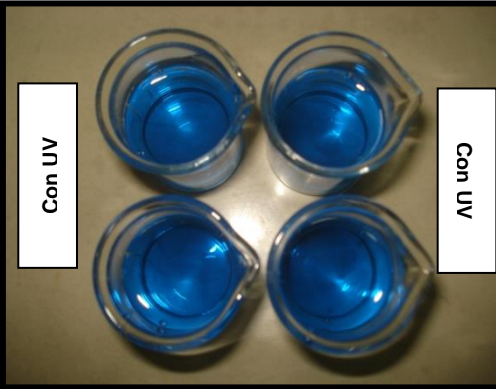
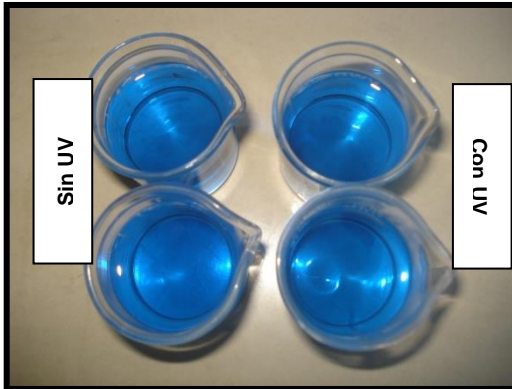
### Anexo 3. Fotografías

Figura 1. Muestras de detergente líquido a las 2 semanas de iniciada la prueba de estabilidad



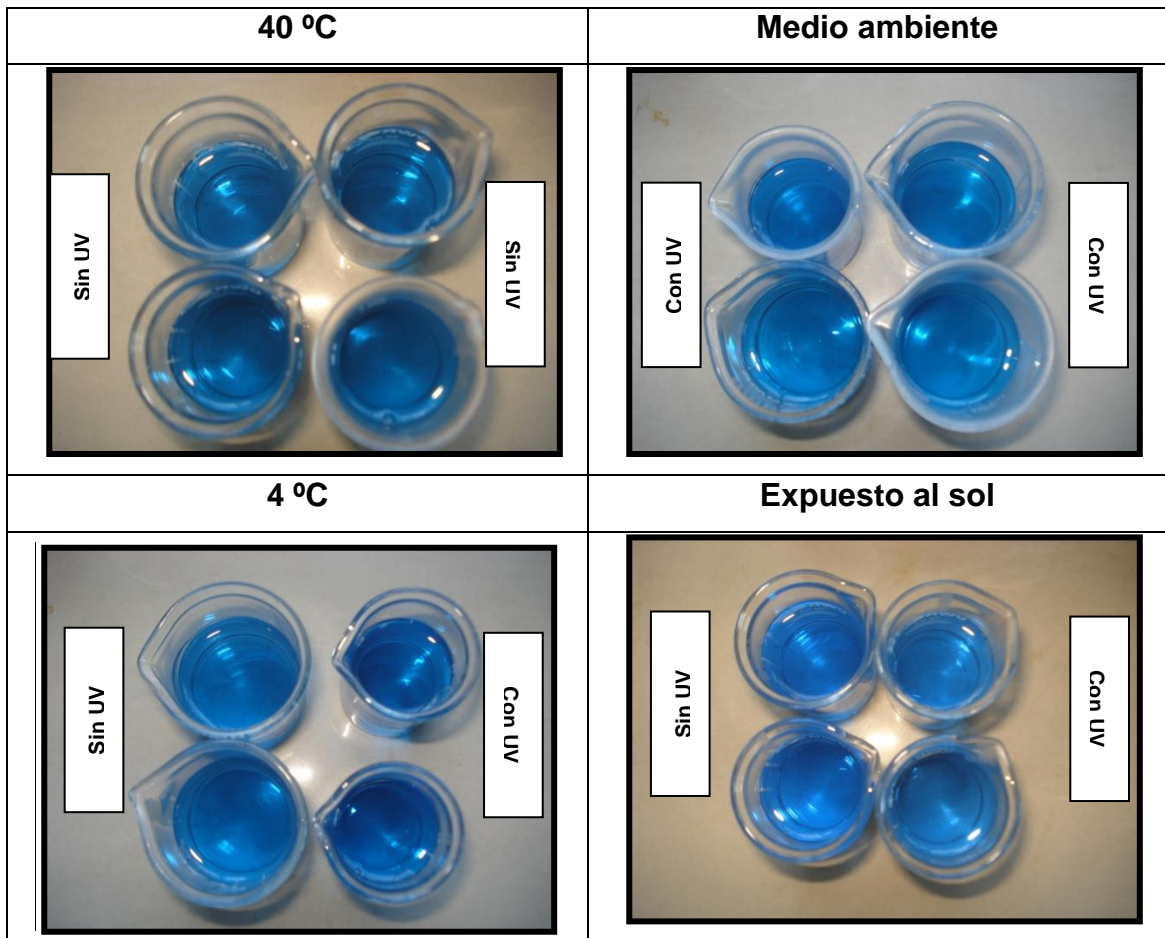
Fuente: laboratorio de investigación y desarrollo.

Figura 2. **Muestras de detergente líquido a las 4 semanas de iniciada la prueba de estabilidad**

40 °C	Medio ambiente
	Sin información
4 °C	Expuesto al sol
	

Fuente: laboratorio de investigación y desarrollo.

Figura 3. **Muestras de detergente líquido a las 6 semanas de iniciada la prueba de estabilidad**



Fuente: laboratorio de investigación y desarrollo.

