



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“ FORMULACIONES COSMÉTICAS SÓLIDAS:  
UNA ALTERNATIVA PARA LA REDUCCIÓN DE LA  
CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICO EN MÉXICO ”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA**

**JULIO CÉSAR GUADARRAMA BLEDT**

**DIRECTOR DE TESIS**

**M. en A.I. ALEJANDRO ZANELLI TREJO**



**Ciudad Universitaria, CDMX, 2024**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO:**

<b>PRESIDENTE:</b>	Profesor: Alejandro Zanelli Trejo
<b>VOCAL:</b>	Profesor: Ibet Navarro Reyes
<b>SECRETARIO:</b>	Profesor: Oscar De Anda Aguilar
<b>1er. SUPLENTE:</b>	Profesor: Mario Alberto Martínez Vitela
<b>2° SUPLENTE:</b>	Profesor: David Frago Osorio

## **SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Química, Ciudad Universitaria,  
Universidad Nacional Autónoma de México

## **ASESOR DEL TEMA:**

M. en A.I. Alejandro Zanelli Trejo

## **SUSTENTANTE:**

Julio César Guadarrama Bledt

# Índice

<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>7</b>
<b>GLOSARIO DE VARIABLES, PARÁMETROS Y SÍMBOLOS.....</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
Objetivos.....	13
Hipótesis.....	13
Metodología.....	14
Alcance.....	15
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
2.1. Sistemas coloidales.....	17
La interfase.....	17
Surfactantes.....	20
Emulsiones.....	27
2.2. Definición y clasificación de cosméticos.....	36
Cremas y leches de tocador para manos y cuerpo.....	38
Shampoos, enjuagues y acondicionadores.....	46
2.3. Características del PET y PEAD como envases.....	53
Tereftalato de polietileno (PET).....	54
Polietileno de Alta Densidad (PEAD).....	55
Conservación de cosméticos en envases de plástico.....	57
2.4. Antecedentes.....	58
Análisis del consumo nacional.....	58
Productos representativos en el mercado.....	63
Tipo de plástico empleado como envase primario.....	65
2.5. Análisis de la problemática ambiental.....	67
Residuos Sólidos Urbanos: Definición y características.....	68
Manejo y Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos.....	70
Reciclaje de PET y PEAD.....	77
Contaminación del medio ambiente por PET y PEAD.....	80
<b>3. DESARROLLO.....</b>	<b>89</b>
3.1. Formulación de una crema hidratante sólida.....	91
3.2. Formulación de un shampoo sólido.....	98
3.3. Productos sólidos líderes en el mercado.....	105
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>109</b>
4.1. Resultados para crema hidratante sólida.....	110
4.2. Resultados para shampoo sólido.....	114
4.3. Discusión.....	118
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>128</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>132</b>
<b>7. APÉNDICES.....</b>	<b>141</b>

# Índice de Figuras

2.1	Sistema bifásico y capa interfacial entre dos fases.....	17
2.2.	Fuerzas atractivas que actúan sobre las moléculas de un líquido.....	18
2.3.	Dependencia de la tensión superficial con la temperatura.....	19
2.4.	Estructura de una molécula surfactante.....	20
2.5.	Tipos de surfactantes.....	20
2.6.	Tipos de surfactantes aniónicos.....	21
2.7.	Tipos de surfactantes catiónicos.....	22
2.8.	Tipos de surfactantes no iónicos.....	23
2.9.	Tipos de surfactantes anfóteros.....	24
2.10.	Orientación de surfactantes y formación de micelas en una solución.....	25
2.11.	Comportamiento de un tensoactivo en solución.....	26
2.12.	Comparación de tamaño entre diferentes sustancias coloidales.....	27
2.13.	Diagrama esquemático de una gota de emulsión W/O y ángulos de contacto.....	33
2.14.	Estructura de la piel.....	38
2.15.	Capas de la epidermis.....	39
2.16.	Cortes histológicos de la dermis.....	40
2.17.	Estructura del pelo.....	46
2.18.	Diagrama y estructura de la cutícula y corteza de una hebra de cabello.....	47
2.19.	El principio del shampoo es idéntico al del jabón.....	48
2.20.	Tallo del cabello bajo microscopio electrónico de barrido.....	52
2.21.	Unidad repetitiva del tereftalato de polietileno.....	54
2.22.	Esquemas de estructuras moleculares de PEBD, PELBD y PEAD.....	55
2.23.	Obtención de PEAD a partir de etileno y el proceso Ziegler-Natta.....	55
2.24.	Aspecto de envases comerciales de PET y PEAD.....	56
2.25.	Distribución del consumo de plástico en México.....	67
2.26.	Manejo y Gestión de Residuos Sólidos Urbanos.....	70
2.27.	Manejo y Gestión de RSU PET/Plástico.....	77
2.28.	Manejo y Gestión de RSU PET/PEAD.....	78
2.29.	Número de publicaciones científicas de microplásticos a lo largo del tiempo.....	80
2.30.	Mecanismo de formación de microplásticos a partir de fuentes secundarias.....	81
2.31.	Tasa de degradación de plásticos en diferentes medios.....	82
2.32.	Composición de microplásticos encontrados en estómagos de peces en México.....	85
2.33.	Imágenes de microplásticos por microscopio electrónico de barrido.....	88
3.1.	Ciclo de vida de cosméticos.....	90
3.2.	Material utilizado para la elaboración de una crema hidratante sólida.....	97
3.3.	Elaboración de crema hidratante sólida.....	97
3.4.	Material utilizado para la elaboración de un shampoo sólido.....	104
3.5.	Elaboración de shampoo sólido.....	104
3.6.	Publicidad de la marca LUSH®.....	105
4.1.	Pruebas realizadas para cada formulación propuesta de crema hidratante sólida.....	110
4.2.	Resultado de la formulación F1.....	111
4.3.	Resultado de la formulación F2.....	111
4.4.	Resultado de la formulación F3.....	112
4.5.	Resultado de la formulación F4.....	112
4.6.	Resultado de la formulación F5.....	112
4.7.	Temperaturas de fundido de las formulaciones propuestas contra Sleepy de LUSH®.....	113

4.8.	Muestra F4 a 21.8 °C.....	114
4.9.	Muestra F4 a 61 °C.....	114
4.10.	Pruebas realizadas para cada formulación propuesta de shampoo sólido.....	114
4.11.	Resultado de la formulación F1.....	115
4.12.	Resultado de la formulación F2.....	115
4.13.	Resultado de la formulación F3.....	115
4.14.	Resultado de la formulación F4.....	116
4.15.	Resultado de la formulación F5.....	116
4.16.	Aspecto inicial de las muestras para la prueba de formación de espuma.....	117
4.17.	Aspecto final de las muestras para la prueba de formación de espuma.....	117
4.18.	Evaluación cualitativa de dureza, emoliencia y aspecto de las muestras de crema.....	119
4.19.	Cantidades variables de las formulaciones propuestas para crema hidratante sólida...	120
4.20.	Aspecto de F4 sobre la piel.....	122
4.21.	Aspecto de Sleepy sobre la piel.....	122
4.22.	Evaluaciones cualitativas para shampoo sólido.....	124
4.23.	Cantidades variables en formulación de shampoo sólido.....	125

## Índice de Tablas

2.1.	Rangos de HLB y aplicaciones correspondientes.....	28
2.2.	HLB de algunas sustancias.....	29
2.3.	HLB requerido de algunos aceites y ceras.....	29
2.4.	Tipos de emulsificantes recomendados para emulsiones W/O.....	34
2.5.	Formulación galénica de una cold cream.....	35
2.6.	Clasificación de los cosméticos.....	36
2.7.	Clasificación de cosméticos estudiados respecto a su área de aplicación.....	37
2.8.	Porcentaje de participación de mercado de cosméticos en México.....	37
2.9.	Estructuras presentes en la dermis y su función.....	40
2.10.	Tipos de hidratantes para el cuidado de la piel.....	42
2.11.	Tipos de piel y recomendaciones de hidratantes.....	43
2.12.	Formulación de una crema humectante con silicón.....	44
2.13.	Funcionalidad de ingredientes en formulaciones para shampoos capilares.....	49
2.14.	Tipos de shampoos capilares.....	50
2.15.	Formulación de un shampoo acondicionador.....	51
2.16.	Clasificación de los polímeros sintéticos.....	53
2.17.	Propiedades físicas del PET y el PEAD.....	56
2.18.	Volumen de Producción Nacional de Cosméticos, perfumes y otras preparaciones de tocador.....	59
2.19.	Volumen de Producción Nacional de Cosméticos, perfumes y otras preparaciones de tocador en grupos de productos.....	60
2.20.	Volumen de Producción, Importaciones, Exportaciones e Índice de Consumo Aparente de Cremas y Leches de tocador.....	62
2.21.	Volumen de Producción, Importaciones, Exportaciones e Índice de Consumo Aparente de Shampoos, Acondicionadores y Enjuagues.....	62
2.22.	Productos y marcas de crema corporal más buscados en Google México.....	64
2.23.	Productos y marcas de shampoo más buscados en Google México.....	64

2.24.	Tipo y material de envase usados para cremas y shampoos.....	66
2.25.	Porcentaje de Distribución de PET y PEAD del ICA de los grupos estudiados.....	66
2.26.	Composición porcentual promedio de los Residuos Sólidos Urbanos en México.....	69
2.27.	Recolección de PET y Plástico.....	71
2.28.	PET y plástico que se aprovechan en centros de acopio.....	72
2.29.	PET y plástico que acopian los programas de ECOCE.....	73
2.30.	PET y plástico que no se recolectan ni se acopian.....	73
2.31.	PET y plástico que se aprovechan diariamente en plantas de tratamiento.....	75
2.32.	Infraestructura nacional de Sitios de Disposición Final.....	76
2.33.	Relaciones de PET/PEAD respecto a su manejo final y generación.....	79
2.34.	Porcentajes de PET/PEAD reciclables, no recuperables y potencialmente contaminantes.....	79
2.35.	Efectos negativos de los plásticos en ecosistemas acuáticos.....	84
3.1.	Ingredientes de crema St. Ives® Piel Renovada.....	91
3.2.	Funcionalidad de ingredientes seleccionados para formulación de crema hidratante sólida.....	94
3.3.	Batería de pruebas para formulación de una crema hidratante sólida (%)......	95
3.4.	Batería de pruebas para formulación de una crema hidratante sólida (g).....	96
3.5.	Ingredientes del shampoo The Honey Keeper®.....	98
3.6.	Funcionalidad de ingredientes seleccionados para formulación de un shampoo sólido.....	101
3.7.	Batería de pruebas para formulación de un shampoo sólido (%)......	102
3.8.	Batería de pruebas para formulación de un shampoo sólido (g).....	103
3.9.	Ingredientes de la barra hidratante Sleepy de LUSH®.....	106
3.10.	Ingredientes del shampoo sólido Jason and the Argan Oil de LUSH®.....	107
4.1.	Temperaturas de fundido de las formulaciones propuestas contra Sleepy de LUSH®.....	113
4.2.	pH y duración de espuma de formulaciones propuestas contra shampoo sólido Jason and the Argan Oil de LUSH®.....	117
4.3.	Escala de evaluación cualitativa para los resultados de crema hidratante sólida.....	118
4.4.	Evaluación cualitativa de dureza, emoliencia y aspecto de las muestras de crema.....	118
4.5.	Cantidades variables de formulaciones propuestas para crema hidratante sólida.....	119
4.6.	HLB requerido de las muestras realizadas.....	120
4.7.	Escala de evaluación cualitativa para los resultados de shampoo sólido.....	123
4.8.	Evaluación cualitativa de dureza, duración de espuma y aspecto de las muestras de shampoo sólido.....	123
4.9.	Cantidades variables de formulaciones propuestas de shampoo sólido.....	124

## Glosario de variables, parámetros y símbolos

$\pi$	Presión superficial de una solución (mN/m)
$\sigma$	Tensión superficial de una solución (mN/m)
$\Gamma$	Concentración de tensoactivo en la superficie de una solución (mol/m <sup>2</sup> )
$\theta$	Ángulo
$\gamma^{\alpha\beta}$	Tensión interfacial (mN/m)
$\sigma^0$	Tensión superficial de un líquido puro (mN/m)
$\mu\text{m}$	Micrómetro (10 <sup>-6</sup> )
%	Porcentaje
A	Número de ácido graso
A.E.	Aceite esencial
ADN	Ácido desoxirribonucleico
atm	Atmósferas
BHT	Butil hidroxitolueno
cm	Centímetro
cm <sup>2</sup>	Centímetro cuadrado
CMC	Concentración micelar crítica
csp.	Cantidad suficiente para
cSt	Centistokes
$d\pi$	Diferencial de presión superficial
$dA$	Diferencial de superficie interfacial
din	Dinas
din/cm	Energía por unidad de área
$dV$	Diferencial de volumen
$dw$	Diferencial de trabajo
E	Porcentaje en peso de contenido de oxietileno
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
erg	Ergs
erg/cm <sup>2</sup>	Energía por unidad de área
g	Gramo
HDPE	Polietileno de Alta Densidad ( <i>High Density Polyethylene</i> )
HLB	Balance Hidrofílico-Lipofílico ( <i>Hydrophilic-Lipophylic Balance</i> )
I.C.A.	Índice de Consumo Aparente
INCI	Nomenclatura Internacional de Ingredientes Cosméticos ( <i>International Nomenclature of Cosmetic Ingredients</i> )
K	Temperatura absoluta, Kelvin
kg	Kilogramo
m	Metro
mg	Miligramo
mN	Milinewtons
mN/m	Energía por unidad de área
mol	Moles
N	Newtons



nm	Nanómetro ( $10^{-9}$ )
NMF	Factor Natural de Hidratación ( <i>Natural Moisturizing Factor</i> )
O/W	Emulsión aceite en agua
°C	Grados Celsius
P	Presión
P	Porcentaje en peso de alcohol polihídrico
PEAD	Polietileno de Alta Densidad
PEBD	Polietileno de Baja Densidad
PEG	Polietilenglicol
PELBD	Polietileno Lineal de Baja Densidad
PET	Tereftalato de polietileno
PGPR	Polirricinoleato de poliglicerol
pH	Potencial hidrógeno
PP	Polipropileno
PPG	Polipropilenglicol
PS	Poliestireno
PVC	Policloruro de vinilo
R	Constante del gas ideal (J/mol K)
RSU	Residuo(s) Sólido(s) Urbano(s)
S	Número de saponificación de éster
SDF	Sitio(s) de Disposición Final
T	Temperatura (°C, K)
ton	Tonelada
UV	Ultravioleta
W/O	Emulsión agua en aceite
x	Fracción

**1.**

---

# **Introducción**

El cuidado personal forma parte de la vida cotidiana de cada persona, tanto para mantener la salud mediante la higiene corporal como para ofrecer una imagen personal adecuada en la convivencia social. No importando el nivel socioeconómico, los productos de cuidado personal y belleza están disponibles en un mercado que crece a la par de la población. Esto comprende preparaciones cosméticas como acondicionadores, cremas corporales, desodorantes, geles de ducha, jabones y shampoos capilares, entre muchos otros.

La mayor parte de los productos destinados al comercio deben acondicionarse de tal forma que el contenido esté protegido del exterior para su incorporación a la cadena de suministro así como para asegurar la integridad de los mismos y evitar poner en riesgo la salud del consumidor. Por lo general, el plástico se utiliza como envase primario en la mayoría de los productos orientados al consumo masivo y los tipos de plástico más usados para el envasado de productos son el tereftalato de polietileno y el polietileno de alta densidad, ya que se obtienen envases funcionales con un bajo costo de producción, el cuál permite mantener precios competitivos.

El problema que supone el plástico como componente principal de los productos terminados es su disposición final, ya que no siempre se recicla o se trata adecuadamente en la cadena de recuperación de residuos sólidos, provocando que termine contaminando el entorno.

Las formulaciones cosméticas sólidas representan una alternativa ecológica y sustentable contra las formulaciones líquidas, ya que pueden ser acondicionadas en envases libres de plástico. El beneficio ambiental de las formulaciones sólidas no sólo se limita a la reducción del uso de plástico sino a la reducción del agua como principal componente del producto terminado.

La presente tesis tiene como finalidad presentar el panorama actual de la contaminación en México por envases de plástico provenientes de preparaciones cosméticas de alta demanda como las cremas corporales y los shampoos capilares y proponer formulaciones cosméticas sólidas como alternativa para la reducción de este fenómeno ambiental.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Analizar el panorama nacional de la contaminación provocada por los envases de plástico provenientes de productos cosméticos como cremas corporales y shampoos capilares, y sus efectos sobre el medio ambiente.

### **Objetivos Particulares**

1. Estimar la cantidad que se aprovecha y que no se recupera de los plásticos tereftalato de polietileno y de polietileno de alta densidad derivados de esta actividad.
2. Analizar un producto representativo de cada segmento estudiado en cuanto a su formulación, función y a su empaque para encontrar aspectos de mejora.
3. Proponer una solución ante este problema ambiental, orientada al diseño de producto y compararla con un producto similar de una marca líder.
4. Concluir si las preparaciones cosméticas sólidas representan una alternativa viable para la reducción de la contaminación por plástico en México.

## **Hipótesis**

La sustitución de las formulaciones líquidas de productos cosméticos envasados en PET y PEAD - en los segmentos de “cremas y leches de tocador para manos y cuerpo” y “shampoos, enjuagues y acondicionadores”- por formulaciones sólidas, podría reducir significativamente la contaminación por estos plásticos en el país, dado que se disminuiría la necesidad de estos materiales como envases primarios.

## Metodología

Se recogerá información de libros especializados, de artículos científicos y de bases de datos de información estadística nacional para estructurar de la siguiente manera la investigación:

1. Se enunciarán las bases científicas aplicables de la fisicoquímica de superficies, las cuáles son necesarias para entender la composición de los sistemas de formulación.
2. Se caracterizarán los productos cosméticos según su función en el cuerpo humano y de acuerdo con el marco legal pertinente. Se describirán las particularidades de las zonas del cuerpo humano donde se emplean los productos investigados (piel y cabello), con el objetivo de vincular la composición de estos productos con el efecto esperado para el usuario.
3. Se expondrá información pertinente al acondicionamiento de los productos en los materiales PET y PEAD conforme a las consideraciones históricas y técnicas de la industria del envasado.
4. Se presentará la información proveniente de la producción nacional, de exportaciones y de importaciones de estos bienes, a manera de obtener cifras que describan el volumen presente en el mercado mexicano, así como marcas con mayor presencia. Esta información podrá proporcionar datos respecto a los productos que se consumen y de los envases de plástico que son empleados para su comercialización.
5. Se estimará el aprovechamiento de plástico con información oficial de la disposición de residuos sólidos en el país contrastando con el estimado de envases que se desechan derivados de la comercialización de estos productos.
6. Se analizarán dos productos representativos de ambos segmentos y se propondrán formulaciones sólidas como sustitutos, las cuáles, también se compararán con productos similares de marca líder para determinar si es posible, teóricamente, cumplir con los objetivos de la investigación.

## **Alcance**

- El estudio contempla la relación entre el consumo nacional de “cremas y leches de tocador para manos y cuerpo” y “shampoos, enjuagues y acondicionadores” y la contaminación ambiental provocada por sus envases.
- Se considera información de fuentes oficiales como el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, la Encuesta Nacional de la Industria Manufacturera, normatividad vigente así como publicaciones y textos de investigación científica relacionados a la contaminación por plástico.
- Se considera información técnica proveniente de textos científicos para el análisis de los productos cosméticos y de sus alternativas.
- Se ilustrarán los aspectos fisicoquímicos de surfactantes, fenómenos superficiales o polímeros, sin embargo, no se ahondará en el enfoque termodinámico riguroso, ya que no es el objeto central de esta tesis, sino el uso práctico de éstos en formulaciones cosméticas.
- No se realizarán estudios de estabilidad de los productos ni panel de consumidores ya que exceden los propósitos de esta tesis.

**2**

---

# **Marco Teórico**

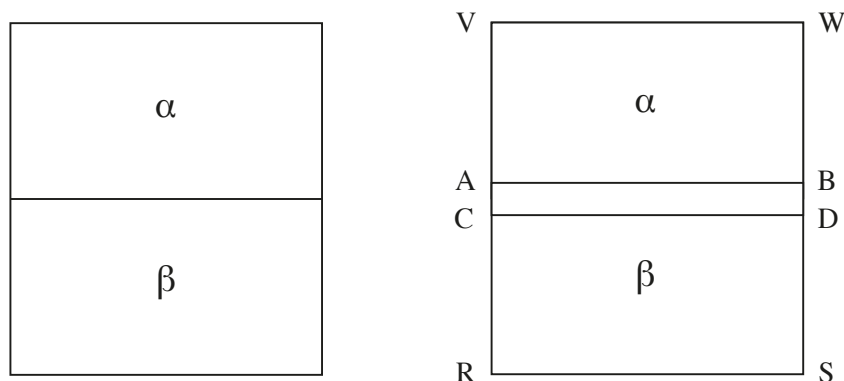
## 2.1. Sistemas coloidales

Los fenómenos de superficie analizan los sistemas en donde los efectos en las superficies son de relevancia como reacciones químicas para síntesis, fabricación de lubricantes, adhesivos y detergentes, por mencionar algunos (Levine, I., 2004, p. 467). Se revisarán algunos conceptos de esta área de la fisicoquímica para comprender los siguientes temas.

### La interfase

Según Levine (2004), se denomina *interfase*, *capa superficial* o *capa interfacial* a la región comprendida entre dos fases  $\alpha$  y  $\beta$ . El espesor de esta capa interfacial es de apenas unos pocos diámetros moleculares (p. 467).

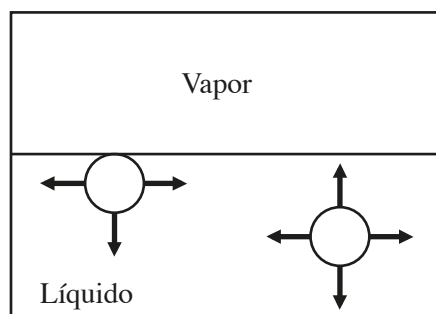
En un sistema bifásico simplificado, el entorno de las moléculas contenidas en la fase  $\alpha$  es distinto al entorno de las que contiene la fase  $\beta$  (Figura 1. Izq.), mientras que, tomando en cuenta la interfase (Figura 1. Der.), las moléculas contenidas en la región VW-AB tienen características de la fase  $\alpha$  y las contenidas en la región RS-CD de la fase  $\beta$ , en tanto que en el espesor de la interfase, en las regiones A-B y C-D, existe una zona de transición en donde hay propiedades de ambas.



**Figura 2.1.** Izquierda: Sistema bifásico. Derecha: Capa interfacial entre dos fases.  
Fuente: Levine, I., 2004, p. 467.



En la Figura 2.2. se considera un líquido en equilibrio con su vapor. Las moléculas situadas en la superficie del líquido no tienen las mismas interacciones que las que se encuentran en el seno de la fase líquida. Ya que las interacciones moleculares disminuyen la energía interna, las moléculas presentes en la superficie contienen mayor energía (Levine, 2004, p. 469).



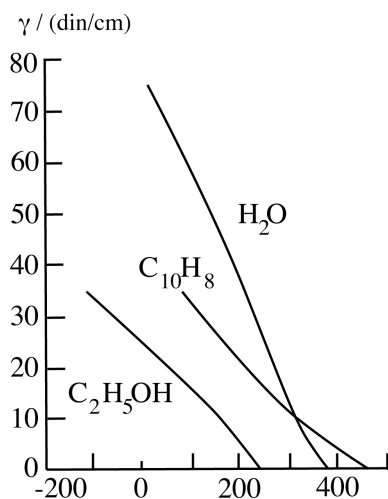
**Figura 2.2.** Fuerzas atractivas que actúan sobre las moléculas de un líquido.  
Fuente: Levine, I., 2004, p. 469

A es el área interfacial comprendida entre las fases  $\alpha$  y  $\beta$  y el número de moléculas que contiene el área interfacial es proporcional a ésta. Si se lleva a cabo un proceso reversible que aumenta la superficie interfacial  $dA$ , el trabajo realizado es proporcional a  $dA$ . Se necesita introducir una constante de proporcionalidad  $\gamma^{\alpha\beta}$  para obtener la expresión de trabajo  $\gamma^{\alpha\beta} dA$ . La magnitud  $\gamma^{\alpha\beta}$  se conoce como *tensión interfacial* (Levine, 2004, p. 469). Rosen (2012) complementa este concepto añadiendo que cuando una de las fases es un gas, el término que debe usarse es *tensión superficial* (p. 1).

Además del trabajo  $\gamma^{\alpha\beta} dA$  requerido para incrementar la superficie interfacial, existe un trabajo  $-PdV$  asociado al cambio de volumen. Esto conduce a la siguiente ecuación, que expresa la cantidad de trabajo requerido para un sistema bifásico con interfase plana:

$$dw_{rev} = -PdV + \gamma^{\alpha\beta} dA$$

Las tensiones superficiales de los líquidos generalmente se miden respecto al aire. Ya que se considerarán únicamente sistemas con una interfase,  $\gamma^{\alpha\beta}$  puede escribirse como  $\gamma$ .



**Figura 2.3.** Dependencia de la tensión superficial con la temperatura.  
Fuente: Levine, I., 2004, p. 470.

La tensión superficial  $\gamma$  tiene unidades de energía por unidad de área ( $\text{erg}/\text{cm}^2$ ,  $\text{dina}/\text{cm}$ ,  $\text{mN}/\text{m}$ ). La mayoría de los líquidos orgánicos e inorgánicos presentan tensiones superficiales entre 15 y 50  $\text{dina}/\text{cm}$  mientras que el agua tiene un valor de 73  $\text{dina}/\text{cm}$  a 20 °C debido a la intensidad de las fuerzas moleculares de los enlaces de hidrógeno. Cuando la temperatura de un líquido en equilibrio con su vapor aumenta, la interfase líquido – vapor desaparece hasta que  $T$  llega a la temperatura crítica. (Levine, 2004, p. 470).

De acuerdo a Sun (2004) un coloide es una mezcla en la cuál una molécula con una gran región superficial se dispersa en un medio formando dos fases. Ésta no es una solución verdadera (no es una mezcla homogénea de soluto y solvente) sino un material disuelto en otro tipo de material. La región de gran superficie tiene la capacidad de reducir la tensión interfacial. Los coloides pueden clasificarse en liófilos y liofóbicos (p. 1-2).

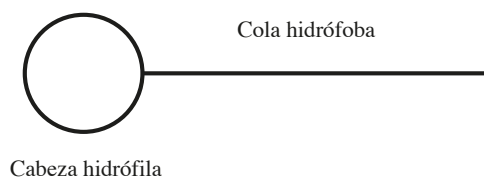
Según Castellan (1987) los coloides liófilos también pueden denominarse “geles”. Tienen gran afinidad por el solvente en el que se dispersan y son termodinámicamente estables. La estabilidad del coloide liófilo es una consecuencia de las interacciones fuertes favorables disolvente soluto.

Los coloides liofóbicos también pueden denominarse “soles”, no tienen buena afinidad con el solvente en donde se dispersan y son termodinámicamente inestables. Generalmente son sustancias que presentan muy baja solubilidad en el medio dispersante y suelen ser agregados de pequeñas moléculas (p. 462-463).

Cuando el solvente es agua, los coloides liófilos pueden renombrarse como hidrofílicos y los liofóbicos, como hidrofóbicos (Sun, 2004, p. 2).

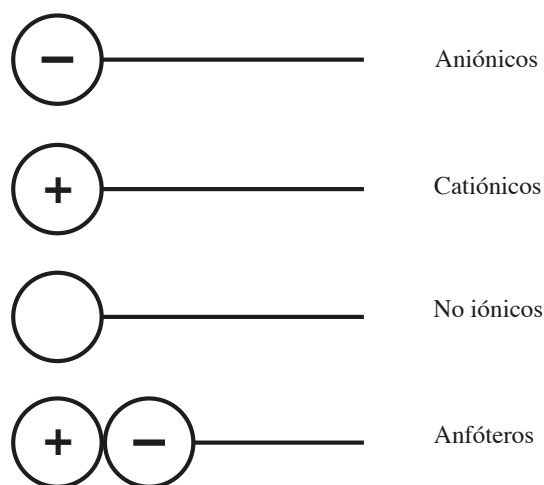
## Surfactantes

Según Rosen (2012), un surfactante<sup>1</sup> es una sustancia que cuando está presente en baja concentración en un sistema, tiene la propiedad de adsorberse sobre las superficies o interfases de éste alterando drásticamente la superficie o las energías libres de las interfases. (p.1). Las moléculas de surfactante son de naturaleza anfifílica, esto quiere decir que poseen una sección hidrófila, o "cabeza", que es soluble en agua, y una sección hidrófoba, o "cola", que no se disuelve en agua. La "cola" hidrófoba, que a menudo es una cadena de hidrocarburos, se disuelve en aceite pero tiene una solubilidad mínima en agua y otros disolventes polares. Por otro lado, la "cabeza" hidrófila tiene gran afinidad por el agua pero escasa solubilidad en disolventes no polares, como el aceite. Esta sección hidrófila puede ser un grupo iónico o altamente polar. (Chen, 2004, p. 7).



**Figura 2.4.** Estructura de una molécula surfactante

Los surfactantes pueden clasificarse de acuerdo a la carga del grupo hidrófilo. Existen 4 tipos de surfactantes y su clasificación puede observarse en la Figura 2.5. Los tensoactivos aniónicos son los más fabricados en todo el mundo, seguidos de los no iónicos y de los anfóteros. Los catiónicos se emplean para aplicaciones especiales.



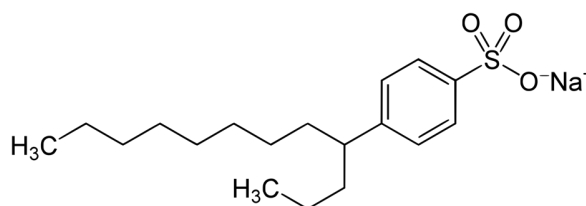
**Figura 2.5.** Tipos de surfactantes

<sup>1</sup> Surfactante: La palabra viene del proviene de la contracción del inglés “*surface active agent*”. Otro término equivalente es “tensoactivo”.

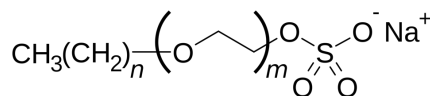
## Aniónicos

De acuerdo a Barel et al., (2009), en soluciones acuosas, las moléculas de surfactantes aniónicos poseen cargas negativas siempre y cuando el pH de la mezcla no sea extremadamente bajo. Los grupos ionizados podrían ser carboxilatos, sulfatos, sulfonatos o fosfatos. Los sulfatos de alquilo y los sulfatos de alquilo etoxilados, conocidos por su alta capacidad para producir espuma, son los más comunes en productos de cuidado de la piel como surfactantes primarios. Además, se emplean otros surfactantes aniónicos como tensoactivos secundarios, debido a su suavidad y baja formación de espuma como los isetionatos, sulfosuccinatos, tauratos, sarcosinatos, ésteres de ácido fosfórico, acilglutamatos, etc (p. 769).

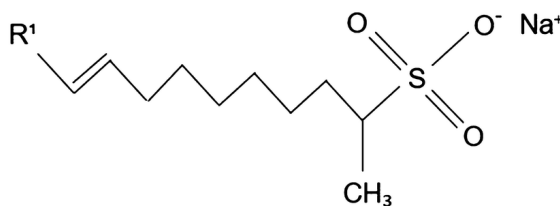
Alquilbencen sulfonato de sodio lineal



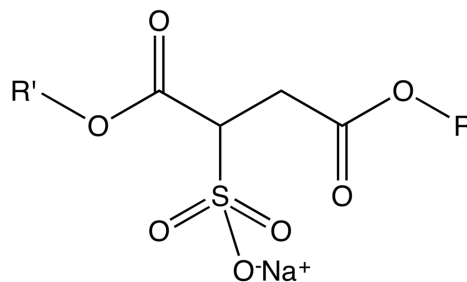
Éter sulfato de alcohol graso



$\alpha$ -Olefin sulfonato



Sulfosuccinato

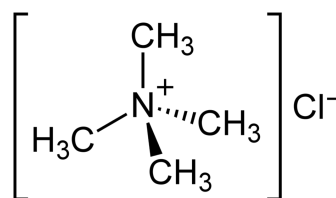


**Figura 2.6.** Tipos de surfactantes aniónicos

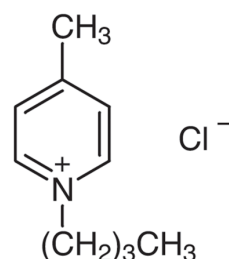
## Catiónicos

Se diferencian de los aniónicos por presentar una carga positiva en el grupo hidrófilo. Su mayor interés en la industria cosmética reside en el cuidado capilar; en este marco, se utilizan como acondicionadores para el cabello y agentes antiestáticos. Los catiónicos también se encuentran en el área del cuidado personal como emulsionantes en algunas preparaciones cosméticas y como agentes bactericidas (Barel et al., 2009, p. 776).

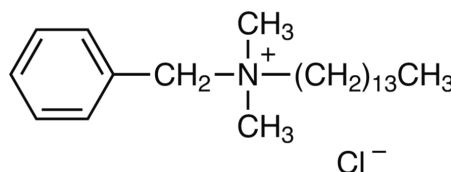
Sales de tetraalquilamonio



Sales de piridinio



Sales de amonio cuaternario



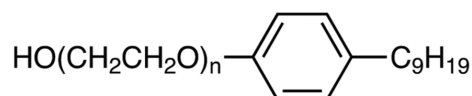
**Figura 2.7.** Tipos de surfactantes catiónicos

## No iónicos

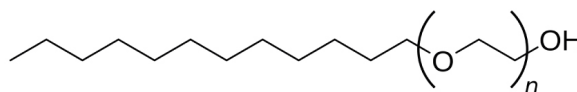
Según Xiang et al., (2019) los surfactantes no iónicos, que son una combinación de grupos hidrofílicos e hidrofóbicos sin carga, no se separan en iones en solución acuosa y suelen generar espuma de baja a moderada. Son fundamentales para una serie de aplicaciones que abarcan desde el cuidado personal hasta múltiples usos industriales.

Su efectividad como humectantes, agentes dispersantes, emulsionantes y espumantes los sitúa como componentes esenciales en estas áreas (p. 389). Para complementar, Barel et al., (2009) informan que éstos son valorados por su alta compatibilidad con la piel y los ojos, además de su capacidad para reducir la irritación cuando se mezclan adecuadamente con surfactantes aniónicos. De ahí que muchos productos dirigidos a pieles sensibles, bebés o faciales contengan surfactantes no iónicos como componente principal (p. 779).

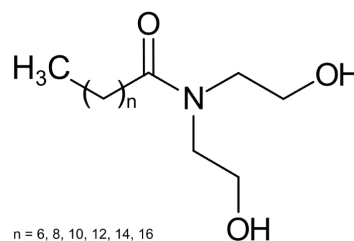
Alquilfenol etoxilado



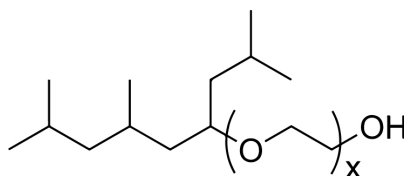
Alcohol etoxilado



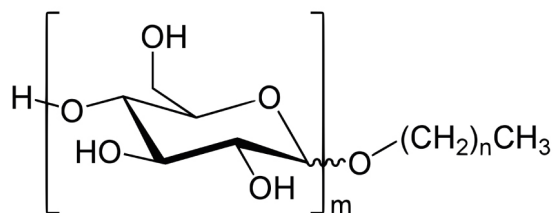
Alcanolamida de ácido graso etoxilada



Éter de poliglicol de alcohol graso



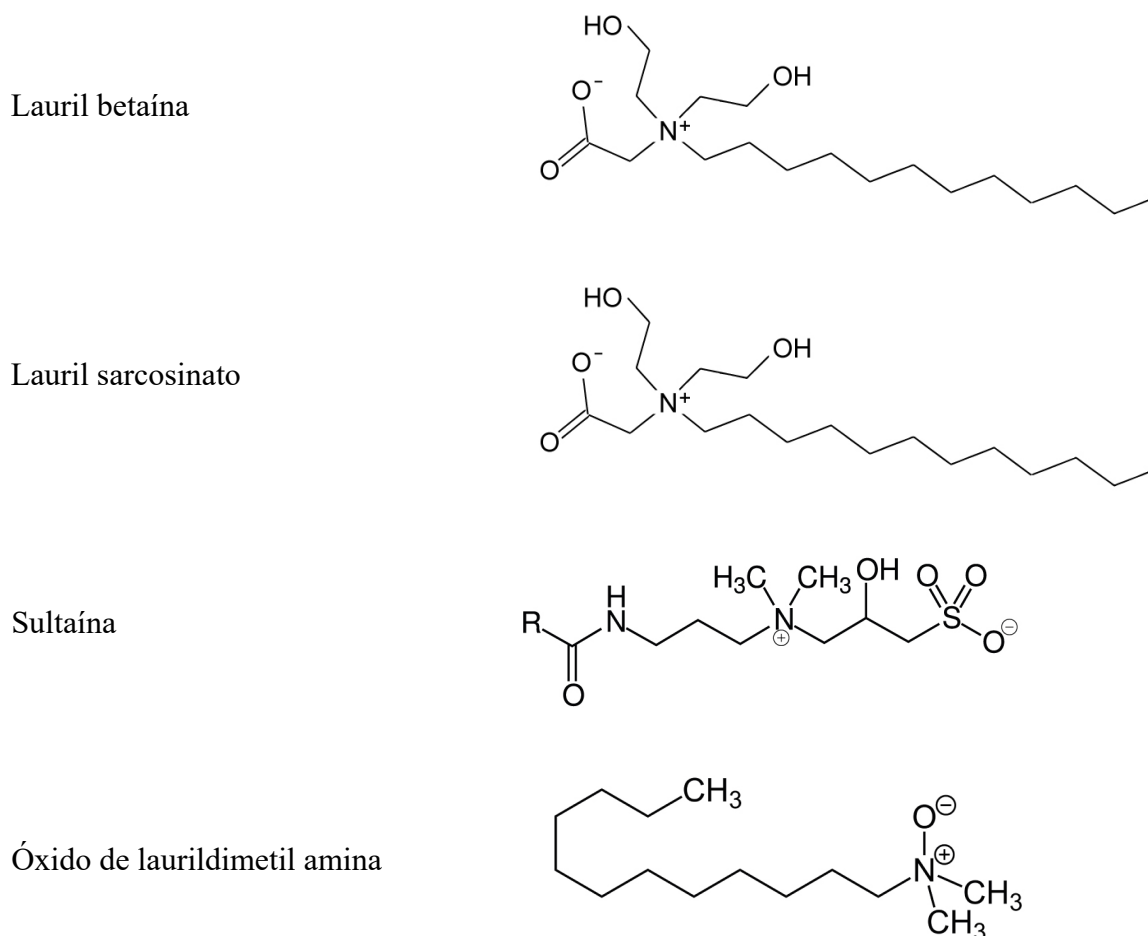
Alquil poliglucósido



**Figura 2.8.** Tipos de surfactantes no iónicos

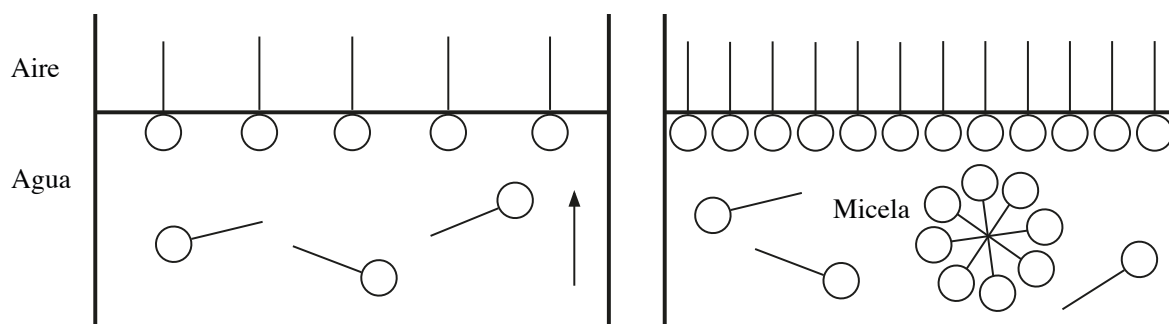
## Anfóteros

Rosen (2012) reporta que en “la cabeza” de estos surfactantes, se presentan cargas tanto positivas como negativas (p. 4). Según Barel et al., (2009) su comportamiento es regulado por el pH: en condiciones alcalinas, su comportamiento aniónico es predominante, impartiendo detergencia y espuma a la formulación, mientras que en condiciones ácidas, el comportamiento es catiónico, pegándose a la superficie de contacto. Por lo general, se utilizan como surfactantes secundarios debido a su habilidad para estabilizar la espuma y reducir la irritación de la piel provocada por los alquilsulfatos y alquiletoxisulfatos (p. 778).



**Figura 2.9.** Tipos de surfactantes anfóteros

Gracia-Fadrique (2005) describe que en soluciones coloidales liófilas acuosas, cada molécula de tensoactivo migra a la superficie por el efecto de la cadena hidrofóbica (adsorción en interfases gas/líquido), orientando los grupos polares o hidrofílicos hacia el interior de la superficie de la solución y la cadena hidrocarbonada sobre ella. Cuando la superficie de la solución se encuentra llena del surfactante, comienza un fenómeno espontáneo hacia el seno de la solución donde los grupos polares se reúnen adoptando una apariencia esférica sobre las cadenas hidrocarbonadas. A este agregado se le conoce como *micela* y ésta se encuentra en equilibrio con las moléculas libres de surfactante en solución y en la superficie (p. 64).



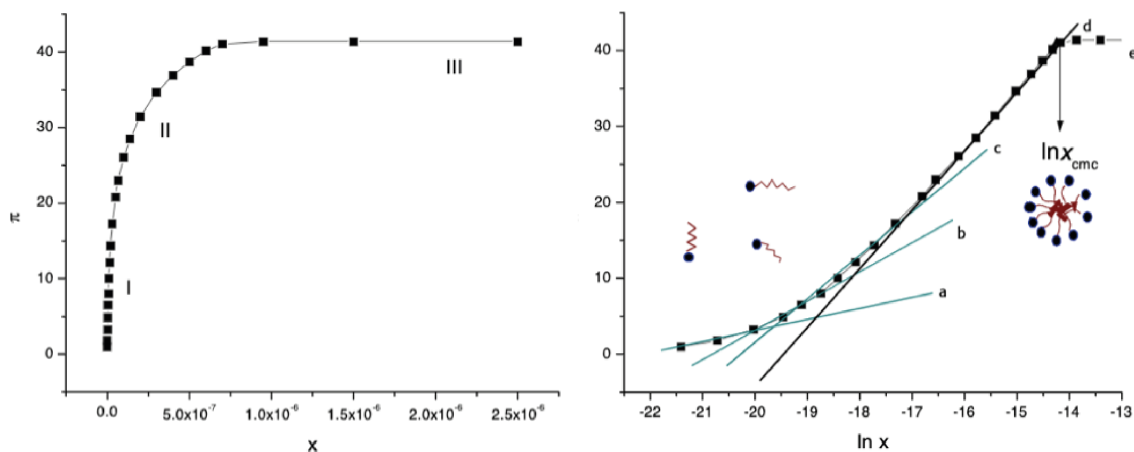
**Figura 2.10.** Izquierda: Orientación de monómeros de surfactante en la superficie de la solución. Derecha: Formación de micela al llenar la superficie.

Como vimos anteriormente, en el sistema enunciado por Levine para la obtención del trabajo en un sistema cerrado con superficie plana, Gracia-Fadrique (2005) ilustra la siguiente ecuación, basada en la Ecuación de Adsorción de Gibbs para expresar el proceso de acumulación molecular en la superficie a temperatura constante (p. 64):

$$\Gamma = \frac{x}{RT} \left( \frac{d\pi}{dx} \right) \quad (a) ; \quad \Gamma = \frac{1}{RT} \left( \frac{d\pi}{d \ln x} \right) \quad (b)$$

Donde  $\Gamma$  es la concentración de tensoactivo en la superficie ( $\text{mol}/\text{m}^2$ ),  $x$  la concentración de la disolución en fracción mol del tensoactivo,  $R$  es la constante del gas ideal ( $\text{J}/\text{mol K}$ ),  $T$  es la temperatura absoluta ( $\text{K}$ ) y  $\pi$  la presión superficial de la solución ( $\text{mN}/\text{m}$ ) o la diferencia entre la tensión superficial del líquido puro y el de la solución ( $\sigma^0 - \sigma$ ).





**Figura 2.11.** Izquierda: Comportamiento de un tensoactivo en solución. Derecha: Aumento continuo de la pendiente ( $d\sigma/d \ln x$ ) hasta llegar a un máximo. Fuente: Gracia-Fadrique (2005), p. 65.

En la Figura 2.11 se pueden notar los comportamientos de las ecuaciones planteadas. A la izquierda, se usa la ecuación (a) y puede notarse que en la región I, a bajas concentraciones de surfactante, la presión superficial aumenta rápidamente, sin embargo disminuye el crecimiento de II a III hasta llegar a un punto máximo en donde el límite de la derivada tiende a cero. En la derecha de la Figura 2.11, está graficada la ecuación (b), que es la ecuación (a) expresada en términos de  $\ln x$ , y es más notorio el límite de concentración de la superficie en el punto “d” de la gráfica.

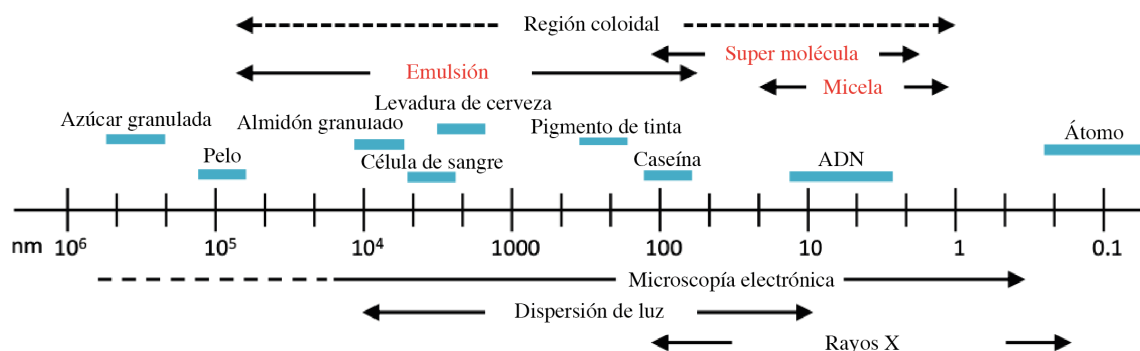
En la trayectoria de los puntos “d” y “e” de la gráfica, se representa el estado de composición del sistema en el cuál, como la superficie ya está totalmente ocupada, comienza la formación de micelas. Ese punto de cambio en la gráfica se conoce como *concentración micelar crítica*.

Castellan (1987) explica que la incorporación de moléculas de hidrocarburos en la región hidrocarbonada interior de la micela, crea una solución jabonosa que puede actuar como disolvente de hidrocarburos. La acción limpiadora de esta solución detergente, que es similar a un jabón, tiene buena capacidad limpiadora si puede mantener la grasa en suspensión.

La adición de cualquier molécula con un extremo polar y un gran extremo hidrocarbonado, disminuye considerablemente la tensión interfacial entre un sistema agua y aceite, por lo que pueden batirse mecánicamente para suspender el aceite en el agua (p. 465-466).

## Emulsiones

Una *emulsión* se define como una mezcla de partículas de un líquido con otro líquido que es inmisible al primero. Los dos tipos de emulsiones comunes son aceite en agua (O/W) y agua en aceite (W/O), por sus siglas en inglés, donde el aceite (*oil*) denota el fluido inmisible con el agua (Adamson, 1997, p. 501). Se le denomina *fase continua* a la que está presente en mayor proporción en la mezcla y *fase dispersa*, a la que se encuentra en menor proporción. Los tamaños típicos de gota de emulsión oscilan entre 0,1 y 10  $\mu\text{m}$ , lo que cubre las longitudes de onda de la luz visible y, por lo tanto, las emulsiones a menudo aparecen turbias o de color blanco pálido (Sakamoto et al., 2017, p. 489).



**Figura 2.12.** Comparación de tamaño entre diferentes sustancias coloidales.

Fuente: Sakamoto et al., (2017), p. 490.

Sakamoto et al., (2017) describen la *emulsificación* como un proceso para elaborar una mezcla metaestable como agua y aceite. Una emulsión en estado de no equilibrio eventualmente se separa en dos fases debido a procesos de desestabilización. Para lograr una emulsión casi estable, es esencial entender el proceso de preparación y los factores de estabilización.

Para obtener un equilibrio dinámico en una emulsión, es necesario que se produzca el efecto de micelización, ya que si no hay suficiente cantidad de tensoactivo, el sistema se separará en sus dos fases constituyentes. Los surfactantes empleados para el proceso de emulsificación, son denominados *emulsificantes* (p. 489).

### Selección de emulsificantes: HLB

De acuerdo a Sakamoto et al., (2017), para lograr una emulsión existen una serie de sustancias emulsificantes como polímeros anfífilos, proteínas y surfactantes. Las características de un emulsificante han sido caracterizadas empíricamente con anterioridad por Griffin, quién propuso una escala para la elección de emulsificantes con base en el tipo de emulsión que se desea lograr. El número HLB (Hydrophilic-Lipophylic-Balance) indica la afinidad de un surfactante en un disolvente para lograr una emulsión. Adicionalmente, la regla de Bancroft establece que los surfactantes solubles en aceite tienen mayor tendencia a formar emulsiones W/O y por el contrario, los surfactantes más solubles en agua, mayor tendencia a la formación de emulsiones O/W (p. 492 – 493).

Rango de número HLB	Aplicación correspondiente
1.5 – 3	Agente antiespumante
1 – 4	Emulsificantes para emulsiones W/O
6 – 8	Agentes humectantes
10 – 13	Emulsificantes para emulsiones O/W
13 – 15	Detergentes
15 – 18	Solubilizantes

**Tabla 2.1.** Rangos de HLB y aplicaciones correspondientes.  
Fuente: Sakamoto et al., (2017), p. 492.

Griffin (1949) menciona que combinar emulsificantes hidrofóbicos e hidrofílicos, producen una emulsión más estable ya que cubren mayor rango en la escala HLB; de esta afirmación es que la empresa para la que trabajaba, Atlas Powder Company, recomendara la serie de surfactantes no iónicos Tween® y Span® para usarse mezcladas para la elaboración de emulsiones (p. 315-317).

Es posible emulsificar un aceite cuando es conocido el HLB requerido del mismo. Usualmente, la referencia de “HLB requerido” es más usada para emulsiones O/W. (Griffin, 1949, p. 318).

A continuación, se ilustra una ecuación propuesta para HLB requerido (Griffin, 1949, p. 315):

$$HLB_{req} = \frac{W_A HLB_A + W_B HLB_B}{W_A + W_B}$$

Donde A y B son dos emulsificantes, W la fracción en peso de emulsificante y HLB, el valor de HLB de cada emulsificante. Para poder usar esta ecuación, vale ilustrar algunos valores de HLB conocidos para emulsificantes así como de HLB requerido de algunos aceites:

Compuesto	HLB
Ácido oléico	1
Span 85 <sup>®</sup>	1.8
Arlacel C <sup>®</sup>	3.7
Span 80 <sup>®</sup>	4.3
Span 60 <sup>®</sup>	4.7
Span 20 <sup>®</sup>	8.6
Tween 81 <sup>®</sup>	10.0
Tween 60 <sup>®</sup>	14.9
Tween 80 <sup>®</sup>	15.0
Tween 20 <sup>®</sup>	16.7

**Tabla 2.2.** HLB de algunas sustancias.  
Fuente: Griffin, 1949, p. 321.

Aceite o cera	HLB req (O/W)
Aceite de algodón	7.5
Parafina	9
Cera microcristalina	9.5
Aceite mineral ligero	10
Aceite mineral pesado	10.5
Alcohol cetílico	13
Aceite de silicón	10.5
Cera de abejas	10 – 16
Lanolina	15
Ácido esteárico	17

**Tabla 2.3.** HLB requerido de algunos aceites y ceras. Fuente: Griffin, 1949, p. 323.

El método para utilizar dicha ecuación está ejemplificado por Griffin (1949) para una formulación de crema:

Cera de abejas .....	5
Aceite mineral ligero .....	26
Aceite hidrogenado .....	18
Poliol .....	4
Emulsificante .....	5 – 10
Agua .....	csp. 100

Se necesita el cálculo del HLB total de la fase oleosa así como el HLB requerido.

Para la fase oleosa, se tienen las siguientes relaciones:

<b>Aceite o cera</b>	<b>%</b>	<b>HLB<sub>req</sub></b>	<b>% x HLB<sub>req</sub></b>
Cera de abejas	10%	15	1.5
Aceite mineral ligero	53%	10	5.3
Aceite hidrogenado	37%	9	3.3
<b>HLB<sub>req</sub> estimado</b>			10.1

El cálculo da un resultado de 10.1, ligeramente superior a 10. Empleando Span 60® y Tween 60® en diferentes proporciones:

<b>Span 60® - Tween 60®</b>	<b>HLB</b>
50 – 50	9.8
45 – 55	10.3
40 – 60	10.8
35 – 65	11.3
25 - 75	12.4

Se encuentra que la mejor mezcla de tensoactivos sería 45% Span 60® y 55% Tween 60® ya que producen un HLB de 10.3, que es suficientemente cercano al HLB requerido (p. 324).

Existen otras ecuaciones planteadas por Griffin (1954), que pueden emplearse para diversos tipos de materia prima. Para la mayoría de los ésteres de ácidos grasos de alcoholes polihídricos:

$$HLB = 20 \left( 1 - \frac{S}{A} \right)$$

Donde S es el número de saponificación del éster y A el número de ácido del ácido graso.

Por ejemplo, para el Atmul 67<sup>®</sup> (monoestearato de glicerilo), el número de saponificación es 161 y el número de ácido del ácido graso es 198, entonces:

$$\text{HLB} = 20 \left( 1 - \frac{161}{198} \right) = 3.8$$

Para el Tween 20<sup>®</sup> (monolaurato de sorbitán polioxietileno), el número de saponificación es 45.5 y el número de ácido del ácido graso es 276, entonces:

$$\text{HLB} = 20 \left( 1 - \frac{45.5}{276} \right) = 16.7$$

Muchos ésteres de ácidos grasos no proporcionan suficientes datos de número de saponificación como los ésteres de resinas, de cera de abejas o de lanolina. Para este tipo de materiales, puede usarse la siguiente ecuación:

$$\text{HLB} = \frac{E + P}{5}$$

Donde E es el porcentaje en peso del contenido de oxietileno y P es el porcentaje en peso del contenido de alcohol polihídrico (glicerol, sorbitol, etc).

Por ejemplo, para el Atlas G 1441<sup>®</sup> (derivado del sorbitán polioxietileno), el porcentaje en peso de del contenido de oxietileno (E) es 65.1 y el porcentaje en peso del alcohol polihídrico (P) es de 6.7, entonces:

$$\text{HLB} = \frac{65.1 + 6.7}{5} = 14$$

El enfoque recomendado para desarrollar una emulsión es identificar el HLB necesario y luego evaluar diferentes tipos de compuestos químicos dentro de ese valor. Este método evita el ensayo de tensioactivos con HLB inapropiado, ahorrando tiempo y esfuerzo en el proceso. (p. 250-251).

## Estabilidad de emulsiones

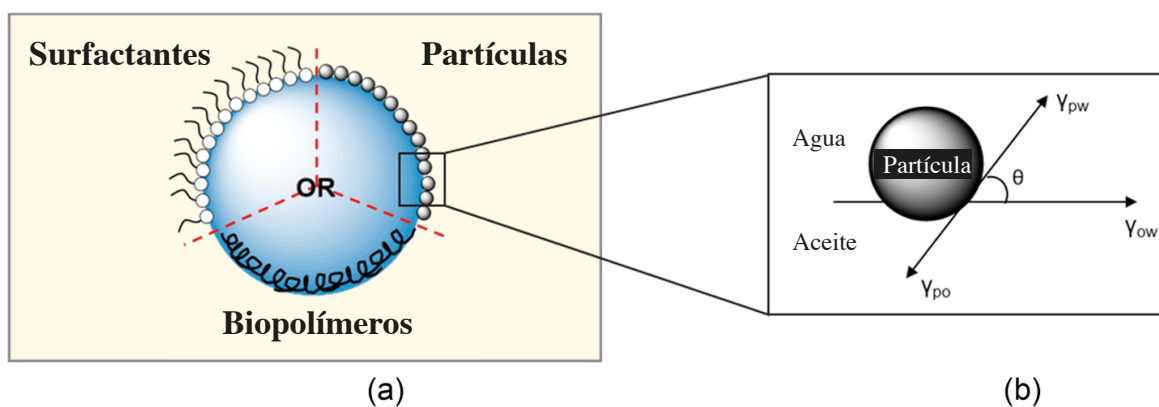
Al prepararse una emulsión, según Sakamoto et al. (2017), la energía libre de interfase tenderá a mantener la energía en el nivel más bajo posible disminuyendo su área, teniendo como resultado una separación de fases en algún período de tiempo.

La disminución en la tensión superficial que provoca la adición de tensoactivos en la formulación de emulsiones puede ser eficaz para esa finalidad, sin embargo, la estabilidad de la emulsión es un concepto que debe estudiarse por aparte, y por lo general, proviene de la experimentación. Existe una serie de fenómenos relacionados con la inestabilidad de las emulsiones y son:

- a) Cremado: Se caracteriza por la flotación o precipitación de partículas de la fase dispersa. Es causado por la diferencia de gravedad específica entre la fase dispersa y la fase continua. Puede calcularse mediante la Ley de Stokes.
- b) Floculación: Se presenta mediante la agregación de gotas de la fase dispersa en la superficie y éstas se mantienen íntegras, sin unirse.
- c) Coalescencia: Las partículas separadas se unen formando agregados más grandes. Generalmente forman una película que flota en la superficie.
- d) Maduración de Ostwald: Las partículas pequeñas desaparecen y el número de partículas grandes aumenta cuando los componentes de las partículas con radio pequeño se disuelven en la fase continua y se disuelven nuevamente en partículas más grandes.

Para lograr emulsiones estables, es necesario realizar una batería de pruebas experimentales para determinar la formulación con mayor estabilidad a lo largo del tiempo (p. 554 - 555). Para Sakamoto et al. (2017), el método para lograr emulsiones O/W con mayor estabilidad es el de la temperatura de inversión de fase. La emulsificación por temperatura de inversión de fase utiliza tensoactivos no iónicos hidrófilos de polioxietileno que varían sus propiedades según la temperatura. A bajas temperaturas, estos tensoactivos son hidrófilos y forman emulsiones O/W; pero a altas temperaturas, forman emulsiones W/O. La transición entre estos estados ocurre en la temperatura de inversión de fase. Cerca de esta temperatura, se logran emulsiones con partículas pequeñas, pero son inestables, sin embargo, al enfriar rápidamente la emulsión, se estabiliza. Este método permite optimizar la formulación y estabilidad mediante el control de temperatura (p. 555).

Respecto a las emulsiones W/O, no existe tanta investigación y desarrollo como la literatura existente para las emulsiones O/W, sin embargo, estudios recientes confirman diversas formas de estabilizar este tipo de emulsiones como los mecanismos propuestos por Zembyla et al. (2020) mediante el uso de surfactantes, biopolímeros, partículas o combinaciones de éstos:



**Figura 2.13.** (a) Diagrama esquemático de una gota de emulsión W/O que muestra diferentes estabilizaciones interfaciales mediante surfactantes, biopolímeros y partículas. (b) Ángulo de contacto trifásico relacionado con las energías libres superficiales en las interfases partícula-agua, partícula – aceite y agua – aceite. Fuente: Zembyla et al., (2020), p. 51.



Gracias a diversos aportes de la literatura científica correspondiente al desarrollo de aditivos alimentarios, se ha podido complementar mayor información respecto a emulsificantes que favorecen la estabilidad de las formulaciones W/O clasificándolos en diferentes tipos. La incorporación de este tipo de estabilizadores pueden mejorar tanto la viscosidad y dureza de la fase oleosa así como reducir el tiempo de sedimentación de las partículas de la fase acuosa (p. 50-51):

<b>Tipo</b>	<b>Emulsificante</b>	<b>Emulsificante (% peso)</b>	<b>Agua (% volumen)</b>
Surfactante	Polirricinoleato de Poliglicerol (PGPR)	0.2 – 10	10 – 50
	Span 20, 80, 85	0.001 – 12	10 – 50
	Lecitina	0.1 – 6	30 – 40
	Éster de ácido ricinoleico (CR-310)	1 – 5	10 – 30
Biopolímero y surfactante	Proteína & PGPR o lecitina	0.5 – 8	2 – 40
	Polisacárido & PGPR o lecitina	2.5 – 16	30 – 80
Partícula de origen no biológico	Sílica (5 – 30 nm)	0.4 – 8	20 – 60
Partícula de origen biológico	Celulosa (20 – 200 nm)	$3.8 \times 10^3 - 3$	20 – 89
	Almidón (150 nm)	0.5 – 2	50

**Tabla 2.4.** Tipos de emulsificantes recomendados para emulsiones W/O con base en su concentración y la fracción de agua presente. Fuente: Zembyla et al., (2020), p. 50.

Otro ejemplo de emulsiones W/O en preparados cosméticos son las *cold creams* o cremas frías. Según Wivell (1996), este tipo de preparaciones fueron llamadas así por su sensación refrescante al aplicarla.

En el pasado, farmacéuticos preparaban su propio ungüento con agua de rosas y lo conservaban en hielo, de ahí su nombre. Su composición clásica incluye cera de abejas, aceite mineral, agua y bórax (p.2).

De acuerdo a Yarav et al. (2023), el contenido de una crema fría determina su uso, donde los ingredientes funcionales definen sus aplicaciones. Se usa principalmente para mantener la hidratación de la piel y prevenir enfermedades de sequedad. La crema fría medicada se utiliza como tratamiento tópico, mientras que la no medicada tiene aplicaciones básicas (p. 1071).

Una formulación clásica y estable sería la siguiente:

Compuesto	Composición en peso	Función
Cera de abejas	16 %	Emulsificante / humectante
Bórax	0.8 %	Emoliente
Metilparabeno	0.1 %	Conservador
Parafina líquida	50 %	Emoliente
Agua	30 %	Diluyente
Perfume	3.1 %	Fragancia

**Tabla 2.5.** Formulación galénica de una cold cream. Fuente: Yarav et al., (2023), p. 1071.

Según lo señalado por Gao et al. (2021), es posible lograr este tipo de emulsiones gracias a los oleogeles, los cuáles pueden ser modificados en cuanto a su estructura, para lograr la viscosidad deseada en el producto final. La cera de abejas ha tenido un reciente interés en la industria para la formulación de este tipo de productos gracias a su acción autoemulsificante y porque ha demostrado ser un excelente oleogelador debido a sus propiedades de plasticidad, disponibilidad e inocuidad.

El proceso utilizado para estructurar productos con el objetivo de obtener oleogeles se denomina "oleogelación". Este método abarca diversas técnicas, tales como la dispersión directa, los sistemas bifásicos estructurados y la sorción de aceite.

La elección de cuál de estos métodos utilizar se determina en función de los tipos de gelificantes. Algunos otros gelificantes son alcoholes grasos, fitoesteroles, ceramidas o lecitina (p. 1-3).

## 2.2. Definición y clasificación de cosméticos

Existen diferencias respecto a distintos autores, sin embargo, etimológicamente el término *cosméticos* deriva del griego “Kosm tikos” que significa: “que tiene el poder de arreglar, hábil en la decoración, dar “kosmein”, adornar y “kosmos”, orden, armonía (Halla et al., 2018, p. 2).

La Ley General de Salud de México, en el artículo 269, define a los cosméticos como: sustancias o formulaciones destinadas a ser puestas en contacto con las partes superficiales del cuerpo humano - epidermis, sistema piloso y capilar, uñas, labios y órganos genitales externos, o con los dientes y mucosas bucales - con el fin exclusivo o principal de limpiarlos, perfumarlos, ayudar a modificar su aspecto, protegerlos, mantenerlos en buen estado o corregir los olores corporales o atenuar o prevenir deficiencias o alteraciones en el funcionamiento de la piel sana (Secretaría de Salud, 2023, p. 181).

Halla et al., (2018) consideran que los cosméticos son empleados directamente sobre la piel para las siguientes funciones: mantenerla en buen estado, cambiarla en apariencia, protegerla y corregir su aroma. La mejor forma de clasificarlos es de la siguiente manera (p. 2):

<b>Clasificación</b>	<b>Tipo de cosmético</b>
Limpieza	Jabones, desodorantes, shampoos.
Cuidado (piel, pelo, tegumentos)	Pasta de dientes, shampoo íntimo externo
Embellecimiento	Perfumes, colores de labios
Protectores	Bloqueadores de sol, antiarrugas
Correctivos	Máscaras, tintes para el pelo
Mantenimiento	Cremas de afeitar, cremas hidratantes
Activos	Pastas dentales con flúor, antisépticos

**Tabla 2.6.** Clasificación de los cosméticos. Fuente: Halla et al., 2018, p.2.

Ya que los tipos de cosméticos de interés en este estudio son “cremas y leches de tocador para manos y cuerpo” y “shampoos, enjuagues y acondicionadores”, éstos pertenecen a las

clasificaciones de Cuidado/Mantenimiento y Limpieza/Cuidado, respectivamente, que a su vez, se refieren a su funcionalidad. Para facilitar una clasificación adecuada para esta tesis, y para respetar el orden en el cuál estos segmentos están presentados en información del INEGI (2023), podemos categorizarlos de la siguiente manera respecto a su área de aplicación:

Área de aplicación	Función	Tipo de cosmético
Piel	Cuidado y Mantenimiento	Cremas y leches de tocador para manos y cuerpo
Pelo	Limpieza y Cuidado	Shampoos, enjuagues y acondicionadores

**Tabla 2.7.** Clasificación de los cosméticos a estudiar con base en su área de aplicación.

Según PROFECO (2017), éste es el porcentaje de participación de cosméticos en México:

Categoría / Año	2013	2014	2015	2016	2017	Participación de mercado 2017
<b>Cuidado personal</b>	<b>1,083.80</b>	<b>1,117.40</b>	<b>1,161.70</b>	<b>1,223.60</b>	<b>1,296.70</b>	<b>100.00%</b>
Cuidado de la piel	220.40	225.20	232.70	242.10	256.20	19.76%
Cuidado del pelo	216.70	225.40	232.00	241.90	254.00	19.59%
Fragancias	152.10	151.60	160.10	167.90	178.40	13.76%
Maquillaje	134.80	141.10	147.70	162.50	176.60	13.62%
Cuidado oral	92.80	95.50	98.40	102.20	107.20	8.27%
Desodorantes	77.40	81.70	85.30	92.00	98.50	7.60%
Baño y ducha	76.90	79.70	82.90	86.10	89.80	6.93%
Cuidado del bebé	52.30	53.30	55.50	57.30	60.30	4.65%
Afeitado	40.30	42.80	44.60	47.40	50.10	3.86%
Protección solar	8.60	9.40	10.10	11.00	11.80	0.91%
Depilatorios	7.50	7.90	8.30	8.80	9.30	0.72%
Sets/Kids	3.90	4.00	4.10	4.30	4.60	0.35%

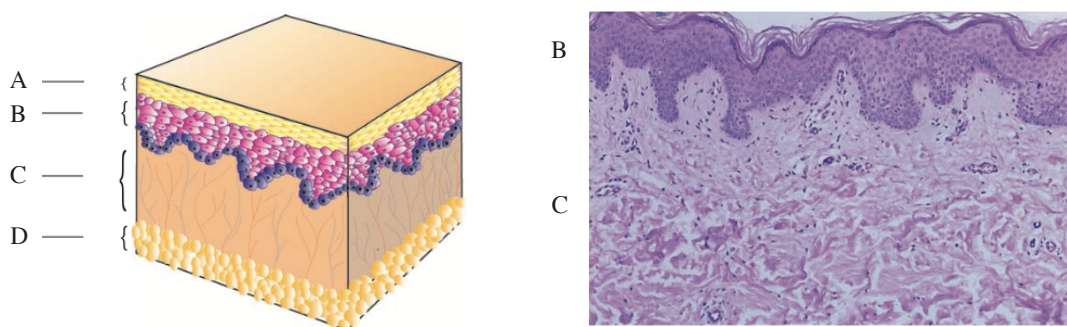
**Tabla 2.8.** Porcentaje de Participación de Mercado de Cosméticos en México. Fuente: PROFECO (2017).

## Cremas y leches de tocador para manos y cuerpo

### Estructura de la piel

Para comprender la función de los cosméticos destinados para el cuidado de la piel, como son las cremas, es necesario ilustrar la estructura y características de la misma.

Baran et al., (2009) definen a la piel como “el órgano más largo del cuerpo humano, el cuál está constituido de dos capas: la epidermis y la dermis. Por debajo de la dermis, existe el subcutis, que se constituye principalmente de células grasas” (p. 4).



**Figura 2.14.** Izq. Estructura de la piel: A) capa queratinosa, B) epidermis, C) dermis, D) hipodermis. Derecha. Corte transversal de la piel visto a través de un microscopio. Fuente: Baran et al., 2017, p.4-5.

La piel cumple múltiples funciones esenciales para el organismo. Destaca, en primer lugar, su papel como capa protectora, compuesta de queratina, que ofrece resistencia frente a bacterias, golpes o fricción. Además, permite la transmisión de sensaciones táctiles y contribuye a la regulación de la temperatura corporal.

Otro papel vital es su participación en la producción de vitamina D. Finalmente, no podemos pasar por alto el importante rol que juega la piel en la interacción social (Baran et al., 2009, p. 6).

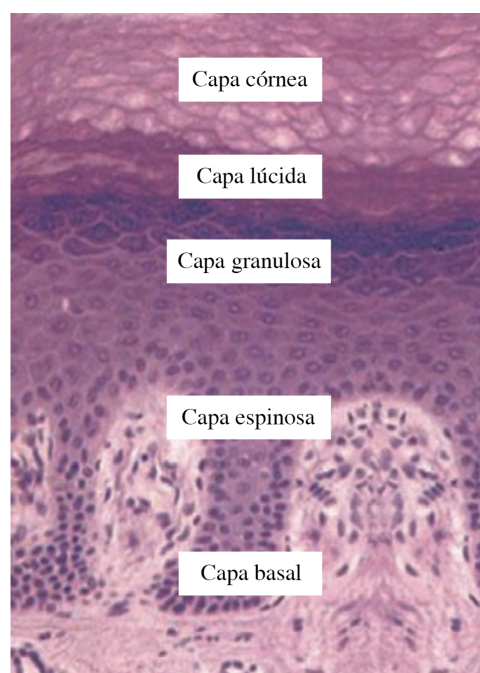
### A) Capa queratinosa o capa córnea

Es la capa más externa de la epidermis y actúa como una película protectora. Está constituida principalmente de queratinocitos<sup>2</sup>. De acuerdo a Muñoz (2008), estas células están dispuestas unas encima de otras como ladrillos constituyendo una barrera impermeable para casi todas las sustancias. Se regenera cada dos meses y su función es mantener la piel hidratada, así como protegernos de la radiación solar (p. 49).

### B) Epidermis

La epidermis tiene un espesor promedio de 1mm. La mayoría de las células presentes son queratinocitos, sin embargo también se encuentran las células de Langerhans y los melanocitos. Las primeras, están involucradas en el sistema inmune del cuerpo y las segundas, producen melanina, que pigmenta a la piel, creando los diferentes tonos que existen en el ser humano (Baran et al., 2009, p. 8).

Existen 5 capas en la epidermis y son, de la parte más externa a la más interna: capa queratinosa o capa córnea, capa lúcida, capa granulosa, capa espinosa y capa basal. El proceso de queratinización provoca que los queratinocitos vayan ascendiendo desde la capa basal hasta la córnea. A medida que los queratinocitos suben por las diferentes capas a las que dan lugar, se llenan de queratina hasta llegar a la capa córnea, en donde mueren, formando corneocitos (Da Freitas et al., 2013, p.6).



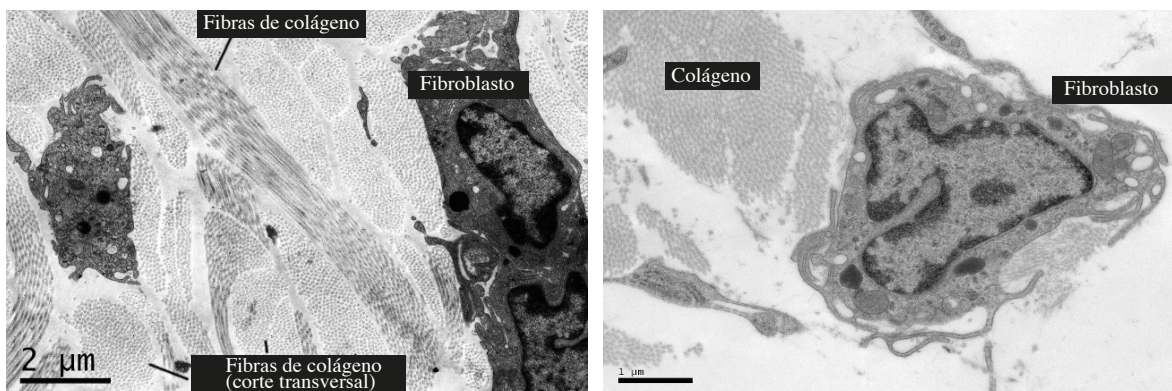
**Figura 2.15.** Capas de la epidermis.  
Fuente: Da Freitas et al., 2013, p. 6.

<sup>2</sup> Queratinocito: Célula epitelial que se carga de queratina conforme es empujado desde la base del epitelio hasta estratos superiores por la formación de nuevas células. (Da Freitas et al., 2013, p. 6).

Según Muñoz (2008) la dermis constituye la mayor parte de la piel y es el soporte esencial de este órgano, con un grosor aproximado de 4 mm. A diferencia de la epidermis, las células de la dermis forman un sistema complejo de fibras (matriz extracelular). De acuerdo a Megías et al., (2023), los fibroblastos<sup>3</sup> son los tipos celulares que sintetizan y mantienen esta matriz. Las fibras de la matriz extracelular confieren la tersura, flexibilidad y elasticidad características de la piel. Estas fibras se componen de colágeno (que aportan resistencia y firmeza), de elastina (provee elasticidad) y de reticulina, que es escasa y se dispone alrededor de pelos, uñas, glándulas y vasos sanguíneos (p. 49). Hay otras estructuras presentes como:

Estructura	Función
Glándulas sudoríparas	Termorregulación
Glándulas pilosebáceas	Secreción de sebo
Terminaciones nerviosas sensoriales	Determinación del dolor, el tacto y la temperatura
Irrigación dérmica	Termorregulación

**Tabla 2.9.** Estructuras presentes en la dermis y su función. Fuente: Rutter, 2000, p. 297.



**Figura 2.16.** Cortes histológicos de la dermis. Izquierda: Fibras de colágeno y fibroblasto a 2μm. Derecha: Colágeno y fibroblasto a 1μm. Fuente: Megías et al., 2023, Tipos celulares.

En la dermis, los fibroblastos sintetizan ácido hialurónico<sup>4</sup> en forma de un gel acuoso, altamente hidratante, que promueve la elasticidad y la flexibilidad de las fibras (Pons, 2001,

<sup>3</sup> Fibroblasto: Célula que sintetiza y mantiene la matriz extracelular y la “sustancia fundamental”: glicosaminoglicanos, proteoglicanos y glicoproteínas. Megías et al., 2023, Tipos celulares.

<sup>4</sup> Ácido hialurónico: Glucosaminoglicano que retiene una enorme cantidad de agua (Pons, 2001, p. 149).

p. 149). Adicionalmente, Fustero (2006) menciona que existen otras células móviles en menor número y defienden al organismo (granulocitos, macrófagos y linfocitos). La dermis contiene el 20% del agua de todo el organismo y puede evaporarse a través de la epidermis a razón de 100 mL/día. La circulación cutánea se halla en esta zona, de ahí que funge un papel importante en la termorregulación (p. 57).

#### D) Hipodermis

La hipodermis, compuesta por tejido adiposo, una forma de tejido conectivo, está dominada por las células adiposas que albergan principalmente una vacuola de grasa. Las funciones clave de la hipodermis son: almacenar energía, funcionar como amortiguador para proteger los órganos internos contra impactos y servir como barrera aislante contra las variaciones de temperatura exterior (Fustero, 2006, p. 57).

### **Funcionalidad de las cremas para la piel**

Sakamoto et al. (2017) mencionan que el objetivo principal de los cosméticos para la piel es restaurar la salud de la misma mejorando su homeostasis. Una piel saludable idealmente se caracteriza por un aspecto suave, liso, firme y de color uniforme. En la capa córnea de la piel se encuentran sustancias como ácido láctico, urea, ácido hialurónico y aminoácidos que provienen de la epidermis. Estas sustancias, en conjunto, reciben el nombre de Factor Natural de Hidratación (NMF, por sus siglas en inglés) y son fundamentales para mantener tanto la hidratación como el buen funcionamiento de la piel.

Una forma de auxiliar la piel cuando la función de homeostasis de la capa córnea no funciona adecuadamente, es escoger y aplicar aceites y humectantes que mejoren la condición de ésta. Este concepto es llamado *equilibrio de humedad* y es importante tomarlo en cuenta al escoger ingredientes para la formulación de cosméticos para el cuidado de la piel (p. 551-552).



De acuerdo a Baran et al. (2009), existen dos tipos de hidratantes:

Tipo de hidratante	Función	Ejemplos
Oclusivos	Producen una capa superficial oleosa sobre la piel, enriqueciendo los lípidos presentes en la capa córnea y evitando que se evapore el agua, por lo que se retiene humedad.	Vaselina, cetomacrogol, lanolina, aceites vegetales como el aceite de oliva y de sésamo, aunque son menos oclusivos.
Humectantes	Los humectantes absorben agua del entorno y son capaces de penetrar hacia el interior de la capa córnea.	Glicerina, sorbitol, propilenglicol, glucosaminoglicanos, elastina, colágeno, urea y ácido láctico.

**Tabla 2.10.** Tipos de hidratantes para el cuidado de la piel.  
Fuente: Elaboración propia con información de Baran et al., 2009, p. 28-29.

Es aconsejable usar cremas hidratantes tras limpiar la piel. Es óptimo aplicarlas luego de lavar el rostro, cuando aún esté algo húmedo, con movimientos delicados. La regularidad de su uso variará según la naturaleza de la piel: las más secas necesitarán más aplicaciones, y las sumamente secas podrían requerirlo varias veces al día, dependiendo de la crema elegida.

No se aconseja usar productos muy acuosos, como emulsiones o cremas, antes de exponerse a temperaturas bajas, ya que la piel húmeda se torna vulnerable al viento frío. Cuando el agua en la superficie cutánea se evapora, genera una sensación de frescura, y un clima frío y árido puede perjudicar la piel, en especial del rostro (p. 29 – 32).

Existen una serie de recomendaciones respecto al uso de humectantes basadas en el tipo de piel del consumidor:

<b>Tipo de Piel</b>	<b>Características</b>	<b>Recomendación</b>
Piel seca	Tiende a lucir opaca. Sus poros son casi imperceptibles. En situaciones extremas puede presentar descamación y fisuras.	Se requieren humectantes aceitosos que contengan componentes oclusivos.
Piel grasa	Luce reluciente, particularmente en la frente, nariz y mentón. Al tocarla, se siente aceitosa. Es fácil notar los poros ampliados. Quienes tienen esta clase de piel suelen enfrentar problemas de acné durante su adolescencia.	No necesita cremas hidratantes (excepto en aquellos momentos en que el rostro se vuelve más seco, por ejemplo, después de la exposición a un viento frío).
Piel normal	Esta piel se ubica entre la seca y la grasa. No presenta brillo ni sensación grasosa, pero luce tersa y adecuadamente hidratada. Sus poros no son notables.	Se debe utilizar una preparación humectante que incorpore menos sustancias aceitosas y oclusivas.
Piel mixta	Este tipo de piel se asemeja mucho a la piel normal. Sin embargo, en la zona T, que comprende la frente, la parte superior de la nariz y el centro del mentón, hay una mayor actividad sebácea, resultando en una tendencia a la oleosidad en dichas áreas.	Se debe evitar aplicar preparaciones humectantes en la zona T. En el resto del rostro conviene utilizar productos no grasos que contengan humectantes.

**Tabla 2.11.** Tipos de Piel y recomendaciones de hidratantes.  
Fuente: Elaboración propia con información de Baran et al., 2009, p. 30-31.

Tanto en aplicaciones médicas como cosméticas, los ingredientes no deben colocarse directamente sobre la piel en su estado químico puro. Éste se mezcla con otros componentes para formar una fórmula efectiva.

Las preparaciones para el cuidado y mantenimiento de la piel, como lo son las cremas, están estructuradas de una cierta manera respecto a su formulación y de acuerdo a Baran et al. (2009), es posible esquematizar de la siguiente forma:

1. Ingrediente(s) activo(s):      Componente principal. Por ejemplo, en una preparación cosmética para retardar el efecto de envejecimiento de la piel, un ingrediente activo podría ser el ácido retinóico.
2. Vehículo o base:                Los ingredientes activos están mezclados con el vehículo para transportarlo a la piel. El vehículo debe garantizar la estabilidad de los ingredientes activos. En muchos casos, el vehículo mismo tiene efectos sobre la piel.
3. Aditivos auxiliares:            Se trata de colorantes, perfumes y conservadores. (p. 14).

Es posible realizar un breve análisis de una formulación para una crema hidratante como la propuesta por Dayan (2017) para revisar las características de la misma (p. 91):

<b>Fase</b>	<b>Ingrediente</b>	<b>% Peso</b>
A	Agua	74.8
	Alcohol cetílico	4.0
	Manteca de mango ( <i>Mangifera indica</i> )	2.0
	Manteca de kokum ( <i>Garcinia indica</i> )	4.0
	Manteca de karité ( <i>Butyrospermum parkii</i> )	4.0
	Dimeticona, 350 cSt	2.0
B	Poliacrilato de sodio (y) Ciclopentasiloxano (y) Trideceth-6 (y) PEG/PPG-18/18 Dimeticona	4.0
C	Glicerina	5.0
	DMDM Hydantoína	0.2

**Tabla 2.12.** Formulación de una crema humectante con silicón.  
Fuente: Dayan, 2017, p. 91.

Para la formulación propuesta, podemos analizarla conforme a la estructura que proponen Baran et al. como esquematizamos anteriormente:

1. Ingrediente activo: Silicón. Según Baran et al. (2009), el silicón es ampliamente usado en cremas hidratantes debido a su capacidad de formar una capa protectora en la piel y mantener la humedad de la misma (p.33). La glicerina es el humectante seleccionado por el formulador.
  
2. Vehículo o base: El vehículo es una crema formulada con mantecas vegetales. Estas mantecas son conocidas por proveer hidratación y protección a la piel, por lo que el vehículo tiene un efecto adicional sobre la misma, además del ingrediente activo. El alcohol cetílico actúa como emulsificante. La mezcla de compuestos de la fase B tiene el nombre comercial de Aculyn® 2051 y es un agente espesante y estabilizador propiedad de la compañía Dow Chemical empleado para formulaciones con algún contenido de silicón.
  
3. Aditivos auxiliares: El compuesto DMDM Hydantoína es el conservador de la formulación.

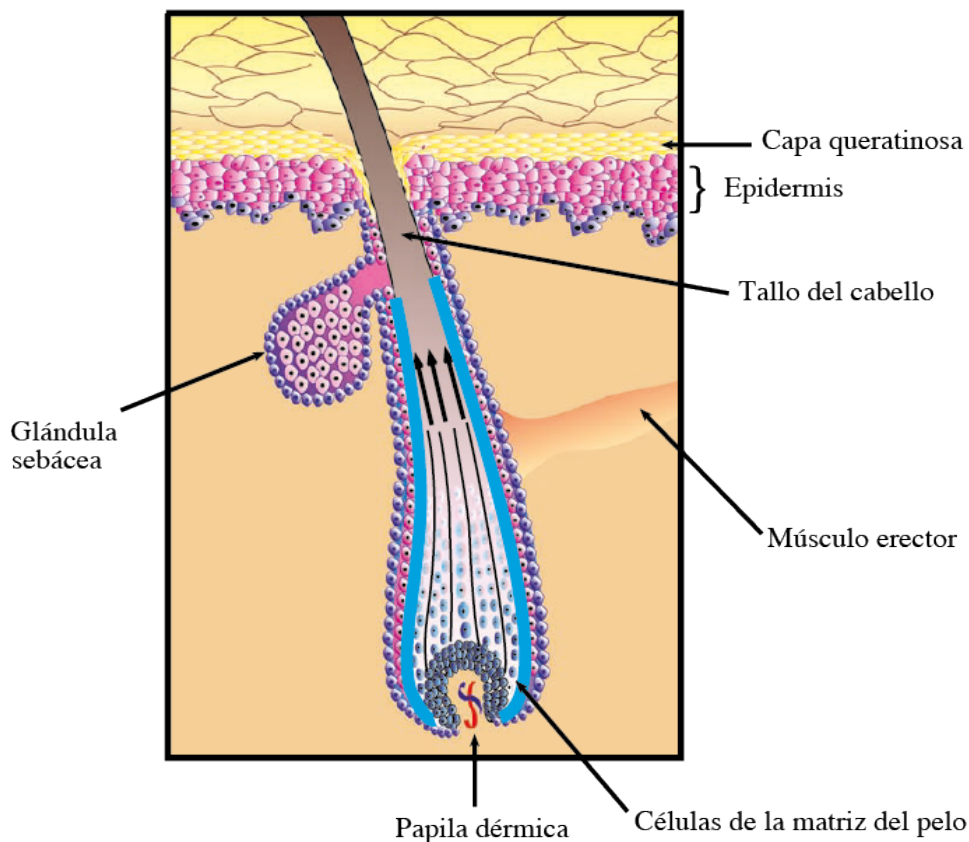
Esta formulación es un ejemplo de una estructura básica para una crema hidratante para el cuerpo. Puede o no sufrir cambios respecto a su estabilidad y sensación al tacto dependiendo de los ingredientes que se empleen ya sea para complementar la funcionalidad de las mantecas y del silicón o para sustituirlas en caso de que no se deseen en la formulación final.

En muchos casos, la decisión de los ingredientes recae principalmente en el costo de los mismos y en el precio que se desea alcanzar en el mercado dependiendo de los objetivos de las empresas, sin embargo, éstos debieran cumplir con la función principal del producto final.

## Shampoos, enjuagues y acondicionadores

### Estructura del pelo

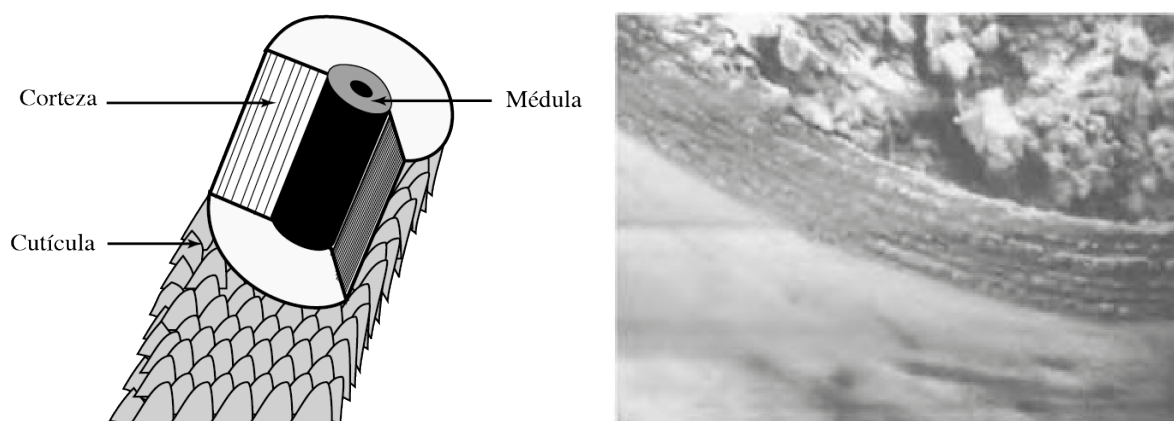
De acuerdo a Baran et al. (2009), el cabello se compone de una sección que emerge desde la dermis y se proyecta sobre la piel, denominada tallo del cabello. Surge de un folículo piloso, una formación tubular en la piel revestida de células. El folículo está asociado con una o más glándulas sebáceas que liberan una sustancia grasa, el sebo. También está conectado a un músculo, el erector del pelo, que cuando se activa hace que el cabello se levante. El extremo inferior del folículo es más amplio y es donde se halla la papila, también llamada papila dérmica o folicular. Esta estructura tiene vasos sanguíneos que alimentan el folículo (p. 222).



**Figura 2.17.** Estructura del pelo. Fuente: Baran et al., 2009, p. 221.

En cuanto a su composición, Draelos (2005) complementa mencionando que el pelo es una entidad no viva compuesta primordialmente de proteínas. En concreto, se conforma de queratina generada a partir de complejos proteicos en forma de hélice ricos en cistina no soluble. Estos complejos, que abarcan entre el 65% y 95% del peso del cabello, son notablemente resistentes a la descomposición y, por eso, se les conoce como queratinas duras, a diferencia de las queratinas más suaves presentes en la piel.

Cada hebra del cabello consiste en varias capas, originadas de células alargadas de queratina densamente unidas que forman una fibra sólida. La parte más gruesa de la hebra es la corteza central, y algunos cabellos también tienen una médula. La corteza se conforma por células alargadas muy juntas, separadas por un pequeño espacio repleto de una sustancia proteica que posiblemente une las células. La fortaleza del cabello proviene de la estructura ordenada de la corteza.



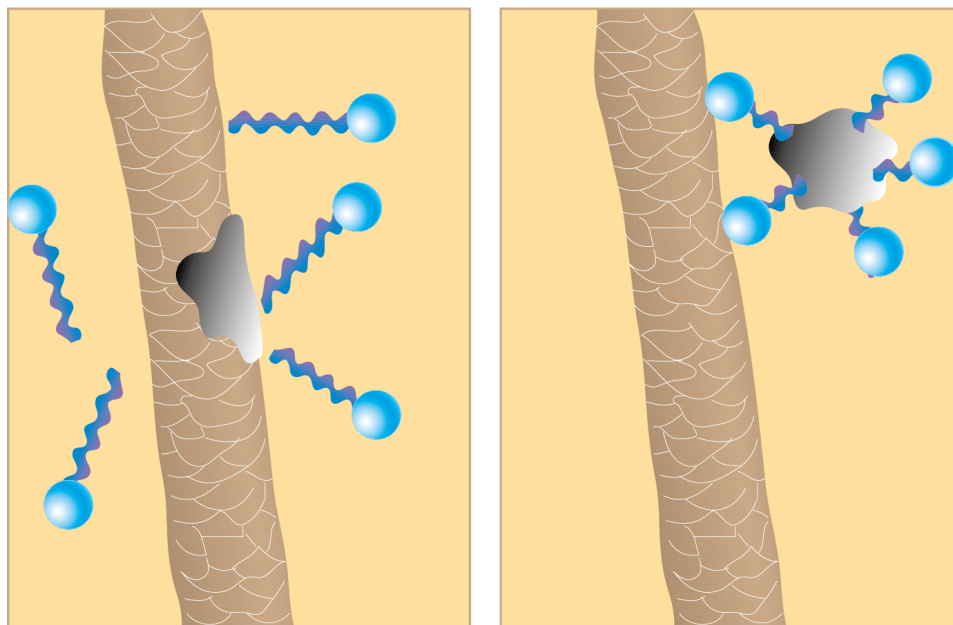
**Figura 2.18.** Izquierda: Diagrama de una hebra de cabello. Derecha: Estructura de la cutícula y la corteza de una hebra de cabello. Fuente: Baran et al., 2009, p. 223 y Draelos, 2005, p.6, respectivamente.

Dentro de la corteza se encuentra la médula, compuesta por una proteína llamada tricohialina. Aunque la función exacta de la médula no se conoce del todo, esta contiene glucógeno y melanosomas. Por último, la corteza está envuelta por una capa protectora formada por láminas de queratina solapadas llamada cutícula, que puede comprender hasta el 10% del peso de la hebra capilar (p. 6-7).

## Funcionalidad de preparaciones cosméticas para el pelo

Sakamoto et al. (2017) informan que los consumidores seleccionan productos de cuidado capilar según las necesidades no cubiertas de su cabello, la experiencia sensorial del producto, y los beneficios deseados. Estos productos contienen materiales funcionales para ofrecer beneficios palpables. Además, se busca que proporcionen estabilidad, una buena estética y una sensación agradable al aplicar, enjuagar o secar el cabello (p. 321).

Baran et al. (2009) ilustran el proceso de lavado del pelo y parte del fenómeno por el cual el sebo producido por las glándulas sebáceas lubrica y da brillo al cuero cabelludo y cabello, pero también atrae polvo y contaminantes. Para limpiar el cabello y cuero cabelludo de estas impurezas y células de queratina desprendidas, es esencial eliminar la capa grasa. Los shampoos, mediante sus tensoactivos, funcionan similar a los jabones para la piel, capturando la grasa y suciedad para ser luego eliminadas con el enjuague. No es recomendado el uso de jabones en el cuero cabelludo debido a que su alto pH puede dañar tanto la piel como el pelo y porque al mezclarse con agua de la ducha, produce sales de calcio que se adhieren a la fibra capilar, provocando un aspecto sucio, falta de brillo y con dificultad para peinar (p. 229-230).



**Figura 2.19.** El principio del shampoo es idéntico al del jabón. Izquierda: Una partícula de mugre sobre una fibra capilar. Derecha: Remoción de la misma por el shampoo. Fuente: Baran et al., 2009, p. 229.

Draelos (2005) define al shampoo como un agente limpiador que se encarga de eliminar el sebo, diferentes tipos de sudor, hongos, células muertas, residuos de productos capilares y polvo del cuero cabelludo y pelo. Aunque su propósito principal es purificar el cuero cabelludo, muchos usuarios sostienen que su fin es realzar la apariencia del cabello. Esta creencia sobre su capacidad de añadir valor estético al cabello ha impulsado la vasta variedad de shampoos disponibles en el mercado hoy en día (p. 25). A continuación se ilustran los componentes de una preparación capilar:

<b>Tipo de ingrediente</b>	<b>Función</b>
Detergente	Remover la suciedad, sebo, productos de estilismo y células muertas del cuero cabelludo.
Espumadores	Proporciona espuma al cabello, aunque la eficacia del lavado no está relacionada con ésta.
Acondicionadores	Dejan el pelo suave y manejable después de la remoción del sebo por los surfactantes.
Espesantes	Proporcionan más cuerpo al shampoo, ya que el consumidor piensa que un shampoo “pesado” tiene más calidad que uno “ligero”.
Opacificantes	Proporcionan al shampoo un aspecto opaco en lugar de translúcido. No tiene efectos sobre la limpieza.
Agentes secuestrantes	Evitan que se formen restos de producto en el cuero cabelludo bajo el efecto del agua dura.
Fragancias	Se añaden para darle al consumidor un olor “aceptable”.
Conservadores	Previenen la formación de bacterias y hongos en la formulación, tanto antes como después de que es abierto su envase.
Aditivos especiales	Ingredientes de tratamiento o de interés mercadológico para impartir algún otro beneficio además de la limpieza.

**Tabla 2.13.** Funcionalidad de ingredientes en formulaciones para shampoos capilares.  
Fuente: Draelos, 2005, p. 29.



Existen diferentes tipos de shampoos, dependiendo de las necesidades del usuario, por lo que pueden ilustrarse mediante la siguiente tabla:

Tipo de shampoo	Características
Para pelo normal	Diseñados para limpiar a fondo el cuero cabelludo y el cabello de personas con una producción moderada de sebo.
Para pelo seco	Ofrecen una limpieza suave y un buen acondicionamiento. Ideales para personas maduras y para quienes desean lavar su cabello diariamente. Reducen la electricidad estática y mejoran la manejabilidad en cabellos finos.
Para pelo dañado	Diseñados para cabellos que han sido tratados químicamente con tintes permanentes, decolorantes, soluciones para permanentes o alisadores o daño mecánico.
Para pelo graso	Limpian eficazmente y tienen mínima acondición. Son ideales para adolescentes con cabello graso o cabello muy sucio. Pueden reseca si se usan diariamente.
Para uso diario	Tienen propiedades limpiadoras mínimas, diseñados para uso frecuente. Se asemejan a los champús para cabello seco.
Para bebé	Son suaves y no irritan los ojos. Adecuados para quienes desean lavar el cabello diariamente o para ciertos problemas oculares.
Para pelo teñido	Neutralizan alcalinidad residual post-teñido y restauran el pH neutral del cabello para una óptima apariencia.
Con acondicionador	Limpian y acondicionan al mismo tiempo. No deben usarse antes de teñir o rizar el cabello.
Medicado	Contienen ingredientes específicos para tratar afecciones del cuero cabelludo y son considerados medicamentos de venta libre.
Étnico	Combinan limpieza y acondicionamiento, específicamente formulados para cabello rizado, aumentando manejabilidad y brillo, y suelen usarse semanalmente.

**Tabla 2.14.** Tipos de shampoos capilares.

Fuente: Elaboración propia con datos de Draelos, 2005, p. 35-40.

Podemos realizar un breve análisis de una formulación para un shampoo con acondicionador como la propuesta por Gerstein (1976), considerando que la invención se trata de un shampoo con propiedades de limpieza y formación de espuma óptimos así como a la vez, de desenredo y acondicionamiento de la fibra capilar (p. 2):

<b>Ingrediente</b>	<b>% Peso</b>
Polymer JR 30M®	1.50
Miranol® C2MSF	11.0
Sandopan® DTC	15.0
Diestearato de etilenglicol	2.00
4-hidroxibenzoato de n-propilo	0.05
Proteína hidrolizada	0.50
Perfume oleoso	0.30
Agua	69.65

**Tabla 2.15.** Formulación de un Shampoo Acondicionador. Fuente: Gerstein, 1976, p. 3.

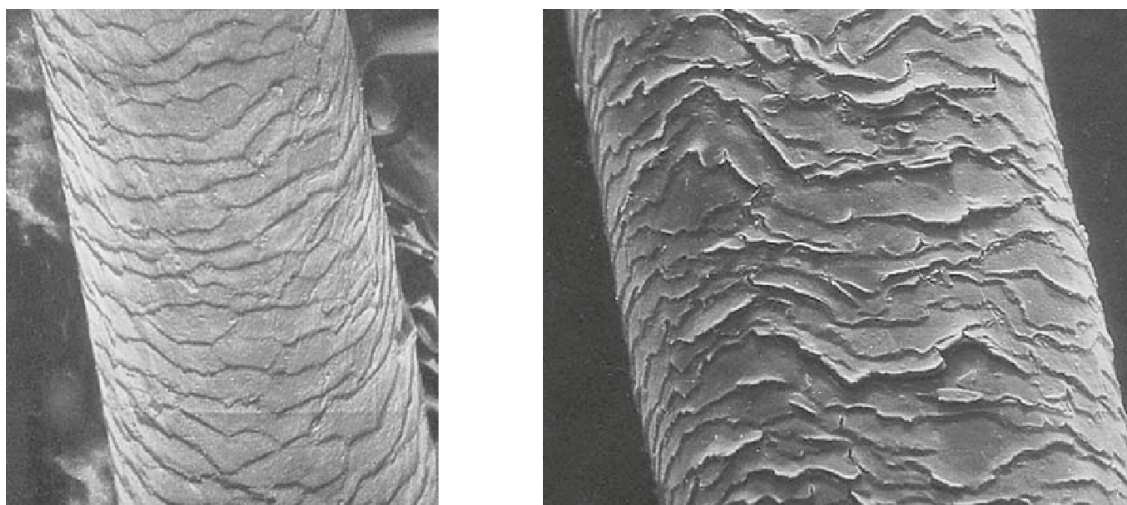
Podemos analizarla de la siguiente manera:

1. Ingredientes activos: Polymer JR 30M® es propiedad de la compañía Dow Chemical y corresponde al compuesto Polyquaternium-10, el cuál proporciona acondicionamiento al pelo, permite formulaciones transparentes y nacaradas y evita la reducción de volumen en el pelo.

Según Sakamoto et al. (2017), las proteínas hidrolizadas tienen propiedades acondicionantes, formando un film en la fibra capilar (p.322) por lo que también puede considerarse como un ingrediente activo en esta formulación.

2. Vehículo o base: El vehículo es una solución coloidal que contiene como tensoactivos principales el Miranol® C2MSF (cocoanfodipropionato de sodio, de tipo anfotérico y formador de espuma) así como Sandopan® DTC (ácido carboxílico trideceth-7, surfactante aniónico ampliamente usado para productos para bebés y que crea sinergia y estabilidad con los tensoactivos anfóteros).
3. Aditivos auxiliares: El diestearato de etilenglicol es un compuesto con diversas propiedades ya que actúa como emoliente y suavizador, agente emulsionante y puede formar productos nacarados. El 4-hidroxibenzoato de n-propilo es el conservador de la formulación. Finalmente, el perfume provee características adecuadas de fragancia al producto final.

A pesar de que en la patente, Gerstein (1976) deja abierto el pH del producto final entre 3 y 8.5, con preferencia entre 6.2 y 6.9 (p. 3), en concordancia con Sakamoto et al. (2017), el pH adecuado sería ácido, debido a que la acidez mejora la eliminación de suciedad y evita la acumulación del producto en el cuero cabelludo (p. 322).



**Figura 2.20.** Tallo del cabello bajo microscopio electrónico de barrido. Izquierda: Normal. Derecha: Con signos tempranos de daño (cutícula abierta). Fuente: Baran et al., 2009, p. 237.

## 2.3. Características del PET y PEAD como envases

De acuerdo a Billmeyer (1975) un *polímero* es una gran molécula construida por la repetición de unidades químicas más simples. Estas repeticiones pueden ser lineales o ramificadas. La unidad repetitiva del polímero generalmente es el monómero o el material de partida que lo conforma principalmente (p. 3).

Existen polímeros naturales y sintéticos; en este trabajo nos enfocaremos en los segundos y particularmente en los polímeros comerciales tereftalato de polietileno y polietileno de alta densidad, por su amplio uso como envases en la industria cosmética.

Sun (2004) clasifica a los polímeros sintéticos de la siguiente forma (p.7):

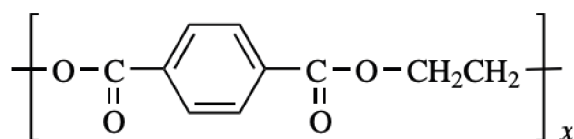
<b>Clasificación</b>	<b>Tipo</b>	<b>Ejemplos</b>
Plásticos	Resinas termoestables	Resinas de urea, epóxidos
	Resinas termoplásticas	Polietileno, poliestireno, polipropileno
Fibras sintéticas	Celulósicas	Rayón y acetato
	No celulósicas	Poliéster, nylon
Caucho sintético	-	Copolímero de estireno-butadieno, polibutadieno, copolímero de etileno-propileno

**Tabla 2.16.** Clasificación de los polímeros sintéticos. Fuente: Sun (2004).

Igualmente, pueden clasificarse respecto a su método de preparación: por condensación y por adición. Los polímeros de condensación (o de reacción por etapas) se generan a través de una reacción entre dos moléculas polifuncionales, donde se elimina una molécula pequeña, como el agua. En contraste, los polímeros de adición (o de reacción en cadena) se originan en una reacción en cadena de monómeros que poseen enlaces dobles (p. 4).

## Tereftalato de Polietileno (PET)

El tereftalato de polietileno o poli(etilén tereftalato) fue patentado en forma de fibra por John Rex Whinfield y James Tennant Dickson en 1941. Es un polímero semicristalino proveniente de la familia de los poliésteres y se obtiene por policondensación de bis-hidroxilo tereftalato de etileno (BHET) (López, 2014, p. 3).



**Figura 2.21.** Unidad repetitiva del tereftalato de polietileno

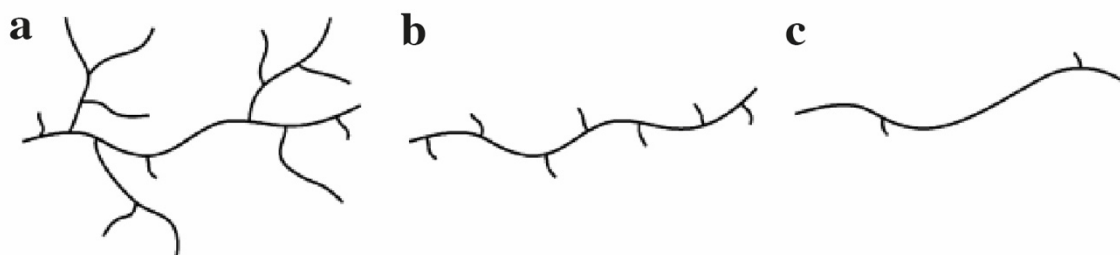
El tereftalato de polietileno existe como termoplástico amorfo (transparente) y semicristalino (opaco y blanco). De acuerdo a Ji (2013), en general, tiene buena resistencia a los aceites minerales, solventes y ácidos pero no a las bases. El PET semicristalino tiene buena resistencia, ductilidad, rigidez y dureza mientras que el PET amorfo tiene mejor ductilidad. El PET también tiene una buena capacidad de procesamiento y puede reciclarse para otras aplicaciones (p. 409).

Nisticò (2020), menciona que el PET es usado extensivamente debido que presenta muy baja permeabilidad contra muchos gases (como el oxígeno, nitrógeno e hidrógeno), además de conservar los alimentos y las bebidas sensibles a la oxidación, la cuál altera las características organolépticas del producto. Adicionalmente, presenta buenas propiedades contra compuestos orgánicos aromáticos y dióxido de carbono (p. 5).

Desde la disminución de los costos de producción de PET, a mediados de la década de 1990, su uso se ha extendido a otros sectores de productos de consumo masivo como envases de comida para microondas, licores, vino y productos no alimentarios como cosméticos y detergentes (Selke y Hernández, 2001, p. 2).

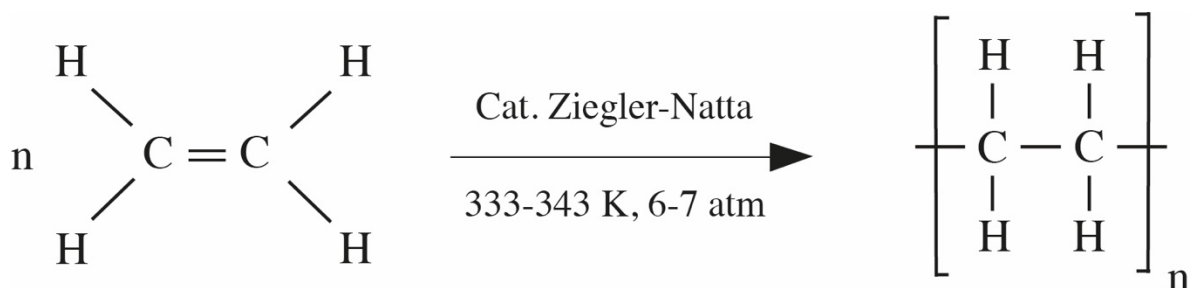
## Polietileno de Alta Densidad (PEAD)

El polietileno fue creado en 1898 por Hans von Pechmann, pero su método usaba diazometano, un gas peligroso, lo que lo hizo comercialmente inviable. Fue accidentalmente obtenido por Eric Fawcett y Reginald Gibson en 1933, haciendo reaccionar etileno y benzaldehído a 3,000 atm, produciendo polietileno de baja densidad (PEBD) altamente ramificado (Sepe, 2022). Se obtiene por la reacción de adición polimérica.



**Figura 2.22.** Esquemas de las estructuras moleculares de (a) PEBD, (b) PELBD y (c) PEAD

Un tipo de polietileno lineal de baja densidad (PELBD) se produjo en la década de 1950 gracias a nuevos catalizadores introducidos al mercado, que permitían obtenerlo a una menor presión, destacando el “catalizador Phillips” realizado por J. Paul Hogan y Robert Banks. Posteriormente, en 1953, el polietileno de alta densidad logró realizarse a mucho menores presiones y temperaturas gracias a un nuevo sistema de catálisis introducido por Karl Ziegler y Giulio Natta (Okamura, 2014, p. 2).



**Figura 2.23.** Obtención de PEAD a partir de etileno y el proceso Ziegler-Natta.

De acuerdo a Selke y Hernández (2001), el PEAD, usado extensamente en la fabricación de botellas y otros envases, destaca por su flexibilidad, resistencia y ligereza, lo que reduce costos; sin embargo, es inadecuado para ciertos alimentos y refrescos porque el oxígeno y el dióxido de carbono pueden penetrar fácilmente a través de él. Además, permite la penetración de hidrocarburos, algunos solventes orgánicos y aceites esenciales. Entre sus aplicaciones se destaca como material para envase de productos farmacéuticos, cosméticos, artículos de tocador, productos automotrices y químicos industriales (p. 1).



**Figura 2.24.** Aspecto de Envases Comerciales. Izquierda: Botellas de PET con aspecto transparente. Derecha: Envases de PEAD con su aspecto blanco y opaco.

Algunas propiedades físicas de ambos polímeros:

Propiedad	PET	PEAD
Densidad ( $\text{g/cm}^3$ )	1.38 - 1.56	0.96
Capacidad Calorífica Específica ( $\text{J/kg K}$ )	1,000 - 1,350	1.33
Conductividad Térmica ( $\text{W/mK}$ , $23^\circ\text{C}$ )	0.15 - 0.40	0.45
Mw ( $\text{g/mol}$ )	30,000 - 80,000	150,000
Mn ( $\text{g/mol}$ )	8,775	14,600
PDI ( $\text{Mw/Mn}$ )	3.5 - 3.7	10.3
Flamabilidad	Autoextinguible	No disponible
Absorción de agua (% , después de 24h)	0.3 - 0.5	< 0.4

**Tabla 2.17.** Propiedades físicas del PET y el PEAD. Fuente: Olam (2023), p. 4-6.

## Conservación de cosméticos en envases de plástico

Los envases para productos cosméticos, guardando similitud a otras industrias, tienen como función principal contener, encerrar y proteger el producto para garantizar su *calidad*<sup>5</sup> al consumidor. Las características de los recipientes deben asegurar la preservación del contenido, impidiendo cualquier tipo de contaminación.

En el artículo 210 del Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios (Secretaría de Salud, 1999, p. 59-60), referido a Envases y Envasado de Productos, se especifica que los envases que se utilicen para envasar los alimentos, bebidas no alcohólicas, bebidas alcohólicas y productos de perfumería y belleza, deberán ser inactivos respecto al contenido, no ser tóxicos y no alterar la acidez o alcalinidad del producto.

Según Selke y Culter (2005), los envases poliméricos son mucho menos inertes que los de metal y de vidrio, y ciertamente son permeables a los gases. El intercambio de sustancias entre el contenido y el envase, junto con la capacidad del material plástico para transmitir sustancias entre el medio ambiente y el interior, suelen ser determinantes significativos de la vida útil de un producto y de su calidad debido a cualquier posible contaminación (p. 353).

Para Halla et al. (2018), los envases poliméricos han sido un efectivo medio para conservación de los productos cosméticos como parte de una estrategia general por parte de los fabricantes. Existen dos niveles de protección que brindan los envases primarios y son la protección contra la contaminación durante el uso del producto y protección contra la acumulación de contaminación en el sistema de dosificación del producto.

Los productos destinados al uso bajo la regadera, como son los shampoos, tienen mayor tendencia a contaminarse debido a la presencia de agua y oxígeno del aire, sin embargo, se ha demostrado que si el empaque contiene orificios muy pequeños, se reduce la probabilidad de contaminación; además del uso de conservadores adecuados (p. 7).

---

<sup>5</sup> Calidad: Es el grado en el que un conjunto de características inherentes a un objeto (producto, servicio, proceso, persona, organización, sistema o recurso) cumple con los requisitos (ISO 9000, 2015).



## 2.4. Antecedentes

### **Análisis del consumo nacional**

En la siguiente sección, el objetivo es entender la cantidad de envases de plástico que se requieren para soportar el consumo nacional de los productos seleccionados. Al analizar estos datos, obtendremos una visión más clara de la demanda de envases de plástico en la industria cosmética. Esta información es fundamental para promover alternativas más sostenibles en el uso de materiales de empaque y del diseño de productos.

El sector consumo de cuidado personal en el país es bastante amplio en términos de oferta y de demanda de los bienes. Este sector puede estudiarse gracias a los datos que provienen de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (EMIM) que proporciona el Banco de Información Económica (BIE) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Este sector forma parte de la industria química y está representado por la clave 325620 de la clase “Preparación de cosméticos, perfumes y otras preparaciones de tocador”, de la cuál, podemos obtener las siguientes subclases:

- Perfumes, lociones y similares
- Cosméticos para el cabello
- Cosméticos para maquillaje
- Desodorantes y antitranspirantes
- Otros cosméticos y productos de tocador

Ya que la última subclase contiene *jabón de tocador*<sup>6</sup>, que no es objeto de este estudio, no se considerará en la información de esta tesis.

---

<sup>6</sup> Jabón de tocador: Un jabón resulta de la reacción de saponificación entre un álcali y sebo; un “jabón de tocador” es, comercialmente, aquel que generalmente se usa para la higiene de las manos.

## Producción nacional

El volumen producido de la clase “Preparación de cosméticos, perfumes y otras preparaciones de tocador” a excepción de la subclase “Otros cosméticos y productos de tocador” es el siguiente, para los últimos 5 años:

Periodo	Producción (Toneladas)
2022	2,062,894
2021	1,966,154
2020	1,782,417
2019	1,799,278
2018	1,763,858

**Tabla 2.18.** Volumen de Producción Nacional de Cosméticos, perfumes y otras preparaciones de tocador. Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera 2018-2022. (INEGI, 2023)

En la clase considerada, hay una variedad de subclases de productos que no dependen exclusivamente de los envases fabricados con plástico. Un claro ejemplo son los perfumes, que a menudo se envasan en recipientes de vidrio, y los desodorantes en aerosol, que comúnmente están contenidos en latas de aluminio con válvulas de plástico para la liberación del producto.

No obstante, este estudio está orientado hacia aquellos productos cuyo envase primario se basa primordialmente en los plásticos ya considerados, ya que éstos contribuyen significativamente a la contaminación ambiental.

En consecuencia, será conveniente separar del cálculo aquellos productos como perfumes, lociones, maquillajes y aerosoles que utilizan otros materiales para su empaque primario, ya que a pesar de que puedan contener elementos de plástico, su impacto es menor respecto a la problemática que se está investigando.

Con estas consideraciones, podemos reorganizar la información proveniente de las subclases y crear tres grupos de productos:

Grupo A	Cremas y leches de tocador para manos y cuerpo
Grupo B	Shampoos, enjuagues y acondicionadores
Grupo C	Cremas y leches de tocador incluidas las mascarillas faciales, lociones, perfumes, tintes, fijadores, bases y polvos, lápices labiales, sombras para párpados y desodorantes

Gracias a los datos obtenidos de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera, es posible organizar la información por grupos y obtener los siguientes datos del volumen de producción en México:

Periodo	Grupo A	Grupo B	Grupo C
	Toneladas	Toneladas	Toneladas
2022	250,788	556,937	1,255,169
2021	195,962	566,658	1,203,534
2020	168,642	531,933	1,081,842
2019	178,592	528,267	1,092,419
2018	194,117	542,166	1,027,575
<b>Totales</b>	<b>988,101</b>	<b>2,725,961</b>	<b>5,660,539</b>

**Tabla 2.19.** Volumen de Producción Nacional de Cosméticos, perfumes y otras preparaciones de tocador dividida en grupos de productos. Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera 2018-2022. (INEGI, 2023)

Como es posible observar en los datos de la Tabla 2.19., la producción por grupo ha sido constante a lo largo de los últimos 5 años. Con los totales por grupo podemos generalizar y calcular que del total producido durante el último lustro (9,374,601 toneladas) el 10.51% corresponde al Grupo A, 29.08% al Grupo B y 60.38% al Grupo C.

## Índice de Consumo Aparente

Los porcentajes anteriores por grupo implican que es considerable el volumen de producción para los segmentos “Cremas y leches de tocador para manos y cuerpo” y “Shampoos, enjuagues y acondicionadores”, que suman el 30.59% de la fabricación nacional. Sin embargo, también debemos conocer cuál es el Índice de Consumo Aparente <sup>7</sup> (I.C.A.) de estos productos para saber la cantidad que circula en el país. Respecto al comercio exterior, estos productos están dispuestos de la siguiente forma conforme a la clasificación arancelaria:

### Grupo A: Cremas y leches de tocador para manos y cuerpo

Sección:	VI	Productos de las industrias químicas o de las industrias conexas
Capítulo:	33	Aceites esenciales y resinoides; preparaciones de perfumería, de tocador o de cosmética.
Partida:	3304	Preparaciones de belleza, maquillaje y para el cuidado de la piel, excepto los medicamentos, incluidas las preparaciones antisolares y las bronceadoras; preparaciones para manicuras o pedicuros.
Subpartida:	330499	Las demás
Fracción:	33049901	Leches cutáneas

Fuente: Elaboración propia con datos del Cubo de Información de Comercio Exterior. (BANXICO, 2023)

### Grupo B: Shampoos, enjuagues y acondicionadores

Sección:	VI	Productos de las industrias químicas o de las industrias conexas
Capítulo:	33	Aceites esenciales y resinoides; preparaciones de perfumería, de tocador o de cosmética.
Partida:	3305	Preparaciones capilares
Subpartida:	330510	Shampoos
Fracción:	33051001	Shampoos

Fuente: Elaboración propia con datos del Cubo de Información de Comercio Exterior. (BANXICO, 2023)

<sup>7</sup> Índice de Consumo Aparente: Se calcula sumando la producción nacional y las importaciones, y luego restando las exportaciones del resultado. Representa la cantidad total de un bien que es utilizada en un país.

A continuación, se presentan los datos de encontrados para ambos grupos en el Cubo de Información de Comercio Exterior del Banco Nacional de México (BANXICO, 2023), respecto a sus correspondientes fracciones, para los últimos 5 años, en toneladas:

**Grupo A: Volumen de la Producción, de las Importaciones, de las Exportaciones e Índice de Consumo Aparente**

<b>Periodo</b>	<b>Producción</b>	<b>Importaciones</b>	<b>Exportaciones</b>	<b>I.C.A.</b>
2022	250,788	879	1,432	250,235
2021	195,962	558	1,462	195,058
2020	168,642	514	1,584	167,572
2019	178,592	2,453	1,843	179,202
2018	194,117	707	1,373	193,451

**Tabla 2.20.** Volumen de Producción, de las Importaciones, de las Exportaciones e Índice de Consumo Aparente para Cremas y Leches de Tocador para Manos y Cuerpo. Toneladas. Fuente: Elaboración propia con datos del Cubo de Información de Comercio Exterior - Volumen. (BANXICO, 2023)

**Grupo B: Volumen de la Producción, de las Importaciones, de las Exportaciones e Índice de Consumo Aparente**

<b>Periodo</b>	<b>Producción</b>	<b>Importaciones</b>	<b>Exportaciones</b>	<b>I.C.A.</b>
2022	556,937	57,440	103,462	510,915
2021	566,658	30,020	90,439	506,239
2020	531,933	8,037	38,794	501,176
2019	528,267	9,784	42,937	495,114
2018	542,166	8,941	92,143	458,964

**Tabla 2.21.** Volumen de Producción, de las Importaciones, de las Exportaciones e Índice de Consumo Aparente para Shampoos, Acondicionadores y Enjuagues. Toneladas. Fuente: Elaboración propia con datos del Cubo de Información de Comercio Exterior - Volumen. (BANXICO, 2023)

Ahora contamos con suficiente información para comprender el volumen de productos presentes en el mercado mexicano que contribuyen al consumo. El siguiente paso es identificar una muestra representativa de productos para analizar los tipos de envases que se están empleando comercialmente.

## Productos representativos en el mercado

Bianchi (2023) señala que hasta marzo de 2023, Google sigue siendo el motor de búsqueda en internet más usado con un 85.53% de participación contra otros motores como Bing y Yahoo!, con 8.23% y 2.44% de participación, respectivamente.

Siendo el motor de búsqueda más usado en el mundo, independientemente de la información que muestre en sus búsquedas (la cuál debe ser validada en cuanto a su veracidad), registra las tendencias de consumo gracias a su aplicación Google Trends. Gracias a estas tendencias de consumo es posible encontrar de forma general los productos que busca la población para una determinada categoría.

Para conocer las principales marcas que busca la población en internet, se usará la palabra clave “crema corporal” para el Grupo A y “shampoo” para el Grupo B.

La siguiente segmentación será utilizada en los filtros de Google Trends:

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
País	México
Período	Los últimos 5 años
Industria	Belleza y Estado Físico
Tipo de búsqueda	Búsqueda web

Parámetros de Búsqueda para grupos A y B en la herramienta Google Trends.

Las siguientes consideraciones serán empleadas respecto a los resultados de la búsqueda:

- Se tomarán los resultados desde el mayor hasta el menor en relevancia, siendo 25 resultados los que se obtienen en la búsqueda con esta herramienta.
- Se ignorarán combinaciones de palabras clave y marcas que estén repetidas.
- Se ignorarán productos o marcas que no correspondan específicamente a la búsqueda de la palabra clave definida para cada grupo.

Grupo A – Marcas más buscadas en Google y su fabricante:

<b>Producto Encontrado</b>	<b>Fabricante</b>
Crema Corporal Cerave®	Cerave
Crema Hidratante Nivea®	Beiersdorf AG
Crema Corporal Grisi®	Grisi
Crema Natura®	Natura
Crema Corporal St Ives®	Unilever
Crema Corporal Dove®	Unilever

**Tabla 2.22.** Productos y marcas más buscados por la población en el motor de búsqueda de Google.  
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la herramienta Google Trends (Google, 2023)

Grupo B – Marcas más buscadas en Google y su fabricante:

<b>Producto Encontrado</b>	<b>Fabricante</b>
Shampoo Olaplex®	Olaplex
Shampoo Anne Rothshield®	4e Global
Shampoo Vanart®	GenommaLab
Shampoo Fructis®	L'Oréal
Shampoo Folicure®	Unilever
Shampoo Honey Keeper®	4e Global

**Tabla 2.23.** Productos y marcas más buscados por la población en el motor de búsqueda de Google.  
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la herramienta Google Trends (Google, 2023)

Como se mencionó anteriormente, esta herramienta funciona para conocer tendencias de consumo y la información resultante de las búsquedas debe ser validada respecto a su veracidad.

Un estudio con objetivos comerciales o de factibilidad económica para la introducción de una nueva marca al mercado, debería considerar otras fuentes de información comercial como los reportes de tendencias del consumidor de Euromonitor o de AC Nielsen o hacer un estudio de campo exhaustivo. Este tipo de estudio excede los objetivos de esta tesis, en la cuál, el enfoque es conocer el tipo de envase de una muestra representativa de marcas y productos que se comercializan en el mercado.

## Tipo de plástico empleado como envase primario

Gracias a la información obtenida, es posible encontrar en internet imágenes de cada producto y del tipo de envase primario con el que se comercializa en el mercado. Podemos ilustrar algunos a continuación:



Crema Corporal St. Ives®  
Unilever



Crema Corporal Dove®  
Unilever



Crema Corporal Nivea®  
Beiersdorf AG



Shampoo Fructis®  
L'Oréal



Shampoo Vanart®  
GenommaLab



Shampoo HoneyKeeper®  
4e Global

Es posible notar que todos los productos cuentan con envase de plástico y en algunos casos, dosificadores (también llamados “sillas de montar”). La mayoría de estos envases están compuestos de polietileno de alta densidad (PEAD) y de tereftalato de polietileno (PET).



Podemos hacer un cuadro con información de los materiales observados para cada categoría de productos:

Grupo	Producto Encontrado	Tipo de Envase	Material del Envase
A	Crema Corporal Cerave®	Botella, tarro, tubo depresible	PEAD
	Crema Hidratante Nivea®	Botella	PEAD
	Crema Corporal Grisi®	Botella	PET
	Crema Corporal Natura®	Botella	PEAD
	Crema Corporal St Ives®	Botella	PEAD
	Crema Corporal Dove®	Botella	PEAD
B	Shampoo Olaplex®	Botella	PEAD
	Shampoo Anne Rothshield®	Botella	PEAD
	Shampoo Vanart®	Botella	PEAD
	Shampoo Fructis®	Botella	PEAD
	Shampoo Folicure®	Botella	PEAD
	Shampoo Honey Keeper®	Botella	PET

**Tabla 2.24.** Tipo y Material de Envase de cada grupo de productos. Fuente: Elaboración propia basado en las imágenes de los productos en diversos sitios de comercio electrónico.

Es notable que el material más empleado como envase primario es el PEAD. Tanto para el Grupo A como para el B, el PET representa el 16.66% y el PEAD, el 83.34% restante. Empleando la información de las Tablas 2.20. y 2.21., podemos sumar las cantidades del índice de consumo aparente para ambos grupos y conocer la cantidad de PET y de PEAD presente en el mercado de consumo mexicano con los porcentajes obtenidos de la Tabla 2.24.:

Periodo	I.C.A. Grupo A + Grupo B	PET (16.66%)	PEAD (83.34%)
2022	761,150	126,808	634,342
2021	701,297	116,836	584,461
2020	668,748	111,413	557,335
2019	674,316	112,341	561,975
2018	652,415	108,692	543,723

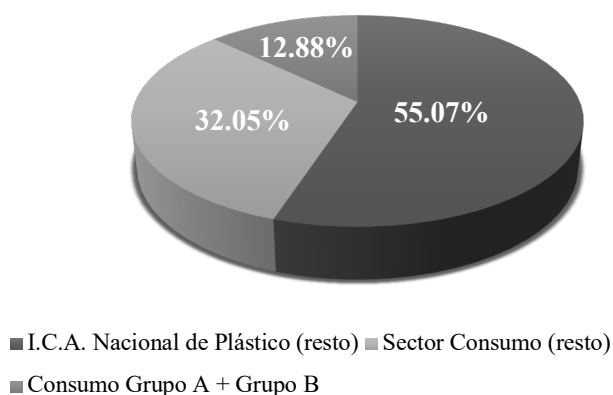
**Tabla 2.25.** Porcentaje de Distribución de PET y PEAD del Índice de Consumo Aparente de los grupos A y B combinados. Cantidades en toneladas.

## 2.5. Análisis de la problemática ambiental

Durante 2022, México registró un índice de consumo aparente de plásticos de 5.9 millones de toneladas. De acuerdo con Aldimir Torres, presidente de la Asociación Nacional de Industrias del Plástico, A.C. (ANIPAC), el segmento comercial de bienes de consumo representa 45% del total de plásticos consumidos (Ortega, 2022). Esto quiere decir que en México se consumen 2.65 millones de toneladas anuales de plástico en dicho sector.

Como se indicó anteriormente en la Tabla 2.25., las cantidades del índice de consumo aparente de los grupos A y B se combinaron para cada año. Para 2022, la suma de estos grupos alcanza las 761,150 toneladas, equivalentes a 0.76 millones de toneladas, dejando un remanente de 1.89 millones de toneladas destinadas al resto del sector de bienes de consumo. Por lo tanto, en términos del porcentaje de distribución con respecto al índice total de consumo aparente de plástico en el país, el 12.88% corresponde al plástico utilizado en la comercialización de los grupos A y B, el 32.05% se destina al resto del sector de bienes de consumo y el 55.07% se emplea en otras industrias.

**Distribución del Consumo de Plástico**



**Figura 2.25.** Distribución del Consumo de Plástico en México.

Después de que los productos se comercializan y los consumidores los utilizan, los envases de plástico emprenden un recorrido que requiere análisis. Para entender este camino, es necesario revisar la información disponible sobre los residuos generados por la población.

## **Residuos Sólidos Urbanos: Definición y características**

La definición de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), contenida en la fracción XXXIII del Artículo 5 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), establece que son:

*Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como resultados de otra índole. (SEMARNAT, 2020, p.11)*

Es importante señalar que esta definición, proviene originalmente de la Norma Mexicana NMX-AA-091-1987 “Calidad del Suelo: Terminología” específicamente de la definición 3.45 “Residuo sólido municipal”:

*Aquellos que se generan en casas habitación, parques, jardines, vía pública, oficinas, sitios de reunión, mercados, comercios, bienes muebles, demoliciones, construcciones, instituciones, establecimientos de servicios y en general todos aquellos generados en actividades municipales que no requieran técnicas especiales para su control, excepto los peligrosos y potencialmente peligrosos de hospitales, clínicas, laboratorios y centros de investigación. (SECOFI, 1987, p.7).*

Es posible notar algunas diferencias en la definición, ya que la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, publicada originalmente el 8 de octubre de 2003 y reformada el 22 de mayo de 2015, es más específica en la fracción XXXIII que la definición de la norma mexicana, debido a que emplea el término “características domiciliarias”.

El Artículo 18 de la LGPGIR establece que los residuos sólidos urbanos deberán subclasificarse en orgánicos e inorgánicos. La NMX-AA-22-1985 (SECOFI, 1985) contiene la información requerida y podemos categorizar:

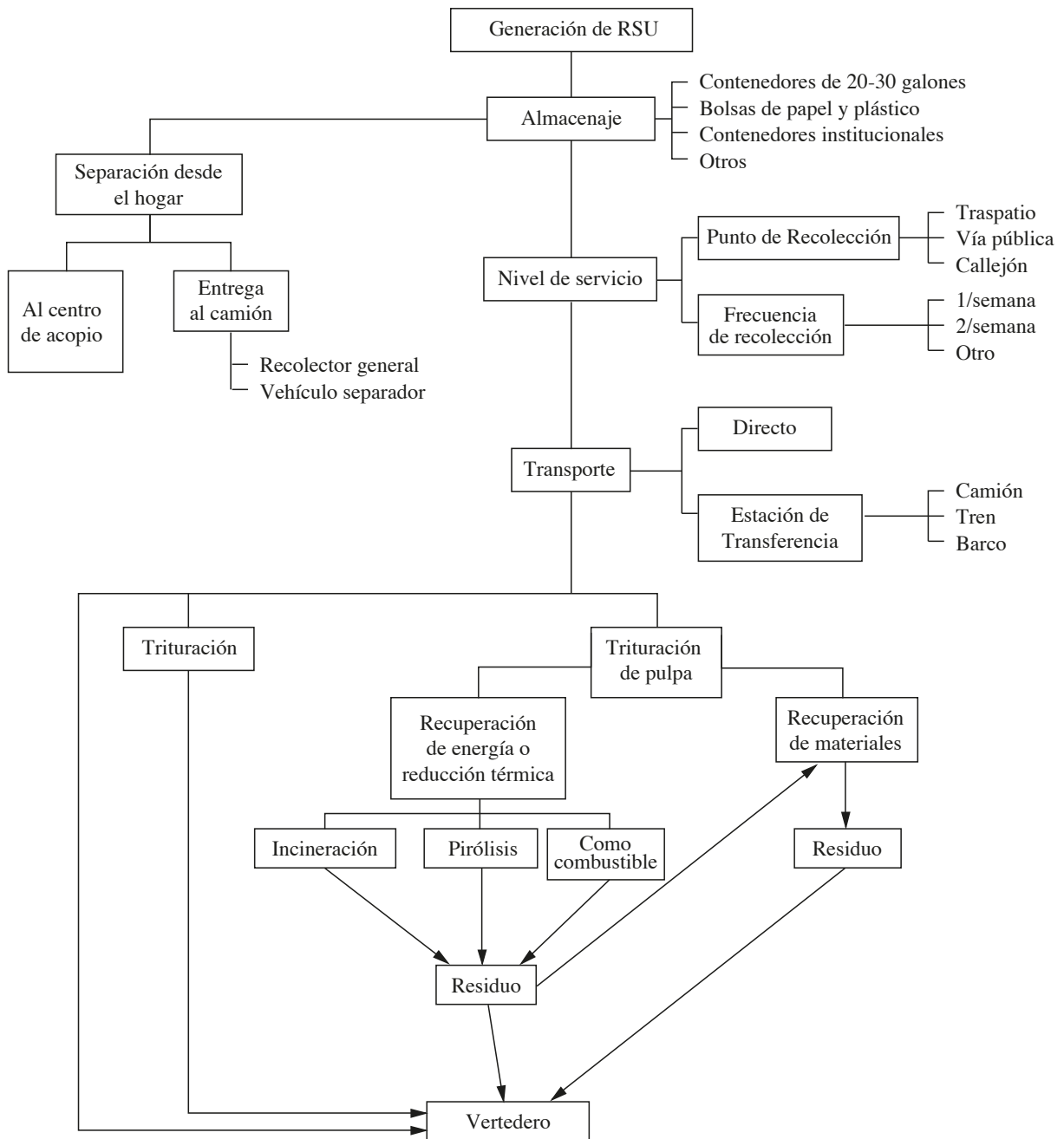
<b>Categoría</b>	<b>Subproducto</b>	<b>%</b>
<b>Susceptibles de aprovechamiento: 31.55%</b>	Cartón	4.55
	Envase de cartón encerado	1.51
	Fibras sintéticas	0.34
	Hule	0.54
	Lata	0.98
	Material ferroso	0.88
	Material no ferroso	0.57
	Papel	5.07
	PET	2.63
	Plástico <sup>8</sup>	7.66
	Poliestireno expandido	1.55
	Poliuretano	0.55
	Vidrio de color	1.6
	Vidrio transparente	3.13
<b>Orgánicos: 46.42%</b>	Cuero	0.46
	Fibra dura vegetal	0.73
	Hueso	0.52
	Madera	0.79
	Residuos alimentarios	33.07
	Residuos de jardinería	10.84
<b>Otros: 22.03%</b>	Algodón	0.15
	Loza y cerámica	0.46
	Material de construcción	0.7
	Pañal desechable	6.75
	Residuo fino	2.25
	Trapo	2.82
	Otros	8.9
<b>TOTAL</b>		<b>100</b>

**Tabla 2.26.** Composición Porcentual Promedio de los RSU. Elaboración propia con datos del Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, (SEMARNAT, 2020).

<sup>8</sup> La clasificación oficial menciona “Plástico rígido y de película”, sin embargo, aparece como “Plástico” en la mayoría de los informes relacionados, por lo que se usará la denominación “Plástico”.

## Manejo y gestión de los residuos sólidos urbanos

Mackenzie, L. Davis (2013) considera que las decisiones en la gestión y manejo de los residuos sólidos urbanos debe enfocarse en 4 áreas: recolección, transporte, procesamiento y disposición final (p. 791). A su vez, propone el siguiente esquema de decisiones:



**Figura 2.26.** Manejo y Gestión de Residuos Sólidos Urbanos.  
Fuente: Mackenzie, L. Davis (2013)

## Recolección

La recolección de residuos puede realizarse de diferentes formas, aunque en México, es más usual que los ciudadanos entreguen su basura al personal de recolección que pasa en camiones. Igualmente, cuando se trata de condominios, el personal también puede acceder a la zona de almacenamiento de basura de cada edificio, en donde normalmente se almacena en bolsas dentro de contenedores institucionales.

Mackenzie (2013) considera que un factor primordial para una buena práctica de recolección es que los camiones cuenten con un sistema de separación/compactación de residuos, ya que permite desde el inicio ahorrar costos al evitar el paso de los camiones a las estaciones de transferencia<sup>9</sup>. Asimismo, la participación ciudadana activa respecto a la separación de residuos desde casa, permite que se reduzcan costos. (p. 793).

Según el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021, en México se recolectan 106,523 miles de toneladas de RSU al día (INEGI, 2021), de las cuáles, el 2.63% corresponde a PET (2,801 ton/día) y el 7.66% a plástico (8,160 ton/día) (SEMARNAT, 2020, p.23).

En el mismo estudio, SEMARNAT (2020) asegura que el promedio de cobertura nacional de recolección de RSU es del 83.87%, esto implica que existen 20,487 ton/día (el 16.13%) que no son recolectados por los vehículos recolectores. Siendo 2.63% correspondiente a PET y 7.66% a plástico:

Nivel	PET recolectado (ton/día)	Plástico recolectado (ton/día)	PET sin recolectar (ton/día)	Plástico sin recolectar (ton/día)
Nacional	2,801	8,160	539	1,569

**Tabla 2.27.** Recolección de PET y Plástico. Elaboración propia con datos del Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, (SEMARNAT, 2020).

<sup>9</sup> Estación de Transferencia: Unidad para verter los RSU en unidades más grandes, posible separación y almacenaje temporal de RSU.

Cabe destacar que aunque durante la operación de recolección no se recupera todo el plástico, existen otros lugares en donde se recibe para su aprovechamiento<sup>10</sup> y son llamados *centros de acopio*.

De acuerdo con el informe de SEMARNAT (2020), los centros de acopio en el interior del país reciben 8.52 ton/día de PET y 3.94 ton/día de plástico (p.50). Para la Ciudad de México, los datos suministrados por SEDEMA (2020) indican que los centros de acopio registrados en el Plan de Manejo de Residuos de Competencia Local No Sujetos a Licencia Ambiental Única (PMNSLAU-CDMX), clasificados como Tipo 2, recogen diferentes tipos de residuos, incluidos los plásticos (p. 160).

Asimismo, SEDEMA (2020) informa que estos proveedores de servicios de acopio reciben 1,905 ton/día de RSU, de las cuales, 10.97 ton/día corresponden a plásticos de tipo no especificado (p. 163). Sin embargo, si utilizamos la relación PET:Plástico de la Composición Porcentual Promedio de RSU (Tabla 2.26.), el PET representaría el 25.55% y el plástico el 74.44%, por lo que podríamos inferir que estos proveedores estarían recibiendo 2.80 ton/día de PET y 8.16 ton/día de plástico, respectivamente (véase Apéndice A).

Entonces, podemos obtener las siguientes cifras considerando las cantidades acopiadas tanto en el interior del país como en la Ciudad de México:

<b>Nivel</b>	<b>Aprovechamiento de PET en centros de acopio oficiales (ton/día)</b>	<b>Aprovechamiento de plástico en centros de acopio oficiales (ton/día)</b>
Nacional	11.32	12.10

**Tabla 2.28.** PET y plástico que se aprovechan en Centros de Acopio. Elaboración propia con datos del Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos y el Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México, (SEMARNAT, 2020).

<sup>10</sup> Aprovechamiento: En este contexto, se refiere al beneficio económico obtenido de reciclar un material.

ECOCE, A.C. es una organización sin fines de lucro formada por 27 grupos empresariales de la industria de bebidas y alimentos. Esta entidad se encarga de la gestión de residuos de envases y empaques post-consumo generados por sus miembros. Tras lograr un notable éxito en la promoción del acopio y reciclaje de PET en México, la organización amplió sus operaciones en 2015 para incluir otros materiales utilizados en la fabricación de envases y empaques. Entre estos se encuentran el polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad, polipropileno, aluminio, hojalata de acero y el cartón laminado, comúnmente conocido como Tetra Pak. Esta organización cuenta con diversos programas de acopio (Treviño, 2019) los cuáles son:

<b>Programa</b>	<b>PET acopiado (ton/día)</b>	<b>Plástico acopiado (ton/día)</b>
Eco-Reto	11.35	0.99
Acopio Institucional	0.39	0.05
Acopio Social	0.62	0.08
Acopio Móvil	0.06	0.02
<b>Total</b>	<b>12.42</b>	<b>1.14</b>

**Tabla 2.29.** PET y plástico que acopian los programas de ECOCE, A.C.

Fuente: Elaboración propia con datos del Plan de Manejo ECOCE 2019 (p.27-29), (Treviño, 2019).

Tomando en cuenta las cantidades que no se recogen por recolección vehicular de la Tabla 2.27. y restándoles el aprovechamiento en centros de acopio oficiales de la Tabla 2.28. y el de los programas de acopio de ECOCE, A.C. de la Tabla 2.29., podemos conocer las cantidades de PET y plástico que no se recolectan:

<b>Nivel</b>	<b>PET sin recolectar ni acopiar oficialmente (ton/día)</b>	<b>Plástico sin recolectar ni acopiar oficialmente (ton/día)</b>
Nacional	515.26	1,556

**Tabla 2.30.** PET y plástico que no entran al proceso de Recolección ni Acopio.

Fuente: Elaboración propia



## **Transporte**

Una vez que los RSU han sido recolectados, pueden continuar hacia las siguientes alternativas:

### Transporte a las Estaciones de Transferencia

Las estaciones de transferencia desempeñan un papel crucial en la gestión de los residuos. Una vez que los vehículos llegan a estas instalaciones, se pesan para obtener datos estadísticos. Seguidamente, se efectúa la descarga de los residuos en depósitos diferenciados para una primera separación: orgánicos, inorgánicos limpios e inorgánicos sucios. Los RSU inorgánicos demasiado sucios no se procesan en las plantas de tratamiento, sino que se transportan directamente a los rellenos sanitarios. Según el INEGI (2021), el 13.50% de los RSU recolectados diariamente se clasifica de manera selectiva, evitando así su paso por estas estaciones.

En México existen 127 estaciones de transferencia (SEMARNAT, 2020). Excluyendo a la Ciudad de México, estas estaciones envían 3,187 ton/día de residuos a las plantas de tratamiento. Por otro lado, las estaciones de transferencia de la Ciudad de México, según SEDEMA (2020), reciben 7,935 ton/día de residuos y envían 1,387 ton/día a las plantas de tratamiento.

### Transporte a las Plantas de Tratamiento o de Aprovechamiento de Residuos

Las Plantas de Tratamiento o de Aprovechamiento de Residuos reciben los residuos procedentes de las estaciones de transferencia para su procesamiento. En todo el país, existen 47 de estas plantas en donde se llevan a cabo procesos como la selección de residuos reciclables, trituración, compactación, compostaje y biodigestión. Cabe destacar que no todos estos procesos se realizan simultáneamente en todas las plantas.

## Procesamiento

SEMARNAT (2020) comunica que en las Plantas de Tratamiento, a excepción de la Ciudad de México, la cantidad diaria recuperada de PET es de 86.52 ton/día y 47.62 ton/día de plástico (p.55). Por otra parte, en el Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México, SEDEMA (2020) sólo menciona “Recuperación (residuos reciclables)” y reporta 96.83 ton/día (p. 103) por lo que sólo es posible estimar la cantidad de PET y plástico.

Empleando únicamente la distribución de los materiales susceptibles de aprovechamiento de la Composición Porcentual Promedio de RSU de la Tabla 2.26., el 8.33% correspondería a PET y el 24.27% a plástico, por tanto, podemos estimar que se obtienen 8.07 ton/día de PET y 23.5 ton/día de plástico (Véase Apéndice B).

Material	Aprovechamiento (ton/día)
PET	94.57
Plástico	71.12

**Tabla 2.31.** PET y plástico que se aprovechan diariamente en las Plantas de Tratamiento.  
Fuente: Elaboración propia

Es notable la discrepancia en la distribución de la cantidad reportada de estos materiales entre la Ciudad de México y el resto del país, sin embargo, un aspecto importante a considerar según SEDEMA (2020), es la complejidad del proceso de separación. En promedio, el 85.6% de los residuos que llegan a las estaciones de transferencia están mezclados (p. 93), lo que obstaculiza su aprovechamiento.

Los datos proporcionados por SOBSE (2020) respaldan esta afirmación, ya que señalan que, de la capacidad total de 1,000 toneladas por día de la Estación de Transferencia y Planta de Selección Azcapotzalco, se rechazan 240 toneladas por día para su disposición final, y solo se rescatan 60 toneladas por día de materiales que pueden ser reciclados (p. 13). A pesar de que esta unidad es la más moderna de Latinoamérica y realiza múltiples procesos en sus instalaciones, ilustra la dificultad de reciclar materiales que no se separan en el origen.

## Disposición final

Según SEMARNAT (2020), existen 2,203 sitios de disposición final (SDF) en el país, a los cuales, se envían 86,352 ton/día (p.67). Éstos, están constituidos con la siguiente infraestructura:

Infraestructura	SDFs
Báscula	8.62%
Captura de lixiviados	16.30%
Captura de biogás	9.67%
Geomembrana	14.80%
Ninguna	47.80%
Desconocido	2.81%
<b>Total</b>	<b>100.00%</b>

**Tabla 2.32.** Infraestructura Nacional de Sitios de Disposición Final. Fuente: Elaboración propia con datos del Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (SEMARNAT, 2020)

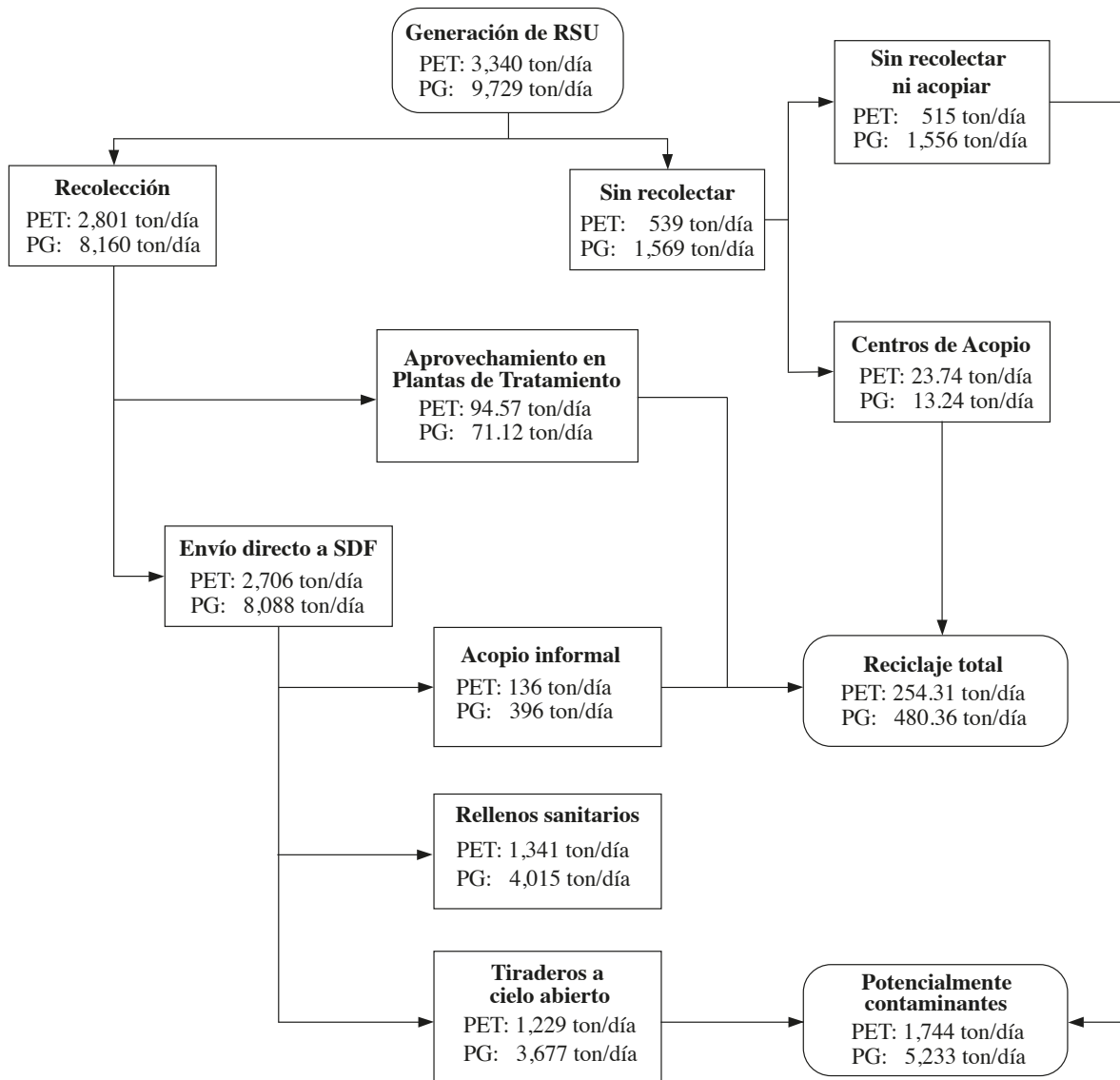
Por tanto, podemos conocer que existen 1,053 SDF que no cuentan con ningún tipo de protección al medio ambiente y también se les conoce como *tiraderos a cielo abierto*.

Por otro lado, existe una práctica de recuperación de RSU no oficial conocida como *pepena*, en la cuál, las personas recuperan materiales con algún valor económico. No existen cifras oficiales al respecto, sin embargo, SEMARNAT (2018) reporta en el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2017-2018 que ésta representa un 4.07% de la generación de RSU a nivel nacional (p.16). Ésta se realiza en los SDF así como en algunas partes del proceso desde la recolección de RSU.

La SEMARNAT (2020) admite que la falta de información oficial sobre el proceso de *pepena* y los *pepenadores* se debe a que esta actividad está prohibida en todas las leyes y normativas de RSU, ya sea en la vía pública, durante la recolección, o en los SDF, que es donde generalmente se lleva a cabo en mayor proporción (p. 59).

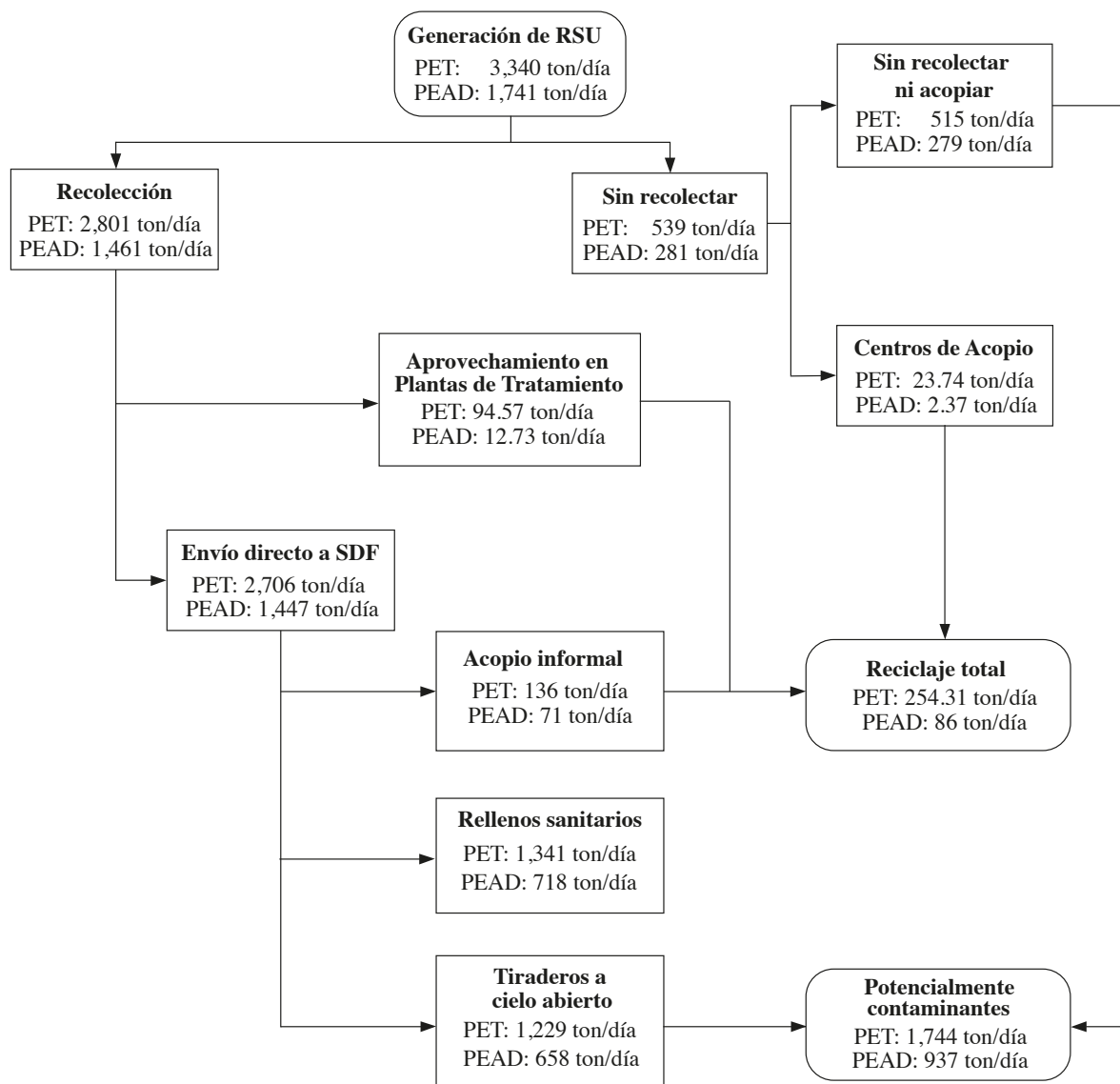
## Reciclaje de PET y PEAD

Podemos esquematizar las cifras obtenidas del manejo y gestión de los Residuos Sólidos Urbanos en el país en relación con el tereftalato de polietileno (PET) y con los plásticos en general (abreviados como PG), de la siguiente manera:



**Figura 2.27.** Manejo y Gestión de RSU PET/Plástico en México.  
Fuente: Elaboración propia.

Treviño (2019) menciona que el PEAD representa el 17.9% dentro de la participación de los plásticos más usados para envases y empaques en México (p.9), por lo tanto, podemos estimar la cantidad de PEAD presente en el plástico calculado anteriormente y reescribir la Figura 2.27. en términos de PET/PEAD:



**Figura 2.28.** Manejo y Gestión de RSU en términos de PET/PEAD en México.  
Fuente: Elaboración propia.

A partir de la Figura 2.28., podemos crear las siguientes relaciones con base en la generación de RSU para PET y PEAD:

Material	Generación (ton/día)	Reciclable (ton/día)	%	No recuperable (ton/día)	%	Potencialmente contaminante (ton/día)	%
PET	3340	254	7.61%	1,341	40.15%	1,744	52.22%
PEAD	1741	86	4.94%	718	41.24%	937	53.82%
<b>Total</b>	<b>5081</b>	<b>340</b>	<b>6.70%</b>	<b>2,059</b>	<b>40.52%</b>	<b>2,681</b>	<b>52.77%</b>

**Tabla 2.33.** Relaciones de PET/PEAD respecto a su manejo final y su generación.  
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 2.25. ilustra que, durante el año 2022, el 12.88% del Índice de Consumo Aparente (I.C.A.) de plástico en el país, equivalente a 0.76 millones de toneladas, se emplea como envase para los grupos A y B. De esta cantidad, 0.13 millones de toneladas (o 356.16 ton/día) corresponden a PET y 0.63 millones de toneladas (o 1,726 ton/día) a PEAD. Dado que estos productos manufacturados finalmente se convertirán en Residuos Sólidos Urbanos al terminar su ciclo de vida comercial, podemos emplear los porcentajes calculados en la Tabla 2.33. para determinar las cantidades que podrían ser recicladas, las que no serán recuperadas y las que potencialmente contaminarán el medio ambiente:

Material	Generación (ton/día)	Reciclable (ton/día)	%	No recuperable (ton/día)	%	Potencialmente contaminante (ton/día)	%
PET	356.16	27	7.61%	143	40.15%	186	52.22%
PEAD	1726	85	4.94%	712	41.24%	929	53.82%
<b>Total</b>	<b>2082.16</b>	<b>140</b>	<b>6.70%</b>	<b>844</b>	<b>40.52%</b>	<b>1,099</b>	<b>52.77%</b>

**Tabla 2.34.** Porcentajes de PET/PEAD reciclables, no recuperables y potencialmente contaminantes para los productos de los grupos A y B. Fuente: Elaboración propia.

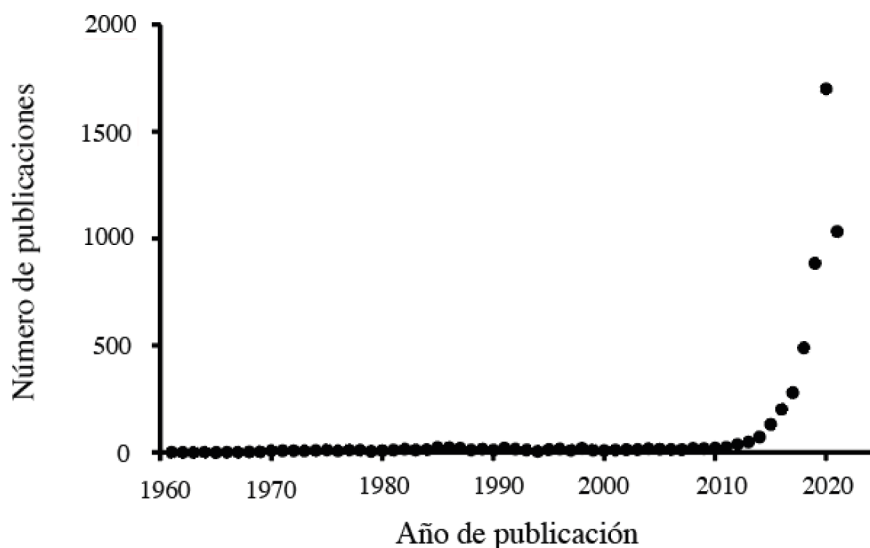
Esto quiere decir que en México sólo se recicla el 6.70% de PET y PEAD.

## Contaminación del medio ambiente por PET y PEAD

### Microplásticos

Según Adkogon y Guven (2019), los microplásticos se pueden definir como partículas de plástico de un tamaño menor a 5mm originadas a partir de fuentes primarias y secundarias. Los microplásticos de fuente primaria son aquellos que se han incluido en la formulación de cosméticos y productos médicos, aunque su venta ya ha sido frenada en países como Estados Unidos y Canadá. Los microplásticos de fuentes secundarias son originados por procesos físicos, químicos y biológicos que resultan de la fragmentación de desechos plásticos en el medio ambiente, los cuáles, están constituidos principalmente de polietileno, poliestireno, policloruro de vinilo y polipropileno (p.1). Las distintas fuentes de microplásticos provocan su presencia en varias formas, entre las que se incluyen gránulos, fibras y fragmentos en muestras tomadas del entorno.

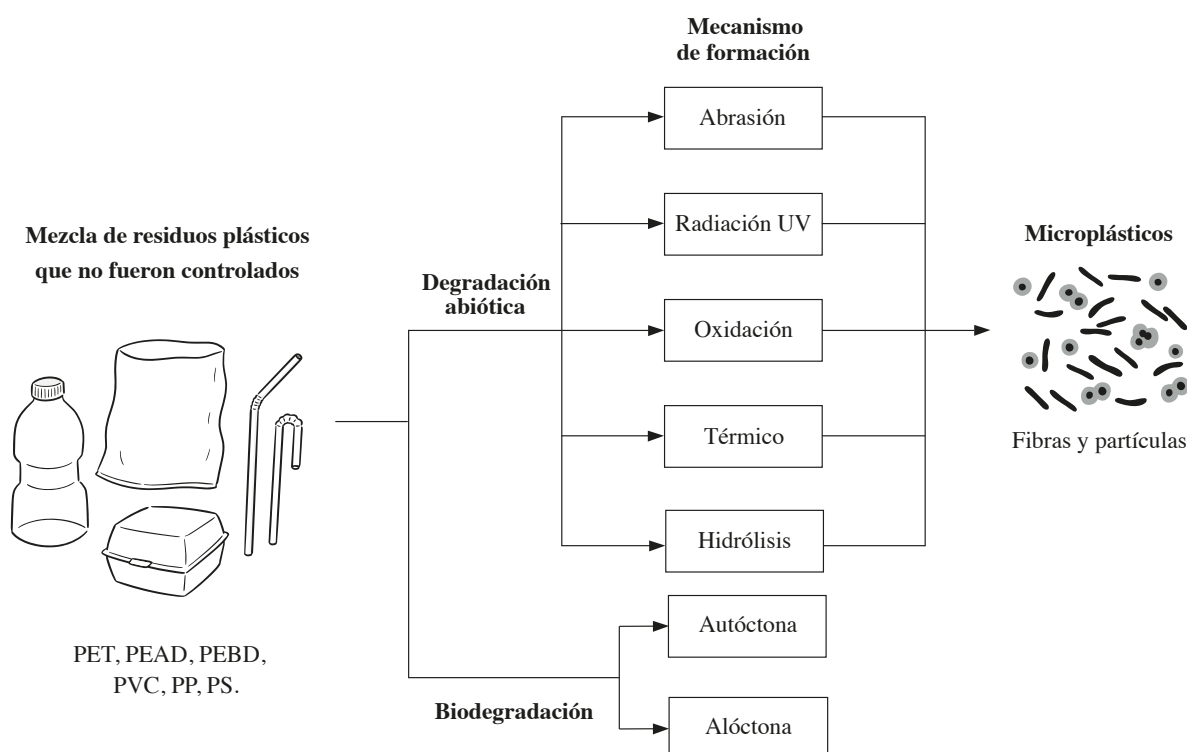
El estudio de los microplásticos es relativamente reciente ya que como mencionan Chaukura et al., (2021), a pesar de que existen publicaciones que datan de 1961, es de 2011 a 2021 que aumentaron drásticamente los estudios científicos al respecto (p. 97).



**Figura 2.29.** Número de publicaciones científicas de microplásticos a lo largo del tiempo en la base de datos Scopus. Fuente: Chaukura et al., (2021) (p.98).

Chaukura et al., (2021) mencionan que la degradación abiótica es el proceso donde los plásticos se degradan en microplásticos por influencias físicas y químicas. Los factores clave de esta degradación incluyen radiación ultravioleta, oxidación, impactos térmicos, hidrólisis y la erosión por las olas marinas. Dado que los plásticos más comunes no son biodegradables, tienden a acumularse en el ambiente (p. 98).

### Mecanismo de Formación de Microplásticos

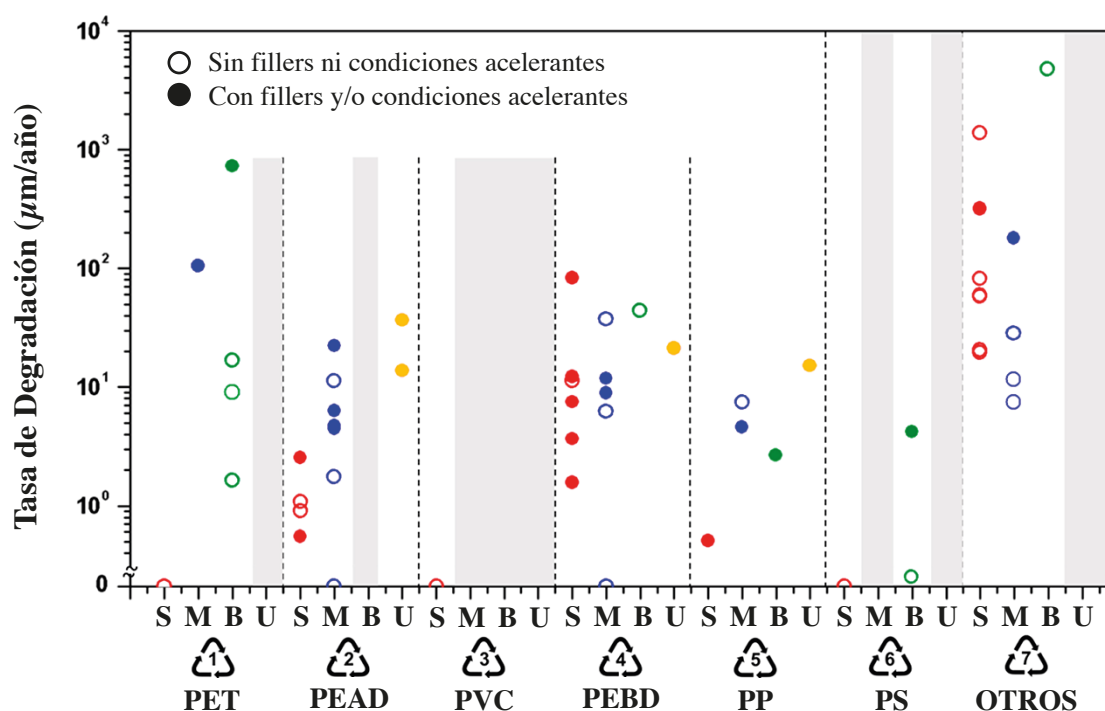


**Figura 2.30.** Mecanismo de Formación de Microplásticos a partir de Fuentes Secundarias.

Fuente: Elaboración propia con datos de Chaukura et al., (2021) (p.98).

Chamas et al. (2020) llevaron a cabo un estudio sobre las tasas de degradación y la vida útil de diversos tipos de plásticos en varios entornos. Encontraron que la degradación del PET, tanto en el suelo como en el mar, requiere más de 2,500 años. En cuanto al PEAD, se estimó que una botella enterrada en el suelo tendría una vida media de 500 años, mientras que en el mar sería de 116 años (p. 3496, 3502).





**Figura 2.31.** Tasa de Degradación de Plásticos en diferentes medios.  
Fuente: Chamas et al., (2020) (p.3500).

En la Figura 2.31. podemos consultar diferentes tasas de degradación en  $\mu\text{m}/\text{año}$  para plásticos en diferentes ambientes, donde S = suelo, M = mares, B = métodos biológicos y U = radiación UV. Las columnas grises indican que no hay información respecto a ese ambiente para el plástico indicado. La notación con marco circular se refiere a plástico que no tiene ningún tipo de *filler*<sup>11</sup> en su formulación ni algún tipo de pre-tratamiento que acelere su tiempo de degradación. La notación con círculo coloreado, implica que la observación se hace sobre plásticos con algún relleno o que están siendo tratados. Los íconos sobre el eje X se refieren a que el tiempo para que se lleve a cabo la degradación en ese medio es inmenso.

Los estudios de este tipo son relativamente nuevos y todavía hay escasez de información experimental para replicar los procesos naturales de degradación abiótica, dado que requieren un tiempo extenso, prácticamente inconmensurable.

<sup>11</sup> Filler: En este contexto, se refiere a un aditivo usado en la formulación del termoplástico para acelerar su degradación. El almidón, por ejemplo, puede usarse de un 5 a un 10% en peso de la formulación.

## Contaminación de los mares

Según Chaukura et al., (2021) la mayoría de los desechos que son vertidos a los mares provienen de fuentes terrestres, en las que están involucrados mecanismos de transporte como basura de la calle movilizada por la lluvia y el viento hacia las vías fluviales, vertido inadecuado de residuos, vertederos mal gestionados y actividades recreativas y de pesca, por mencionar algunos (p. 96). Esto recuerda lo reportado por SEMARNAT (2020) en cuanto a que 1,056 SDF (47.80% del total) en México carecen de cualquier medida de protección al medio ambiente, las cuáles son: báscula, captura de lixiviados, captura de biogás, geomembrana y cerca perimetral (p. 13). La cantidad calculada en la Figura 27 para RSU “Potencialmente contaminantes” se compone principalmente de los aportados por los tiraderos a cielo abierto, por lo que podemos estimar que muchos RSU son movilizadas así.

Rivera Garibay et al., (2020) menciona que en un estudio realizado en 2018 por Greenpeace en asociación con la Universidad Nacional Autónoma de México, se detectaron 815 piezas plásticas en 42 sitios pertenecientes a las Áreas Naturales Protegidas en las playas de la Riviera Maya (p. 4-6).

De acuerdo con los hallazgos de Rivera Garibay et al. (2020), la composición del material recolectado consiste en un 59% de fragmentos plásticos, un 9% de objetos varios (como cables, cajas, gorras, entre otros), un 8% de bolsas, un 7% de tapas, un 6% de botellas y equipo de pesca respectivamente, un 4% de etiquetas, y un 1% de utensilios desechables (p.8). En un contexto paralelo, Álvarez (2020) evidencia un porcentaje medio de 53.25% de fragmentos plásticos (identificados como rígidos, semirrígidos, películas y fibras) en un análisis llevado a cabo en 11 playas mexicanas (p. 123). Pese a la diversidad de los emplazamientos de muestreo, estos resultados exhiben un notable paralelismo, sugiriendo una homogeneidad en el nivel de contaminación marina.

PROFECO (2021) menciona que 100,000 tortugas y mamíferos marinos y 1 millón de aves marinas mueren anualmente por la contaminación de plástico en los mares. Se proyecta que para el año 2050, habrá más plástico que peces en el mar.

Éstos son los principales efectos negativos de los plásticos sobre los ecosistemas acuáticos de acuerdo a World Wildlife Fund (2022), (p. 7):

<b>Problema</b>	<b>Efectos negativos sobre el ecosistema acuático</b>
Enredos	Artículos de pesca como sogas y redes afectan la fauna, provocando heridas y asfixia.
Ingesta	Los plásticos que ingieren los animales marinos provocan un falso sentido de saciedad, bloquean su sistema digestivo y causan heridas internas, impactos negativos en el crecimiento, en el sistema inmunológico y en la fertilidad.
Asfixia	Se priva de luz, alimentos y oxígeno a los corales, esponjas y animales que habitan en el lecho marino. Puede dar cabida a patógenos que deterioran la vida acuática.
Contaminación química	Algunos ingredientes del plástico pueden llegar al cerebro de los animales.
Alteradores endócrinos	Existen plásticos altamente tóxicos para los animales marinos, provocando interferencia con las hormonas, alterando el ciclo de reproducción, el desarrollo y el comportamiento en general.
Contaminantes orgánicos persistentes	Compuestos como el bifenilo policlorado <sup>12</sup> afecta a los organismos y al medio ambiente ya que no se degrada, viaja por largas distancias y genera un impacto duradero.

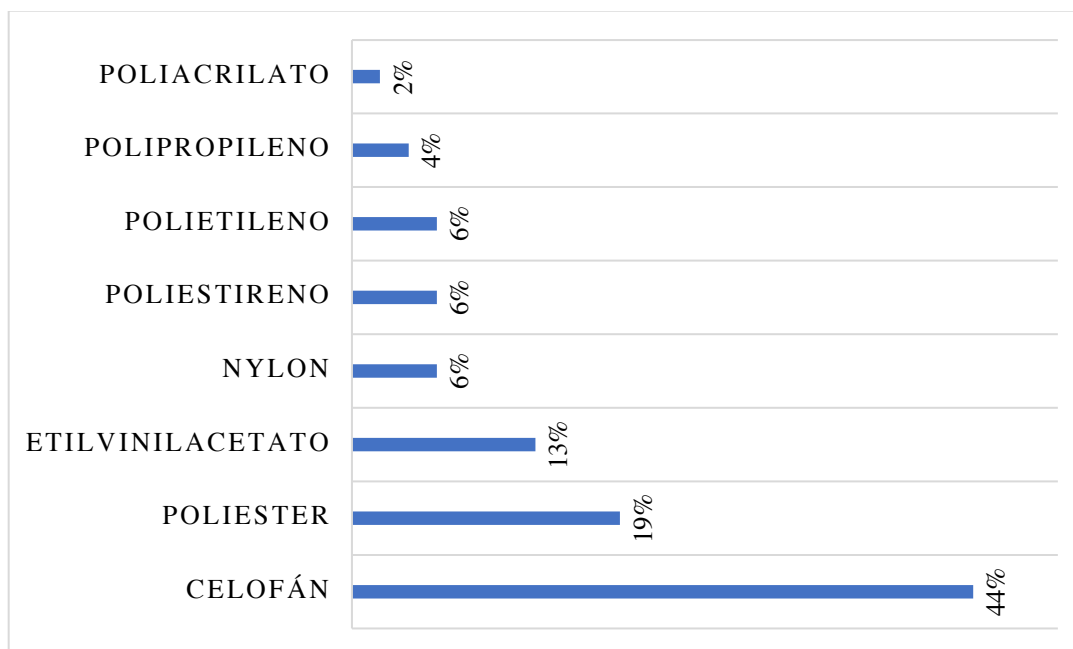
**Tabla 2.35.** Efectos negativos de los plásticos en los ecosistemas acuáticos.  
Fuente: Elaboración propia con datos de World Wildlife Fund (2022).

Según World Wildlife Fund (2022), las investigaciones de laboratorio han evidenciado que el plástico consumido por la fauna acuática puede progresar, junto con sus contaminantes químicos, a través de la cadena trófica marina. A medida que estos efectos se difunden a lo largo de ésta, pueden comprometer la operatividad global del ecosistema (p. 11).

<sup>12</sup> Bifenilo policlorado: Compuesto de síntesis. “Los bifenilos policlorados (PCB) se catalogaron dentro de los 12 contaminantes orgánicos más tóxicos para los organismos vivos”. (Miller Perez et al., 2009, p. 336).

Álvarez et al., (2019), para un estudio coordinado por Greenpeace, reportó que se analizó un total de 755 peces de interés comercial de las regiones La Paz, Puerto Morelos y Veracruz, encontrando que el 54% de las muestras contenían al menos una pieza plástica en sus estómagos (p. 15).

La composición de los microplásticos identificados en el estudio fue la siguiente:



**Figura 2.32.** Composición de microplásticos encontrados en estómagos de peces en México.  
Fuente: Álvarez et al., (2019) (p.17).

Otro gran problema que suponen los microplásticos presentes en los sistemas acuáticos es que pueden facilitar la propagación y persistencia de organismos patógenos, coliformes fecales y floraciones de algas. Chaukura et al., (2021) comentan que pueden proporcionar microhábitats para organismos dañinos, contribuyendo a la proliferación de estos y a la diseminación de enfermedades infecciosas. Esto representa un riesgo para la salud humana, ya que la acumulación de estos residuos en el organismo puede causar toxicidad localizada por inducir una respuesta inmunitaria, y la lixiviación de sus aditivos y monómeros residuales, pueden resultar en toxicidad química (p. 106).

## Contaminación del suelo

Rodríguez et al., (2019) considera que existen dos tipos de contaminación del suelo (p. 3-4):

### Contaminación puntual

Puede originarse a partir de un suceso puntual o de una secuencia de acontecimientos en una zona específica, en la que los contaminantes son liberados en el suelo y tanto la fuente como la naturaleza de la contaminación pueden ser claramente identificadas.

### Contaminación difusa

Se caracteriza por su dispersión a través de vastas áreas, acumulándose en el suelo y sin presentar una única fuente o una que sea fácilmente distinguible. El proceso involucra el traslado de los contaminantes a través de sistemas aire-suelo-agua. Debido a estas características, la contaminación difusa resulta desafiante de analizar y puede ser complicado rastrear y delimitar su alcance espacial.

Las características del movimiento de los RSU desde los tiraderos a cielo abierto se asemejan a la contaminación difusa y coinciden con las consideraciones de Chaukura et al., (2021) respecto a la contaminación de los mares.

Otras consideraciones respecto a la contaminación del suelo, según Rodríguez et al., (2019) involucran los llamados *contaminantes emergentes*<sup>13</sup>, entre los que destacan (p. 34-35):

- Productos farmacéuticos y para el cuidado personal
- Plastificantes
- Nanopartículas manufacturadas

---

<sup>13</sup> Contaminantes emergentes: Se trata de una amplia gama de sustancias químicas, ya sean sintéticas o naturales, que han surgido recientemente en el medio ambiente y que no suelen ser monitoreadas de manera habitual (Rodríguez et al., 2019). Éstas poseen la capacidad de infiltrarse en el medio ambiente y generar posibles efectos perjudiciales, ya sean confirmados o supuestos, en la ecología o la salud humana (p. 32).

En un estudio experimental desarrollado por Gharahi y Zamani (2022), se deseaba evaluar la respuesta del crecimiento de semillas de *Carex stenophylla* (una planta herbácea) en un cultivo en presencia de PET a lo largo de 30 días. El estudio no arrojó datos significativos respecto al crecimiento de la planta, sin embargo, demostró que conforme aumentaba la concentración de PET (de 0% a 5% en peso), el pH del cultivo descendía de 7.93 a 7.41, la cantidad de amonio presente aumentaba de 10.7 mg/kg a 40.7 mg/kg y la cantidad de nitrato aumentaba de 44.3 mg/kg a 83.3 mg/kg. (p. 4-5).

En un estudio paralelo, Yang et al., (2021) llevaron a cabo una evaluación detallada del comportamiento del crecimiento de las plantas y la interacción con micorrizas bajo la influencia conjunta de nanopartículas de ZnO y polietileno de alta densidad (PEAD).

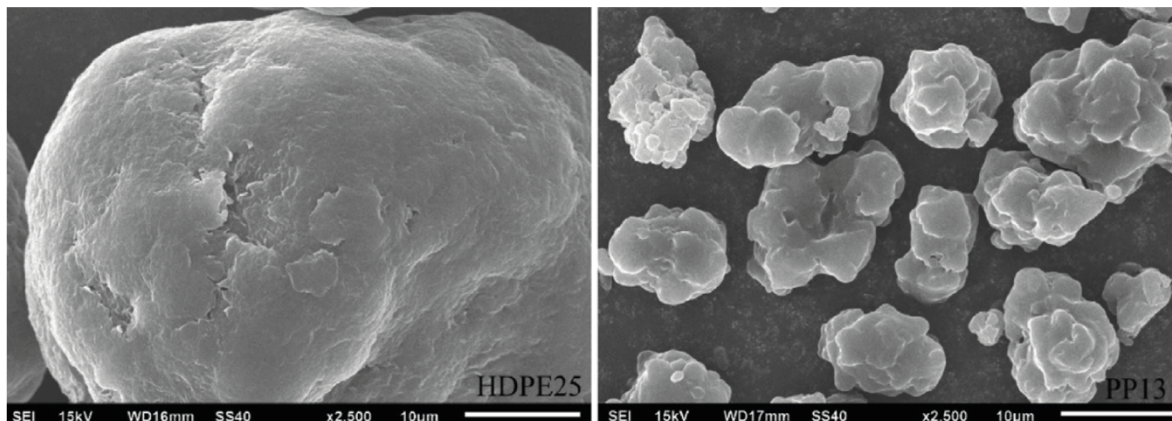
Una observación significativa en su estudio fue que la presencia de PEAD resultó en un incremento del pH del suelo en la mayoría de las instancias. Esto sugiere que las partículas de plástico como el PEAD, tienen la capacidad de alterar el equilibrio ácido-base del suelo. Además, el estudio reveló que el PEAD influyó en la estructura de la comunidad de hongos, que desempeñan un papel crucial en la salud del suelo y el crecimiento de las plantas.

Particularmente, las partículas de PEAD demostraron una fuerte adhesión a las superficies radiculares, formando una barrera que limitaba el contacto de las raíces de las plantas con Zn/ZnO. Esta observación podría explicar por qué las raíces expuestas a dosis altas de PEAD presentaban concentraciones más bajas de zinc. El zinc es un elemento traza esencial para las plantas, ya que juega un papel vital en su crecimiento y maduración. Por lo tanto, el PEAD, al inhibir la interacción entre las raíces y el Zn/ZnO, puede afectar indirectamente el desarrollo de las plantas (p. 3-6).

Por otro lado, en un estudio realizado por Cáceres et al., (2015) en el Parque Nacional Natural Tamá, se analizaron restos de heces de oso andino encontrándose un filamento de un polímero sintético no identificado entre ellas. Asimismo, se analizó parte del intestino y estómago del cadáver de un coatí andino, encontrándose otro filamento muy largo de un polímero sintético.

Se presume que los polímeros, al ser filamentos, probablemente provenían de cuerdas arrastradas desde asentamientos humanos por el viento (p. 2-3).

Cheng et al., (2021) investigaron la interacción entre los microplásticos y la lombriz de tierra *M. guillelmi*. La lombriz fue expuesta a partículas de polietileno de alta densidad (HDPE) y polipropileno (PP), confirmándose su ingestión mediante técnicas de fluorescencia. No hubo cambio significativo en la microbiota intestinal de *M. guillelmi*, sin embargo, los microplásticos alteraron la estructura y diversidad de la comunidad bacteriana del suelo. Esto sugiere que las partículas de plástico pueden tener impactos ecológicos en la microbiota del suelo, esencial para los procesos de descomposición y salud del ecosistema (p. 4-7).



**Figura 2.33.** Imágenes de microplásticos de PEAD (25 $\mu$ m) y PP (13 $\mu$ m) detectados por microscopio electrónico de barrido. Fuente: Cheng et al., (2021) (p.3).

Adicionalmente, Rivas y Garelli (2021) aseguran que los microplásticos presentes en los suelos de los ecosistemas terrestres disminuyen el tiempo de vida de las lombrices, reduciendo su tiempo de vida y haciéndolas perder 3% de su peso corporal cuando son expuestas al PEAD, lo cuál tiene efectos negativos en la agricultura.

La evidencia científica disponible indica que la mayoría de los microplásticos que se introducen en el suelo pueden alterarlo de manera negativa para el medio ambiente, y que se pueden encontrar en el organismo de los animales, independientemente de su tamaño.

**3**

---

# **Desarrollo**



Hasta este momento se tiene claro que existe un grave problema de contaminación ambiental en México y que los residuos plásticos provenientes de la industria cosmética forman parte de ello. La razón principal del uso de estos envases en este mercado radica en que el vehículo de las formulaciones es líquido o semilíquido.

Como señala Radin (2020), el concepto de “belleza sin agua” ganó tracción en Corea del Sur desde 2015 con la aparición de productos como shampoo, acondicionador, bálsamos, cremas y barras sin agua o en formato sólido. Igualmente, para el mismo artículo, cita al dermatólogo Joshua Zeichner mencionando que los productos sólidos conllevan una tecnología e ingredientes más caros que los convencionales, sin embargo, su duración es más alta por estar más concentrados.

Martins y Marto (2023) mencionan que actualmente en los cosméticos existe una saturación de las palabras “orgánico”, “natural” y “verde”. Comúnmente, estos términos aluden al origen y a las prácticas agrícolas empleadas para adquirir los componentes de los productos, pero no siempre implican sostenibilidad. Para que un producto sea sustentable, debería abordar todas las dimensiones de la sostenibilidad (ambiental, ética, social y económica) en todas las fases del ciclo de vida del producto (p.3).




**Figura 3.1.** Ciclo de vida de cosméticos. Fuente: Martins y Marto (2023) (p.3).

Basándonos en la Figura 3.1. propuesta por Martins y Marto, podemos relacionar toda la información con la que se cuenta hasta este punto para poder proponer un diseño inicial de producto con el objetivo de mitigar los efectos contaminantes de los RSU que generan los dos segmentos que se están estudiando y ofertar al potencial consumidor un cosmético funcional.

### 3.1. Formulación de una crema hidratante sólida

En el capítulo anterior se ilustraron los productos con mayor popularidad para los segmentos que se están estudiando. Las marcas St. Ives®, Dove® y Nivea® fueron consideradas como ejemplos de cremas corporales hidratantes envasadas en un envase primario de polietileno de alta densidad y son emulsiones de tipo O/W.

Se usará como ejemplo la crema St. Ives® Piel Renovada, la cuál, de acuerdo a INCI Decoder (2023) tiene los siguientes ingredientes:

Fotografía del producto	INCI
	<p>Agua, glicerina, ácido esteárico, aceite de soja, estearato de glicol, dimeticona, monoestearato de glicerilo, trietanolamina, alcohol cetílico, fenoxietanol, caprililglicol, carbómero, hidroxietilcelulosa, perfume, EDTA disódico, BHT, estearamida, colágeno hidrolizado, elastina hidrolizada, alcohol bencílico, salicilato de bencilo, isoeugenol y limoneno.</p>

**Tabla 3.1.** Ingredientes de crema St. Ives® Piel Renovada. Fuente: INCI Decoder (2023).

Es posible confirmar que se trata de una emulsión O/W ya que el agua aparece al principio del listado de ingredientes, por lo que se encuentra en mayor proporción respecto a los ingredientes que le siguen y así, sucesivamente.

Podemos profundizar en éstos de la siguiente manera:

1. Ingredientes activos: Glicerina y aceite de soja como agentes humectantes, colágeno hidrolizado como hidratante y promotor de elasticidad de la piel, elastina hidrolizada como proteína que promueve la elasticidad de la piel, silicón (dimeticona) como agente formador de película sobre el estrato córneo y estearamida como lubricante.
2. Vehículo o base: Emulsión O/W emulsificada con alcohol cetílico, monoestearato de glicerilo, co-emulsificada y estructurada con estearato de glicol y estabilizada con carbómero e hidroxiethylcelulosa.
3. Aditivos auxiliares: Caprililglicol y fenoxietanol como conservadores, BHT como antioxidante, EDTA disódico como secuestrante y la combinación de perfume, alcohol bencílico, salicilato de bencilo, isoeugenol y limoneno como fragancia.

Cabe destacar que esta fórmula presenta características análogas a la propuesta por Dayan en su formulación de crema humectante del año 2017. Los formuladores valoran la acción del silicón sobre la piel, ya que contribuye a la creación de una capa protectora que impide la evaporación del agua contenida en la formulación y promueve una sensación de suavidad en la epidermis.

Para desarrollar una crema sólida sin envase de PEAD, se debe determinar la reducción adecuada de agua para obtener una fórmula estable y decidir qué tipo de emulsión crear.

En el mercado nacional e internacional ya existen múltiples opciones que, se estima, son formulaciones O/W estructuradas mediante la combinación de alcohol cetílico y monoestearato de glicerilo. Sin embargo, un inconveniente recurrente de estas formulaciones es su dificultad para esparcirse adecuadamente sobre la piel, siendo este el principal reclamo de los consumidores en distintos *marketplaces*<sup>14</sup> en línea.

En contraste, hay métodos que se basan en el derretido y mezclado de varios aceites y mantecas vegetales que, posteriormente, se solidifican en moldes. Aunque estos aceites y grasas ofrecen protección y una cierta humectación cutánea, poseen un carácter oclusivo que obstaculiza la adecuada absorción de nutrientes en las capas más profundas de la piel. Además, dado que la fase continua de la preparación es principalmente oleosa, la capacidad para incorporar otros ingredientes se ve restringida. Esto limita el diseño de la formulación, enfocándose principalmente en especialidades oleosas, como los *liposomas*<sup>15</sup>. Barel et al (2009) señalan que, pese a que estos coloides fueron concebidos para penetrar el estrato córneo de la piel, su eficacia es limitada (p. 185).

En tanto, se propone una emulsión W/O del tipo *cold cream*, que podría formar una capa protectora sobre la piel y permitir la penetración de nutrientes hacia el interior del estrato córneo. Es de esta manera en que puede potencializarse la efectividad de la formulación ya que el espacio de diseño permitiría incluir ingredientes oleosos e hidrosolubles.

En la formulación de la Tabla 2.12. es posible notar la inclusión de silicón, por lo que para esta propuesta, se sustituirá por cococaprilato/caprilato, ya que proviene de fuentes sustentables y tiene el mismo efecto auxiliar en la piel. Para la fase oleosa se propone manteca de mango como humectante principal, cera de abejas como humectante; como emulsificantes, esperma de ballena sintético (cetil palmitato) y bórax. Para la fase acuosa se propone el conservador fenoxietanol y para evitar la oxidación de los aceites, vitamina E.

---

<sup>14</sup> Marketplaces: Sitios de comercio electrónico en donde se ofertan variedades de productos. Los más conocidos en México son Amazon, Mercado Libre y micrositos como en la plataforma Rappi México.

<sup>15</sup> Liposomas: Vesículas artificiales a base de fosfolípidos se utilizan ampliamente para mejorar la administración de fármacos a través de la piel (Barel et al, 2009, p. 185).

## Ingredientes

1. Ingredientes activos: Cococaprilato/caprato, manteca de mango y cera de abejas.
2. Vehículo o base: Emulsión W/O compuesta, esperma de ballena sintético, vitamina E, bórax y agua desionizada.
3. Aditivos auxiliares: Aceite esencial de bergamota y fenoxietanol.

Descripción funcional de los ingredientes considerados:

Ingrediente	Función
Cococaprilato/caprato	Emoliente sustituto de silicón
Manteca de mango	Aceite vegetal humectante
Cera de abejas	Cera humectante
Esperma de ballena sintético	Emulsificante
Vitamina E	Antioxidante
Bórax	Emulsificante
Aceite esencial de bergamota	Fragancia
Fenoxietanol	Conservador
Agua desionizada	Medio solvente

**Tabla 3.2.** Funcionalidad de ingredientes seleccionados para formulación de una crema hidratante sólida.

Se realizarán 5 formulaciones para encontrar la que cumpla los siguientes requisitos:

- a) Estabilidad a temperatura ambiente pero fundirse en la piel con movimientos circulares. Suavidad al tacto y buena emoliencia.
- b) Dureza adecuada de la pastilla para no disgregarse al manipularla.
- c) Uniformidad del contenido.

Los componentes serán organizados de la siguiente forma:

<b>Constantes</b>	<b>Variables</b>
A.E. de bergamota, cococaprilato/caprato, fenoxietanol, vitamina E y agua desionizada.	Cera de abejas, esperma de ballena sintético, bórax y manteca de mango.

Se propone la siguiente batería de pruebas:

<b>Ingrediente</b>	<b>F1 (%)</b>	<b>F2 (%)</b>	<b>F3 (%)</b>	<b>F4 (%)</b>	<b>F5 (%)</b>
Cococaprilato/caprato	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Manteca de mango	53.15	49.20	44.50	39.60	34.90
Cera de abejas	12.00	14.00	16.00	18.00	20.00
Esperma de ballena sintético	0.75	2.50	5.00	7.50	10.00
Vitamina E	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Bórax	0.40	0.60	0.80	1.20	1.40
Aceite esencial de bergamota	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Fenoxietanol	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Agua desionizada	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
<b>TOTALES</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

**Tabla 3.3.** Batería de pruebas para formulación de una crema hidratante sólida. Porcentajes en peso.

## **Materiales y Método**

- Vasos de precipitados 50 y 200mL
- Parrilla de calentamiento doble
- Molde de silicón
- Termómetro graduado (2)
- Báscula digital
- Tiras de pH

Ya que el molde de silicón tiene una capacidad para 50g, las cantidades ajustadas por prueba son las siguientes:

<b>Ingrediente</b>	<b>F1 (g)</b>	<b>F2 (g)</b>	<b>F3 (g)</b>	<b>F4 (g)</b>	<b>F5 (g)</b>
Cococaprilato/caprato	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Manteca de mango	26.28	24.60	22.25	19.80	17.45
Cera de abejas	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
Esperma de ballena sintético	0.38	1.25	2.50	3.75	5.00
Vitamina E	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Bórax	0.20	0.30	0.40	0.60	0.70
Aceite esencial de bergamota	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Fenoxietanol	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Agua desionizada	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
<b>TOTALES</b>	<b>50.00</b>	<b>50.00</b>	<b>50.00</b>	<b>50.00</b>	<b>50.00</b>

**Tabla 3.4.** Batería de pruebas para formulación de una crema hidratante sólida. Cantidades en gramos.

1. Pesar el cococaprilato/caprato, la manteca de mango, la cera de abejas, el esperma de ballena sintético y la vitamina E en un vaso de precipitados (fase oleosa).
2. Calentar la fase oleosa hasta fundido de todos los ingredientes y mantener a 70 °C.
3. Pesar el agua desionizada y el bórax y hacer una solución. Calentar ésta para aumentar la solubilidad hasta obtener una solución clara (fase acuosa). Mantener a 70 °C.
4. Una vez que la temperatura de la fase oleosa y la fase acuosa sea la misma, agregar la fase acuosa a la oleosa y agitar hasta homogeneizar.
5. Agregar fenoxietanol y aceite esencial de bergamota a 50 °C con agitación constante.

- Una vez bien homogeneizada la mezcla, envasar en el molde de silicón y esperar a que su temperatura disminuya hasta la del ambiente hasta solidificación.



**Figura 3.2.** Material utilizado para la elaboración de una crema hidratante sólida.



**Figura 3.3.** Elaboración de crema hidratante sólida. Izquierda: Moldes preparados para el vertido de la crema. Derecha: Aspecto de la preparación durante la fase de mezclado.



## 3.2. Formulación de un shampoo sólido

Retomando nuevamente el capítulo anterior, se ilustraron los shampoos capilares Fructis®, Vanart® y The Honey Keeper® como parte de los más populares en las búsquedas en internet. Se tomará como ejemplo de análisis el producto The Honey Keeper® ya que éste asegura que se trata de un shampoo con acondicionador y gel de ducha. Estas características son interesantes debido al tipo de tensoactivos y aditivos que emplean para asegurar que el producto es suave tanto con el cuero cabelludo, con las mucosas y con la piel.

De acuerdo a The Honey Keeper® (2023), este producto contiene los siguientes ingredientes:

Fotografía del producto	INCI
	<p>Agua, cocamidopropilbetaina, sodio C14-16 sulfonato de olefina, laurilmetil isetonato de sodio, metiloleoil taurato de sodio, lauril cocoglucósido, poliquaternio 7, PEG 12 dimeticona, PEG 150 diestearato, dimetil lauramida/miristamida, fragancia, miel orgánica, benzoato de sodio y sorbato de potasio, ácido cítrico, extracto de <i>Chamomilla Recutita</i>, EDTA tetrasódico, extracto de la hoja de <i>Aloe Barbadensis</i>, vitamina E, PEG-90M, Naranja 4 (CI 15510), Amarillo 5 (CI 19140).</p>

**Tabla 3.5.** Ingredientes del shampoo The Honey Keeper®. Fuente: The Honey Keeper® (2023).

Esta preparación contiene una numerosa cantidad de ingredientes que son interesantes de analizar respecto a la función que realizan para su finalidad. La ausencia de tensoactivos como lauril sulfato de sodio o lauril éter sulfato de sodio implica que el producto está diseñado para pieles sensibles, además de incorporar ingredientes que, en sinergia, son capaces de dotar al cuerpo de una sensación suave y sedosa al aplicar el shampoo.

Podemos analizar los ingredientes a continuación:

1. Ingredientes activos: Miel orgánica, extracto de *Chamomilla Recutita* y extracto de la hoja de *Aloe Barbadensis* como humectantes. Vitamina E como promotor de crecimiento y nutrición de la fibra capilar.
  
2. Vehículo o base: Solución coloidal compuesta por el sistema de tensoactivos aniónicos sodio C14-16 sulfonato de olefina, laurilmetil isetionato de sodio, metiloleoil taurato de sodio; cocamidopropilbetaina como tensoactivo anfótero, lauril cocoglucósido y dimetil lauramida/miristamida como tensoactivos no iónicos.
  
3. Aditivos auxiliares: Policuaternio 7 como acondicionador capilar, PEG 12 dimeticona como formador de película, benzoato de sodio y sorbato de potasio como conservadores, ácido cítrico como regulador de pH, PEG 150 diestearato y PEG 90M como estabilizadores y espesantes, EDTA tetrasódico como secuestrante, fragancia, Naranja 4 (CI 15510) y Amarillo 5 (CI 19140) como colorantes.

El sistema de tensoactivos empleados en esta preparación garantiza tanto limpieza como suavidad para el consumidor. Como se mencionó anteriormente, la sensación de suavidad está proporcionada principalmente por el silicón que contiene el compuesto PEG 12 dimeticona así como por el acondicionador Policuaternio 7, los cuáles son ampliamente usados en la industria cosmética. Los extractos herbolarios contenidos en la formulación son reconocidos por aportar humectación y acondicionamiento a la fibra capilar.

Gracias a esta revisión, es posible proponer un shampoo sólido sin sulfatos que cumpla con las características de limpieza, suavidad y acondicionamiento para el cuero cabelludo.

Así como en el caso de las cremas sólidas, los shampoos sólidos han ganado terreno en el mercado desde hace algunos años, sobretodo con la concientización al consumidor respecto al uso y contaminación de los envases de plástico, sin embargo, este tipo de formulaciones tiene antecedentes desde hace más de 100 años.

De acuerdo a Sakamoto et al (2017), en 1909, Bondi sintetizó N-lauril glicina y alanina, observando que se biodegradaban en aminoácidos y ácidos grasos libres, sentando precedentes para su aplicación en el mercado de cuidado personal. En 1973, gracias a los estudios desarrollados por Takehara, apareció en Japón la primer barra limpiadora a base de cocoil glutamato de sodio, la cuál a diferencia de los jabones, no era alcalina y proporcionaba una sensación suave para la piel (p. 294).

Igualmente, existen patentes con formulaciones de este tipo, como la DE2140789A1 titulada *Soap Syndet Bar For Personal Care* perteneciente a Unilever Alemania, registrada en 1971, la cuál describe mezclas de tensoactivos provenientes de ácidos grasos para el cuidado personal. Otras patentes tienen antigüedad de 31 años a la fecha de este trabajo, como la patente norteamericana US5262079A titulada *Framed Neutral pH Cleansing Bar* propiedad de Procter & Gamble, la cuál describe una invención que proporciona una barra limpiadora firme, ultrasuave y con pH neutro que comprende de aproximadamente un 5 % a aproximadamente un 50 % de ácido monocarboxílico; en el que de aproximadamente 20 % a aproximadamente 65 % en peso de dicho ácido monocarboxílico está neutralizado; de aproximadamente 20 % a aproximadamente 65 % de un coadyuvante de firmeza de barra aniónico y/o no iónico, y de aproximadamente 15 % a aproximadamente 55 % de agua en peso de dicha barra.

Tomando como punto de partida que en Japón la primera barra contenía cocoilglutamato de sodio y que en las patentes aparecen ácidos monocarboxílicos neutralizados de carácter aniónico y/o no iónico, es posible inferir que actualmente estas barras son fabricadas con los tensoactivos cocosulfato de sodio y/o cocoil isetionato de sodio, los cuáles están disponibles en el mercado nacional con mucha facilidad.

Según Sakamoto et al (2017), el cocoil isetionato de sodio es el tensoactivo sintético más común empleado a nivel mundial para las barras limpiadoras gracias a su suavidad y compatibilidad con la piel. Es obtenido por medio de la deshidratación y condensación de ácidos grasos e isetionato de sodio a altas temperaturas (p. 563).

Tomando como referencia esta información, se propone una serie de formulaciones que contendrán cocoil isetionato de sodio como tensoactivo, aloe vera y leche de coco en polvo, las cuáles, además de actuar como coadyuvantes para la firmeza de la preparación, confieren propiedades hidratantes para el cuero cabelludo.

### Ingredientes

1. Ingredientes activos: Aloe vera en polvo, leche de coco en polvo y aceite de jojoba.
2. Vehículo o base: Pasta compuesta por cocoil isetionato de sodio y agua.
3. Aditivos auxiliares: Aceite esencial de naranja como fragancia y fenoxietanol como conservador.

Descripción funcional de los ingredientes considerados:

Ingrediente	Función
Aloe vera en polvo	Hidratante capilar, estimula la circulación
Leche de coco en polvo	Fortalece la fibra capilar y es acondicionador
Cocoil isetionato de sodio	Surfactante aniónico
Aceite de jojoba	Favorece la retención de humedad
Aceite esencial de naranja	Fragancia
Fenoxietanol	Conservador
Agua desionizada	Medio solvente

**Tabla 3.6.** Funcionalidad de ingredientes seleccionados para formulación de un shampoo sólido.

En este caso, también se realizarán 5 formulaciones para encontrar la que cumpla los siguientes requisitos:

- a) Buena formación de espuma.
- b) Dureza adecuada de la pastilla para no disgregarse al manipularla.
- c) Uniformidad del contenido.

Los componentes serán organizados de la siguiente forma:

<b>Constantes</b>	<b>Variables</b>
Aloe vera y leche de coco en polvo, A.E. de naranja y fenoxietanol.	Cocoil isetionato de sodio, aceite de jojoba y agua desionizada.

Se propone la siguiente batería de pruebas:

<b>Ingrediente</b>	<b>F1 (%)</b>	<b>F2 (%)</b>	<b>F3 (%)</b>	<b>F4 (%)</b>	<b>F5 (%)</b>
Aloe vera en polvo	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
Leche de coco en polvo	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
Cocoil isetionato de sodio	42.00	46.00	50.00	54.00	58.00
Aceite de jojoba	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
Aceite esencial de naranja	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Fenoxietanol	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Agua desionizada	32.70	27.70	22.70	17.70	12.70
<b>TOTALES</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

**Tabla 3.7.** Batería de pruebas para formulación de un shampoo sólido. Porcentajes en peso.

## Materiales y Método

- Vaso de precipitados de 100mL
- Parrilla de calentamiento
- Molde de silicón con cavidades
- Agitador manual
- Báscula digital
- Tiras de pH

Ya que el molde de silicón tiene una capacidad para 50g, las cantidades ajustadas por prueba son las siguientes:

<b>Ingrediente</b>	<b>F1 (g)</b>	<b>F2 (g)</b>	<b>F3 (g)</b>	<b>F4 (g)</b>	<b>F5 (g)</b>
Aloe vera en polvo	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
Leche de coco en polvo	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
Cocoil isetionato de sodio	21.00	23.00	25.00	27.00	29.00
Aceite de jojoba	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
Aceite esencial de naranja	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Fenoxietanol	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Agua desionizada	16.35	13.85	11.35	8.85	6.35
<b>TOTALES</b>	<b>50.00</b>	<b>50.00</b>	<b>50.00</b>	<b>50.00</b>	<b>50.00</b>

**Tabla 3.8.** Batería de pruebas para formulación de un shampoo sólido. Cantidades en gramos.

1. Pesar el aloe vera en polvo y la leche de coco en polvo y mezclar hasta obtener una mezcla de polvos uniforme (Fase A).
2. Pesar el cocoil isetionato de sodio, el aceite de jojoba y el agua desionizada en un vaso de precipitados y calentar a baño María a 60 °C. Mezclar hasta obtener una pasta homogénea fácil de manipular (Fase B).
3. Incorporar la Fase A a la Fase B. Mantener a 60 °C.
4. Con agitación constante, agregar el fenoxietanol y el aceite esencial de naranja.

5. Una vez obtenida una mezcla homogénea, trasvasar al molde de silicón y presionar la pasta en caso de que no fluya con facilidad, de manera que ésta quede bien compactada en la cavidad del molde.
6. Esperar a que la temperatura disminuya hasta igualar la temperatura ambiente para su completa solidificación.



**Figura 3.4.** Material utilizado para la elaboración de un shampoo sólido.



**Figura 3.5.** Elaboración de shampoo sólido. Izquierda: Pasta obtenida durante el mezclado. Derecha: Moldeo de la preparación en la cavidad del molde.

### 3.3. Productos sólidos líderes en el mercado

Con el objetivo de establecer una comparación efectiva entre las formulaciones propuestas y los productos que ya gozan de éxito comercial, resulta esencial seleccionar una marca representativa. Esto permitirá entender en profundidad las características de estos productos y, además, identificar posibles áreas de mejora que puedan enriquecer el diseño del producto en fases de desarrollo posteriores.

De acuerdo al sitio web oficial de LUSH® Cosmetics (2023), esta empresa fue fundada en Inglaterra en 1995 por Mo y Mark Constantine junto a cuatro co-fundadores y es conocida por su innovación en cosméticos sólidos, en particular por sus efervescentes bombas de baño y shampoos en barra. En la última década, la empresa no solo ha ganado notoriedad por sus productos, sino también por su activismo en defensa de los derechos de los animales, lo cual ha influido significativamente en la prohibición de las pruebas cosméticas en animales en varias regiones del mundo.

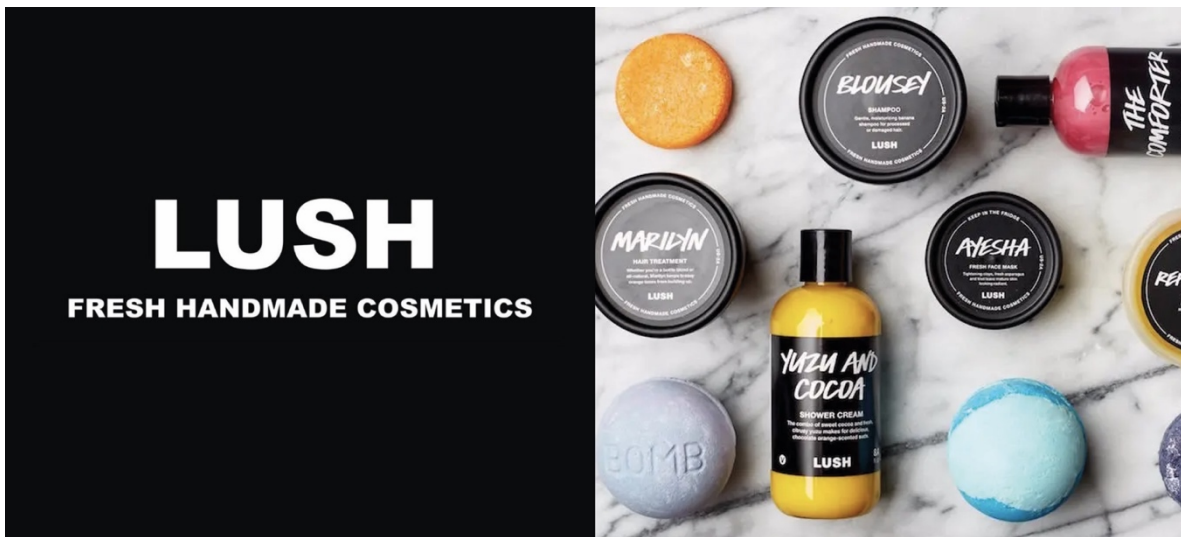



Figura 3.6. Publicidad de la marca LUSH®

Esta empresa tiene presencia en México y cuenta con muchos productos sólidos de los cuáles se seleccionarán los que presenten una función similar a la de las formulaciones propuestas en los apartados anteriores para poder realizar una evaluación cualitativa.



## Crema sólida

El producto disponible en México que más se asemeja a una crema sólida como la propuesta es el llamado Barra Hidratante *Sleep*, ya que es el único del catálogo en el sitio que cuenta con ingredientes emulsificantes y agua, a diferencia de otras barras que son sólo mezclas de aceites. De acuerdo a LUSH® México (2023), este producto contiene los siguientes ingredientes:

Fotografía del producto	INCI
	<p>Manteca de cacao orgánica, manteca de karité, agua de manzanilla, aceite de marula, perfume, almidón de maíz, resina de benjuí, aceite de lavanda, absoluto de Tonka, aceite de ylang ylang, glicerina, ácido esteárico, trietanolamina, alcohol cetearílico, bencil benzoato, bencil cinammato, bencil salicilato, cinnamal, cumarina, eugenol, farnesol, geraniol, isoeugenol, limoneno y linalool.</p>

**Tabla 3.9.** Ingredientes de la barra hidratante *Sleepy* de LUSH®. Fuente: LUSH® México (2023).

Al contener las mantecas vegetales en mayor proporción, agua de manzanilla, diversos aceites esenciales y resinas odoríferas y posteriormente los emulsificantes, se puede inferir que se trata de una emulsión W/O. Puede estudiarse de la siguiente forma:

1. Ingredientes activos: Manteca de cacao, manteca de karité, glicerina, agua de manzanilla y aceite de marula como hidratantes para la piel.
2. Vehículo o base: Emulsión W/O emulsificada con alcohol cetearílico, estructurada y estabilizada por almidón de maíz y ácido esteárico.


3. Aditivos auxiliares: Trietanolamina como regulador de pH; todos los aceites esenciales y resinoides, así como los últimos compuestos, que son moléculas pertenecientes a los aceites esenciales, forman parte de la fragancia.

Para poder realizar una comparación cualitativa, se propone:

- Realizar una prueba de temperatura de fundido gradual con una muestra de este producto y también de la muestra que resulte satisfactoria de las formulaciones que se han propuesto en este trabajo.
- Aplicar el producto en la piel como lo sugiere el fabricante y describir sus características, haciendo lo mismo con la muestra que resulte satisfactoria.

## Shampoo sólido

Se eligió el shampoo *Jason and the Argan Oil* ya que su función principal, según su descripción, es suavizar y fortalecer el pelo, siendo el mismo objetivo que el de las formulaciones que se han propuesto en este trabajo. De acuerdo a LUSH® México (2023), este producto contiene los siguientes ingredientes:

Fotografía del producto	INCI
	<p>Lauril sulfato de sodio, agua, alga agar, aceite de argán, glicerina, perfume, absoluto de rosa, aceite de geranio, aceite de limón de Sicilia, limoneno, cumarina, citronellol, geraniol, CL 17200</p>

**Tabla 3.10.** Ingredientes del shampoo sólido *Jason and the Argan Oil* de LUSH®.  
Fuente: LUSH® México (2023).

Es posible estructurar sus ingredientes de la siguiente manera:

1. Ingredientes activos: Aceite de Argán y glicerina como humectantes y reforzadores de la fibra capilar.
2. Vehículo o base: Pasta compuesta por lauril sulfato de sodio y agua.
3. Aditivos auxiliares: Alga agar como estabilizador de la formulación, aceites esenciales así como los últimos compuestos, que son moléculas pertenecientes a éstos, forman parte de la fragancia. Color CL 17200 para proveerle de presentación.

Se sugieren las siguientes pruebas cualitativas para comparación:

- Realizar una prueba de duración de espuma, sugerida por Viresh et al (2021) para evaluar y comparar la capacidad espumante entre barras limpiadoras (p. 284).
- Realizar una prueba de pH, sugerida por Tarun et al (2014), para comparar tipos de shampoo de manera estandarizada (p. 1).

Los cosméticos fueron adquiridos en la tienda ubicada en Paseo de la Reforma 180, Col. Juárez, Alcaldía Cuauhtémoc, C.P. 06600 en la Ciudad de México.

Cabe destacar que los productos son expedidos sin envases de plástico y en su lugar, su envase primario es papel encerado con ilustraciones de la marca así como bolsa de papel kraft como envase secundario.



# 4

---

## Resultados y Discusión

## 4.1. Resultados para crema hidratante sólida

Se llevó a cabo el procedimiento descrito en el capítulo previo, utilizando un molde de silicón con cavidades de 50 gramos. Estas cavidades fueron etiquetadas para garantizar la correcta identificación de todas las muestras en etapas posteriores. Durante la preparación, la temperatura ambiente se mantuvo en 20 °C y el proceso de elaboración de las muestras tuvo una duración promedio de 2 horas.

Una vez que las preparaciones estuvieron homogeneizadas, se vertieron y se dejaron enfriar. Para garantizar una adecuada solidificación y un enfriamiento gradual que evitara choques térmicos que pudieran comprometer la emulsión, las muestras se desmoldaron 24 horas después de su fabricación.



**Figura 4.1.** Pruebas realizadas para cada formulación propuesta de crema hidratante sólida.

F1: Esta formulación se elaboró con facilidad, resaltando la simplicidad en las etapas de mezclado y vertido tras lograr una consistencia uniforme. Al momento de verterlo, se detectó una formación significativa de burbujas.

En las primeras horas, el producto presentaba un aspecto semi traslúcido que, con el paso del tiempo, se tornó opaco. Al momento de desmoldar, se evidenció una pérdida de homogeneidad y la separación de la emulsión en dos fases. pH: 5.0



**Figura 4.2.** Resultado de la formulación F1.

F2: Se obtuvo una forma con mayor solidez respecto a la anterior; sin embargo, la firmeza de la pastilla obtenida fue muy baja, deformándose fácilmente al manipularla.

Se pudo apreciar existencia de gotas de aceite en la superficie de las diversas caras, por lo que no puede concluirse que la emulsión sea estable. pH: 5.5



**Figura 4.3.** Resultado de la formulación F2.



**Figura 4.4.** Resultado de la formulación F3.

F4: Esta formulación presentó una excelente uniformidad. Se notó ausencia total de gotas de aceite, lo que sugiere que la emulsión se logró con éxito. La untuosidad de la fórmula es adecuada y fácilmente puede fundirse en la piel al frotarse. En esta preparación, es notorio que la fragancia perfuma la piel. La pastilla es sólida y mantiene su forma sin importar que se manipule con las manos. pH: 5.5



**Figura 4.5.** Resultado de la formulación F4.



**Figura 4.6.** Resultado de la formulación F5.

F3: Esta formulación presentó mayor dureza que su predecesora, sin embargo aún era fácilmente maleable. A partir de esta formulación, la untuosidad de la preparación comenzó a notarse, a diferencia de la sensación provocada por F1 y F2, que era más aceitosa. En esta preparación aún se notan algunas gotas de aceite sobrenadante en las superficies, lo que indica que aún es incompleta la emulsión. pH: 5.5

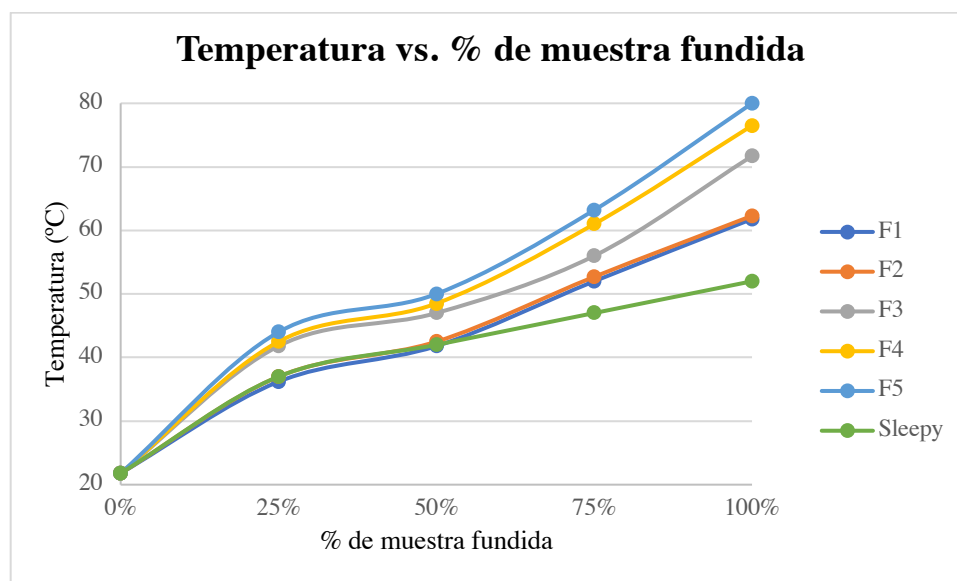
F5: La muestra sigue presentando solidez y mantiene su forma al manipularse con las manos. También es posible apreciar que existe uniformidad de contenido y ausencia de gotas de aceite, lo que sugiere que también se logró la emulsión. La untuosidad de la muestra es adecuada, aunque no se funde con la rapidez de la anterior. En esta preparación es notorio un aumento de porosidad. pH: 5.5

## Resultados de la prueba comparativa con marca líder

Se realizaron pruebas cualitativas sometiendo 5g de cada muestra a una corriente de aire caliente con una pistola térmica hasta fundirse por completo. El propósito fue determinar el comportamiento de cada muestra respecto a la temperatura. Para ello, se registró la temperatura a la cuál, visualmente se fundía el 25%, el 50%, el 75% y el 100% de la muestra. Las mediciones se realizaron con un termómetro infrarrojo directamente sobre la superficie de los materiales fundidos.

%	F1 (°C)	F2 (°C)	F3 (°C)	F4 (°C)	F5 (°C)	Sleepy (°C)
0.00	21.8	21.80	21.8	21.8	21.8	21.8
0.25	36.2	37.00	41.80	42.50	44.00	37.00
0.50	41.8	42.50	47.00	48.50	50.00	42.00
0.75	52	52.70	56.00	61.00	63.20	47.00
1.00	61.8	62.30	71.70	76.50	80.00	52.00

**Tabla 4.1.** Temperaturas de fundido de las formulaciones propuestas contra *Sleepy* de LUSH®.



**Figura 4.7.** Temperaturas de fundido de las formulaciones propuestas contra *Sleepy* de LUSH®.





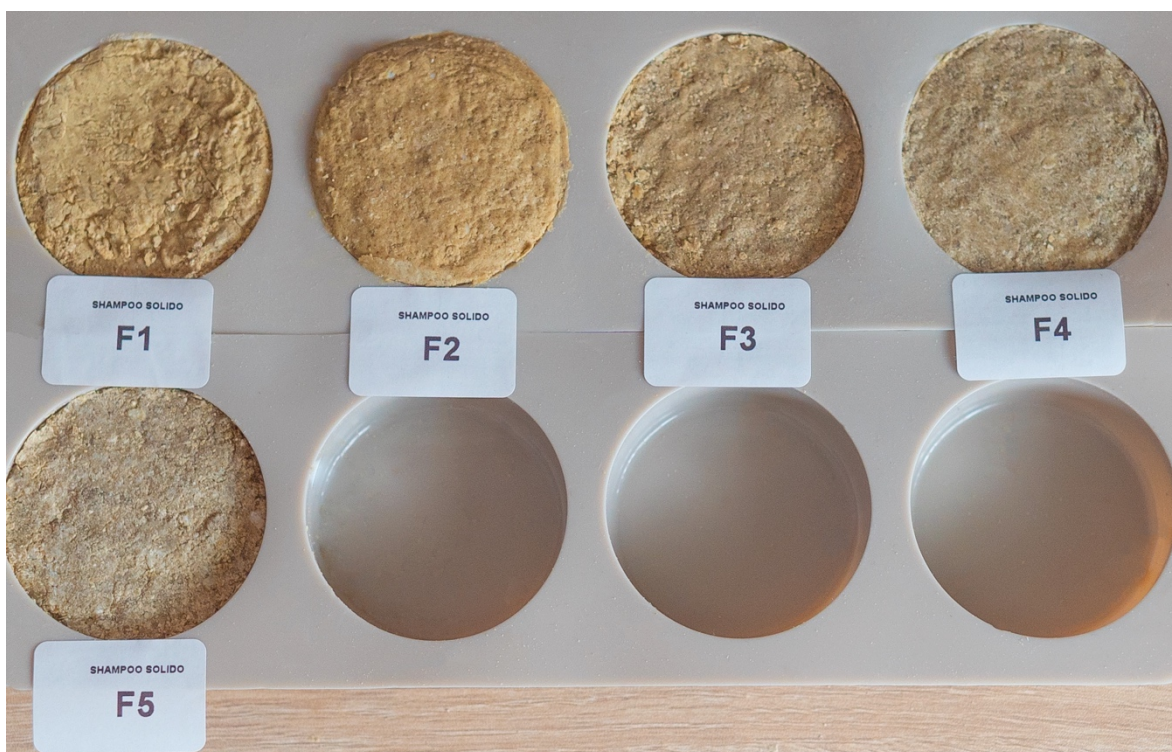
**Figura 4.8.** Muestra F4 a 21.8 °C.



**Figura 4.9.** Muestra F4 a 61 °C.

## 4.2. Resultados para shampoo sólido

La temperatura ambiente se mantuvo en 20 °C durante toda la preparación, la cuál tuvo una duración total de 2 horas. Igualmente, las muestras se desmoldaron pasadas 24 horas.



**Figura 4.10.** Pruebas realizadas para cada formulación propuesta de shampoo sólido.



**Figura 4.11.** Resultado de la formulación F1.

F2: En esta preparación, se notó un aumento de volumen durante su fabricación. La masa, a pesar de ser maleable, comenzó a presentar dificultad para su mezclado y posterior vertido. Visualmente se aprecian pocas roturas y quiebre en sus superficies, sin embargo, no moldeó adecuadamente. El olor del aceite esencial, como en la F1, también fue poco perceptible. pH: 4.5



**Figura 4.12.** Resultado de la formulación F2.



**Figura 4.13.** Resultado de la formulación F3.

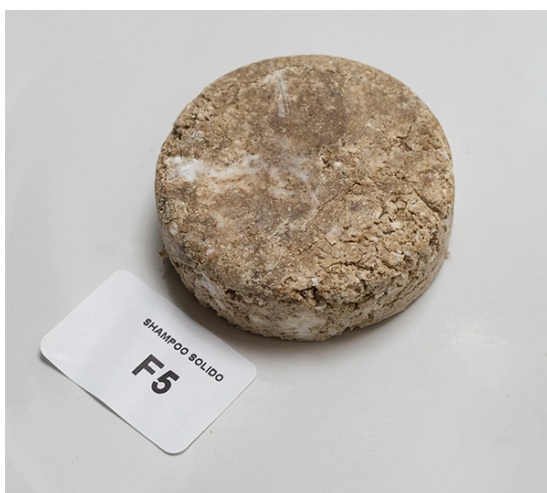
F1: La formulación fue muy fácil de mezclar ya que la pasta obtenida fue muy suave; igualmente, el vertido fue realizado con mucha facilidad. La muestra tardó mucho tiempo en solidificarse. Visualmente, tiene contenido uniforme con muy pocos quiebres en sus superficies. El aroma del aceite esencial fue modificado por el de la leche de coco, que predominó. pH: 4.5

F3: Al igual que con F2, fue más difícil el proceso de mezclado y vertido, sin embargo, el moldeo produjo una pastilla con buena solidez. Visualmente, el producto presentó pocas irregularidades en su superficie, la cuál fue notablemente más porosa a comparación de F1 y F2. Así como sucedió con las formulaciones anteriores, el olor del aceite esencial no se aprecia adecuadamente. pH: 4.5

F4: La dificultad durante el proceso de mezcla aumentó notablemente, haciendo más complicada la homogeneización de la masa y de su posterior vertido y moldeo. A pesar de que la dureza de la pastilla fue adecuada, la superficie presentó muchos quiebres y roturas, además de falta de uniformidad por material que no se mezcló adecuadamente. El olor de la leche de coco fue muy predominante. pH: 4.5



**Figura 4.14.** Resultado de la formulación F4.



**Figura 4.15.** Resultado de la formulación F5.

F5: Como en el caso de F4, el proceso de mezclado fue muy complicado, sin posibilidades de homogeneizar correctamente todos los compuestos de la fórmula. La dureza de la pastilla fue adecuada, sin embargo, se presentaron numerosas roturas, quiebres y evidencia de falta de uniformidad de contenido en todas las superficies del producto. El olor a coco siguió siendo el predominante. pH: 4.5

## Resultados de la prueba comparativa con marca líder

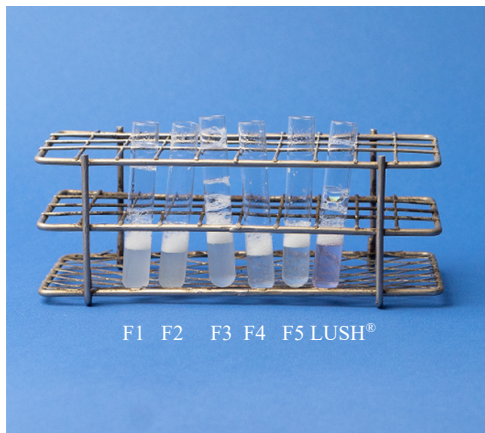
De acuerdo al procedimiento indicado por Viresh et al (2021) para evaluar cualitativamente la capacidad de formación de espuma (p. 284), se tomaron 5g como muestra de F1-F5 y del shampoo sólido de LUSH® en 50mL de agua desionizada y se sometieron a calentamiento para solubilizarlos por completo. Posteriormente, por cada muestra, se tomó 1mL de la solución resultante y se diluyó con 10mL de agua desionizada en tubos de ensaye.

Adicionalmente, siguiendo el procedimiento propuesto por Tarun et al (2014), se tomaron 0.15g como muestra de F1-F5 y del shampoo sólido de LUSH® y cada muestra se diluyó en 15mL de agua desionizada. Se mantuvieron en reposo por 24h y posteriormente se tomó el pH de cada solución (p. 1).

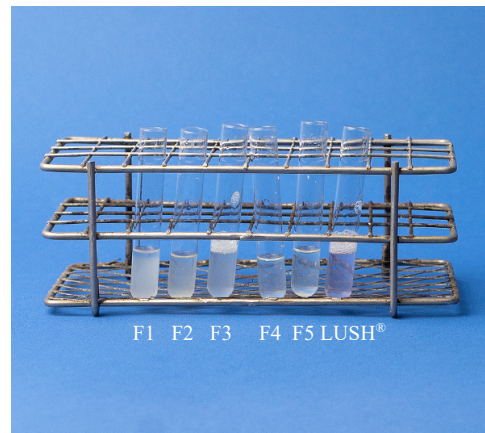
La siguiente tabla recoge los resultados obtenidos:

Muestra	pH	Duración de espuma (min)
F1	4.5	2.53
F2	4.5	3.66
F3	4.5	5.04
F4	4.5	4.43
F5	4.5	4.02
Shampoo sólido LUSH®	6.5	5.52

**Tabla 4.2.** pH y duración de espuma de formulaciones propuestas contra shampoo sólido *Jason and the Argan Oil* de LUSH®.



**Figura 4.16.** Aspecto inicial de las muestras para la prueba de formación de espuma.



**Figura 4.17.** Aspecto final de las muestras para la prueba de formación de espuma.

### 4.3. Discusión

#### Análisis de resultados para crema hidratante sólida

Al no emplearse instrumentos dedicados para la medida de dureza, emoliencia ni de uniformidad de contenido, se usará una escala cualitativa donde cada parámetro se evaluará del 1 al 5, donde:

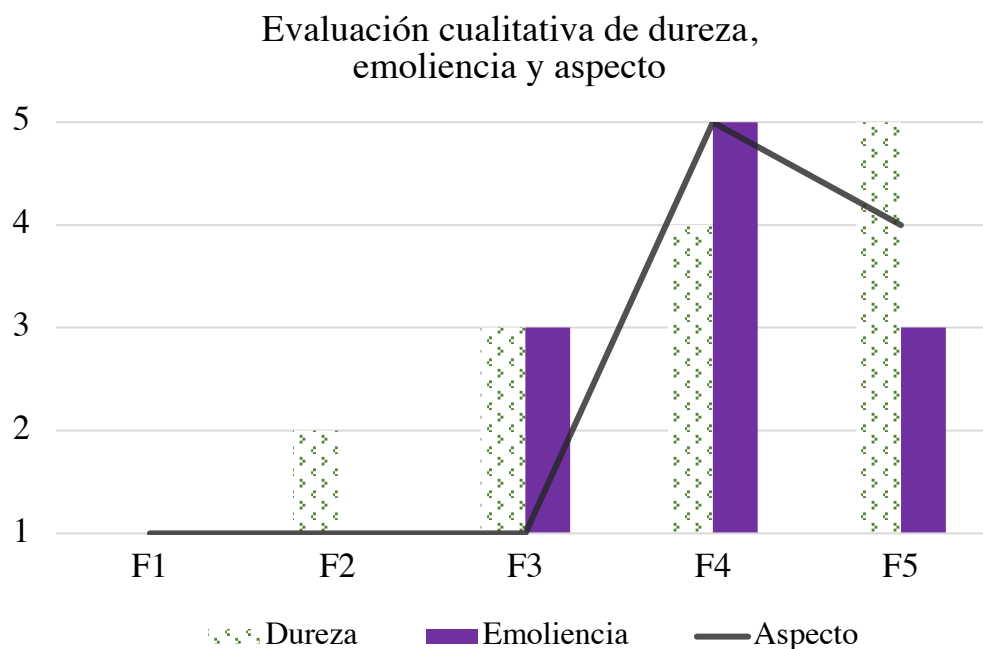
Escala	Dureza	Emoliencia	Aspecto
1	Muy baja	Muy baja	Inaceptable
2	Baja	Baja	Inadecuado
3	Moderada	Moderada	Regular
4	Alta	Alta	Adecuado
5	Muy alta	Muy alta	Excelente

**Tabla 4.3.** Escala de evaluación cualitativa para los resultados de crema hidratante sólida.

A pesar de que esta escala es de carácter cualitativo, puede sentar un antecedente para futuras optimizaciones en la formulación final, reduciendo los costos asociados a los estudios dedicados para la medida de estas características.

Muestra	Dureza	Emoliencia	Aspecto
F1	1	1	1
F2	2	1	1
F3	3	3	1
F4	4	5	5
F5	5	3	4

**Tabla 4.4.** Evaluación cualitativa de dureza, emoliencia y aspecto de las muestras de crema.



**Figura 4.18.** Evaluación cualitativa de dureza, emoliencia y aspecto de las muestras de crema.

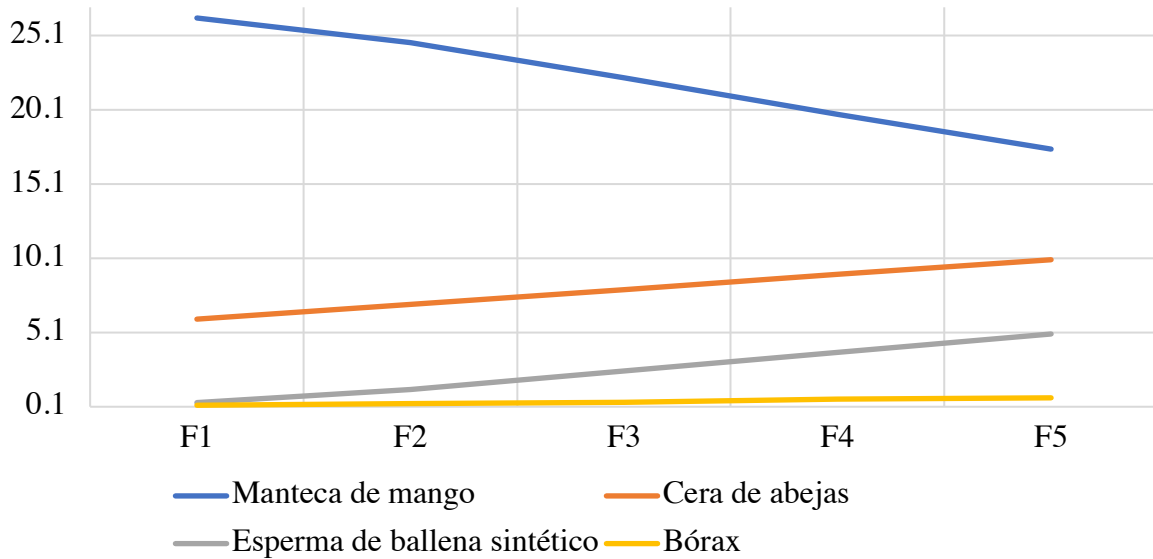
De las muestras F1 y F2 puede mencionarse que la dureza es muy baja, que existe contenido aceitoso libre y que no es emoliente y que el aspecto es inaceptable. Para F3, hubo una mejoría en la dureza y emoliencia, sin embargo, el aspecto tampoco es aceptable. La muestra F4 presenta una dureza alta, emoliencia muy alta y un aspecto excelente, mientras que la F5 pierde la emoliencia al ser muy alta la dureza de la pastilla, además de presentar un aspecto muy poroso.

Recordando la batería de pruebas propuestas de la Tabla 3.4., los compuestos que se clasificaron como variables son:

<b>Ingrediente</b>	<b>F1 (g)</b>	<b>F2 (g)</b>	<b>F3 (g)</b>	<b>F4 (g)</b>	<b>F5 (g)</b>
Manteca de mango	26.28	24.60	22.25	19.80	17.45
Cera de abejas	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
Esperma de ballena sintético	0.38	1.25	2.50	3.75	5.00
Bórax	0.20	0.30	0.40	0.60	0.70

**Tabla 4.5.** Cantidades variables de formulaciones propuestas para crema hidratante sólida.

Cantidades variables en la formulación de crema sólida



**Figura 4.19.** Cantidades variables de las formulaciones propuestas para crema hidratante sólida, en gramos.

Puede apreciarse que la reducción de la cantidad de manteca de mango y el aumento de la cera de abejas, del bórax y del esperma de ballena sintético dan como resultado mejores cualidades de consistencia a la preparación.

Para tener mayor certeza respecto a los experimentos realizados, es necesaria la revisión del HLB requerido de las diferentes formulaciones propuestas (véase Apéndice C), la cuál arroja los siguientes resultados:

Muestra	HLB <sub>req</sub>
F1	8.75
F2	8.89
F3	9.05
F4	9.22
F5	9.44

**Tabla 4.6.** HLB requerido de las muestradas realizadas.

Resulta evidente que el valor de HLB necesario para la formulación difiere del HLB 10 correspondiente al cetil palmitato. Además, existe una saponificación entre el ácido cerótico libre de la cera de abejas y el bórax (borato de sodio), lo cual genera un mecanismo de emulsificación suplementario. Dicho mecanismo no está claramente explicado en la literatura en cuanto a su contribución al valor de HLB, por lo que no es posible determinar su aporte exacto al HLB utilizando el sistema de Griffin.

Salisbury et al (1954) reportan que en una investigación en donde se evaluaron 55 emulsiones del sistema cera de abejas-bórax, el estudio del mecanismo de acción emulsificante descrito anteriormente, fue abandonado debido a la dificultad de solubilización del bórax al reducir la cantidad de agua en la emulsión (p. 118).

Recordando los objetivos del diseño de este producto, se requería que cumpliera con las siguientes cualidades:

- a) Estabilidad a temperatura ambiente pero fundirse en la piel con movimientos circulares. Suavidad al tacto y buena emoliencia.
- b) Dureza adecuada de la pastilla para no disgregarse al manipularla.
- c) Uniformidad del contenido.

Siendo que las muestras F1 a F3 no presentaron cualidades adecuadas y que no fueron emulsificadas correctamente y que la fórmula F5 presentó un aumento de porosidad y reducción de emoliencia, que son características indeseables para el producto que se está formulando, se descartan como opciones viables. Se tomará la F4 como muestra aceptable para seguir el análisis.

Retomando los resultados de la Tabla 4.1., encontramos que el producto *Sleepy* de LUSH® funde a una temperatura más baja que todas las muestras y específicamente, tiene una diferencia de temperatura de 5.5 °C respecto a la muestra F4 para comenzarse a fundir; sin embargo, la diferencia en cuanto a la manipulación del producto y emoliencia es muy marcada entre ambas.





**Figura 4.20.** Aspecto de F4 sobre la piel. Izquierda: Distribución del producto antes de aplicar movimientos circulares. Derecha: Absorción del producto una vez comenzados los movimientos.



**Figura 4.21.** Aspecto de *Sleepy* sobre la piel.

Mientras que F4 no funde al momento del contacto con la piel, se distribuye y absorbe fácilmente, dejando una sensación tersa. Aunque el producto *Sleepy* presenta mayor facilidad de fundido, deja una sensación aceitosa que no se absorbe fácilmente, provocando un tacto graso y brillo en sobre la superficie de la piel.

Anteriormente se mencionó que los productos sólidos comercializados por LUSH® son entregados en bolsas enceradas. Esto representa una alternativa ecológica al uso de plásticos de un solo uso como las bolsas de PEBD o envases de PET y PEAD, sin embargo, el producto corre riesgo de derretirse o de ser aplastado por la facilidad con la que se funde. Uno de los objetivos planteados para formular una crema hidratante sólida fue que tuviera estabilidad a temperatura ambiente y no disgregarse al manipularla. Una ventaja de la muestra F4 es que presenta buenas cualidades en cuanto a su manipulación sin comprometer su emoliencia, absorción y firmeza. Esto permite que el producto pueda envasarse en un empaque ecológico, como kraft o cartón, sin poner en riesgo su integridad y sin comprometer al medio ambiente.

## Análisis de resultados para shampoo sólido

Se empleará el mismo método de evaluación cualitativa que en el apartado anterior para los siguientes parámetros:

Escala	Dureza	Formación de espuma	Aspecto
1	Muy baja	Muy baja	Inaceptable
2	Baja	Baja	Inadecuado
3	Moderada	Moderada	Regular
4	Alta	Alta	Adecuado
5	Muy alta	Muy alta	Excelente

**Tabla 4.7.** Escala de evaluación cualitativa para los resultados de shampoo sólido.

En el caso del criterio de la espuma, en la Tabla 4.2. se encuentran valores de duración de espuma medidos para F1-F5 y el shampoo sólido de LUSH®, siendo como sigue:

$$\text{Shampoo sólido LUSH}^{\circledR} > F3 > F4 > F5 > F2 > F1$$

Donde “Muy alta” corresponde al de mayor duración y “Muy baja” al de menor.

Muestra	Dureza	Duración de Espuma	Aspecto
F1	2	1	5
F2	3	2	2
F3	4	5	5
F4	5	4	1
F5	5	3	1
Shampoo sólido LUSH®	5	5	5

**Tabla 4.8.** Evaluación cualitativa de dureza, duración de espuma y aspecto de las muestras de shampoo sólido.

Evaluaciones cualitativas para shampoo sólido

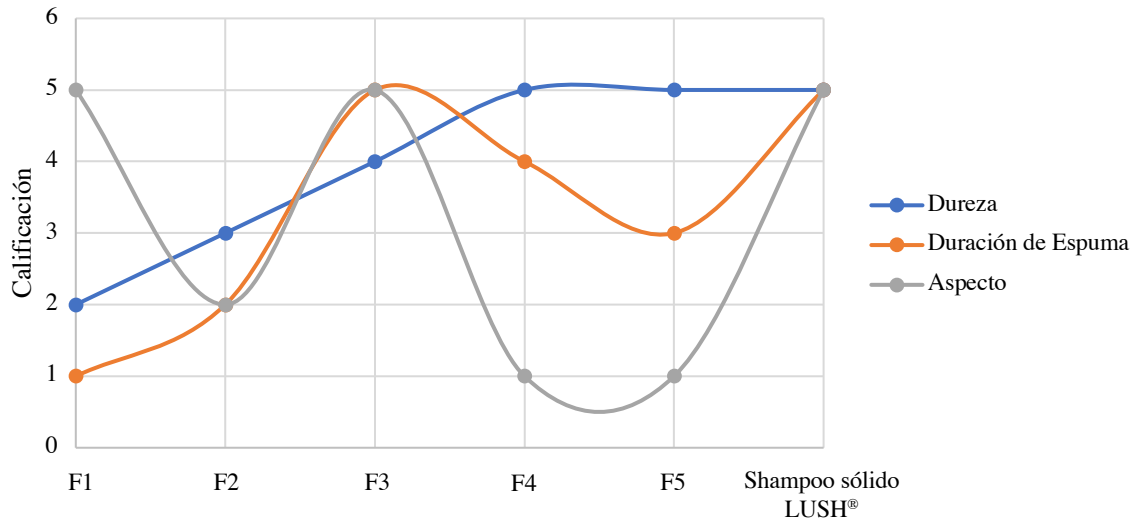


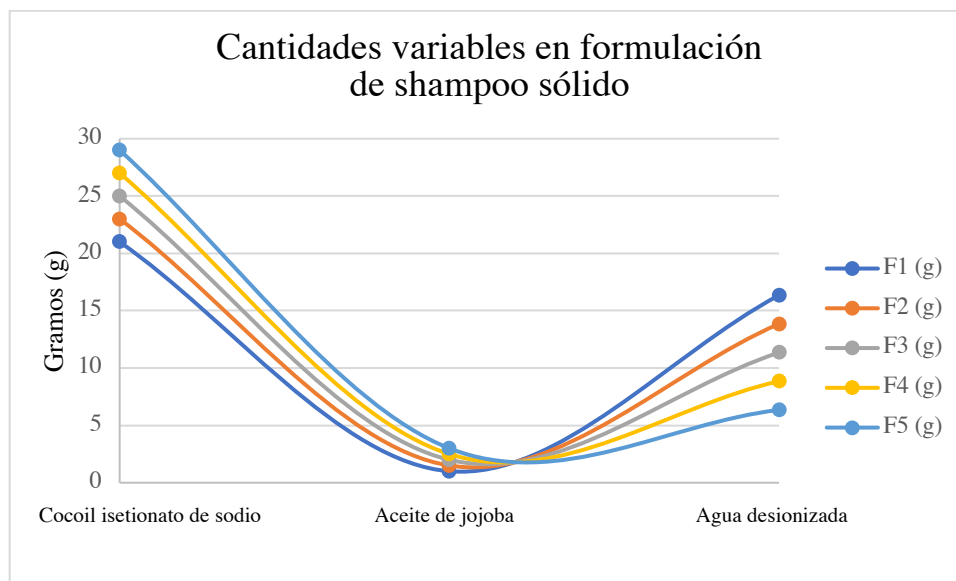
Figura 4.22. Evaluaciones cualitativas para shampoo sólido.

Es posible observar que la dureza de las muestras F1-F3 es cualitativamente más baja que las F4-F5 y el shampoo sólido de LUSH®. Por otro lado, la duración de espuma aumenta notablemente en F3, siendo equiparable con la muestra comercial, sin embargo, decae en las muestras F4 y F5. El aspecto de las pastillas es irregular, y sólo la muestra F3 tiene un aspecto similar al del shampoo comercial.

Retomando las cantidades variables propuestas para las formulaciones de la Tabla 3.8., se tiene la siguiente información:

Ingrediente	F1 (g)	F2 (g)	F3 (g)	F4 (g)	F5 (g)
Cocoil isetonato de sodio	21.00	23.00	25.00	27.00	29.00
Aceite de jojoba	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
Agua desionizada	16.35	13.85	11.35	8.85	6.35

Tabla 4.9. Cantidades variables de formulaciones propuestas de shampoo sólido, en gramos.



**Figura 4.23.** Cantidades variables en formulación de shampoo sólido.

Para las muestras F1 y F2, las pastillas resultantes se disgregan fácilmente y no tienen buena formación de espuma. En este caso, la cantidad de cocoil isetionato de sodio fue de 21g y 23g y la de agua desionizada, de 16.35g y 13.85g, respectivamente. Esto implica que la cantidad de agua en la formulación no es la adecuada para mantener una solidez aceptable en la pastilla y que el nivel de tensoactivo es relativamente bajo. La muestra F3 presenta un ligero aumento en dureza respecto a F1 y F2, con un aspecto uniforme y formación de espuma equiparables a los de la muestra comercial, además de no disgregarse al manipularla.

Respecto a las observaciones de dureza, es posible notar que ésta se ve favorecida con el aumento de cocoil isetionato de sodio y la disminución de agua desionizada, sin embargo, las pastillas que presentan quiebres, roturas y disminución de uniformidad de contenido, son justamente F4 y F5, en donde se aumentó a 27g y 29g el cocoil isetionato de sodio y se disminuyó de 8.85g a 6.35g el agua desionizada, respectivamente.

Gracias a la evidencia de la prueba de formación de espuma, podemos notar que un aumento en la cantidad de tensoactivo, no necesariamente resulta en un aumento de la capacidad de formación de ésta.

Recordando los requisitos que se plantearon en la formulación de este producto, la muestra satisfactoria tenía que cumplir lo siguiente:

- a) Buena formación de espuma.
- b) Dureza adecuada de la pastilla para no disgregarse al manipularla.
- c) Uniformidad del contenido.

En este caso, la muestra F3 es la que mejor cumple con estas características, aunque la dureza podría aumentarse en una optimización futura de la formulación. El shampoo sólido de LUSH® indica en sus ingredientes que contiene alga agar, que probablemente funciona como ligante y estabilizador de la fórmula, promoviendo la unión de los ingredientes, lo que produce mayor resistencia de la masa. Adicionalmente, el producto contiene lauril sulfato de sodio, el cuál es un tensoactivo aniónico con gran capacidad de formación de espuma.

En el caso del shampoo sólido que se ha formulado en este trabajo, se buscaba que presentara características de limpieza y de acondicionamiento, por lo que fueron seleccionados el aloe vera en polvo, la leche de coco, el aceite de jojoba y un tensoactivo suave como el cocoil isetionato de sodio.

El hecho de que F3 presente una capacidad formadora de espuma equiparable a la de un shampoo comercial formulado con lauril sulfato de sodio, puede considerarse como una fortaleza para la formulación propuesta, ya que los shampoos *sin sulfatos*<sup>16</sup>, a pesar de ser excelentes limpiadores suaves con el cuero cabelludo, usualmente son señalados por los consumidores como productos con pobre formación de espuma.

Otro aspecto importante a destacar es que F1 – F5 presentaron un valor constante de pH de 4.5 mientras que la muestra del producto líder se midió en 6.5.

---

<sup>16</sup> Sin sulfatos: Denominación comercial en la industria cosmética para referirse a productos libres de lauril sulfato de sodio, lauril éter sulfato de sodio y lauril sulfato de trietanolamina.

Gavazzoni et al (2014) menciona que existen aspectos en la formulación, como la concentración, la calidad de los ingredientes, la adición de compuestos lubricantes y antiestáticos así como el pH, que afectan el resultado final del uso de un shampoo. El pH del cuero cabelludo es de 5.5. y el del tallo del cabello, de 3.67.

Actualmente no existe un valor estandarizado para el pH en productos capilares, pero es recomendable que los shampoos no contengan un pH mayor a 5.5 para no dañar el cuero cabelludo. En el caso de shampoos con pH superior a 6.0, probablemente están formulados para cumplir con el concepto de *tear free*<sup>17</sup>, que se refiere a que no causa molestias en los ojos, por tener un pH similar al de las lágrimas (p. 95-98).

A pesar de que la fragancia no fue objeto de estudio en este trabajo, cabe mencionar que el producto de LUSH® mantiene un agradable perfume a rosas que no puede pasar desapercibido. Las fragancias en los productos de cuidado personal son cualidades añadidas que representan un factor comercial de compra importante para el consumidor. En el caso de las formulaciones propuestas, fue notorio que el olor de la leche de coco predominó notablemente sobre el aceite esencial, por lo que este aspecto debería evaluarse en F3 para una posible optimización futura en la formulación.

Respecto al empaque, los shampoos sólidos pueden comercializarse en cajas de cartón, que además de proteger la integridad de la pastilla, son una alternativa ecológica respecto a los envases de PET y PEAD que se usan actualmente para las formulaciones líquidas. La muestra F3 es susceptible de mejoramiento respecto a su dureza y bien podría comercializarse localmente como lo hace LUSH®, en bolsas de papel kraft o en cajitas de cartón para poderse enviar a diferentes sitios.

---

<sup>17</sup> Tear free: “Libre de lágrimas”. Concepto comercial en la industria cosmética para referirse a shampoos y productos que no provocan irritación en los ojos, por tanto, no se producen lágrimas al contacto.

# 5

---

## **Conclusiones y Recomendaciones**

Se cumplió el objetivo general de analizar el panorama nacional de la contaminación provocada por los envases de plástico del segmento estudiado, así como sus efectos en el medio ambiente.

Igualmente, como objetivos particulares: se estimó la cantidad aprovechada y que no se recupera de los residuos sólidos urbanos de esta actividad, se analizaron productos representativos del mercado y se propusieron formulaciones de productos en forma sólida que mitiguen los efectos nocivos al medio ambiente.

Se lograron formular cosméticos sólidos que podrían sustituir a los productos líquidos que son envasados en PET y PEAD. Esto quiere decir que desde el punto de vista técnico y de diseño de producto, es factible la reducción significativa de los RSU plásticos contaminantes de la industria cosmética en el país que aplica a los segmentos estudiados en esta tesis. Es por eso que puede concluirse que la hipótesis es viable.

Es importante destacar que la mera introducción de estos productos al mercado no garantiza una solución total al problema ambiental sin la implementación de otras estrategias que aborden distintas facetas del mercado. Hay que considerar otros factores para obtener una visión más completa que no puede ser atendida únicamente por la ingeniería química sin el apoyo de otras disciplinas.

Anteriormente, en la Tabla 2.34., se ha mencionado que existe un potencial contaminante de PET/PEAD de 1,099 toneladas por día pertenecientes a estos segmentos de la industria cosmética. Es notable que el problema ambiental en México es mayúsculo, por lo que poner en marcha acciones en el corto plazo sería deseable para intentar mitigar los efectos nocivos de la contaminación por estos envases en los ecosistemas descritos a lo largo de este trabajo.

La concientización del consumidor es vital ya que no puede esperarse un cambio en los hábitos de consumo si no existe pleno conocimiento de alternativas más sostenibles y de las ventajas que éstas representan tanto para éste como para el medio ambiente.



Según Amberg y Fogarassy (2019), la relación entre productores y consumidores en torno a los "cosméticos verdes" ha mostrado una creciente receptividad, impulsada por una reciente tendencia de mayor conciencia sobre la salud y el medio ambiente. Además, los formuladores de cosméticos disponen ahora de más alternativas en materias primas de origen natural o derivadas de procesos químicos sostenibles y no petroquímicos. Paralelamente, los especialistas en empaques tienen la posibilidad de emplear envolturas y recipientes ecológicos, como biopolímeros o cartón (p. 1-7).

Este panorama abre un abanico de posibilidades positivas respecto al diseño de productos sustentables que tengan un mínimo impacto ambiental en el corto, mediano y largo plazo. El uso de herramientas comerciales como la publicidad y el marketing son primordiales para una comunicación efectiva con el potencial consumidor de este tipo de productos.

“Los consumidores están cada vez más interesados en una solución medioambiental, en un estilo de vida amigable y no sólo consideran las perspectivas de protección del medio ambiente, sino que también quieren ventajas personales de los productos ecológicos” Amberg y Fogarassy (2019, p.8).

Los dos párrafos anteriores guardan un estrecho vínculo ya que actualmente no basta con ofertar un producto sustentable o ecológico al potencial consumidor y esperar que únicamente por ello lo adquiera, sino de ofrecerle, por lo menos, las mismas ventajas que le proporcionan los productos tradicionales que consume.

El desarrollo de productos sustentables consta de varias etapas, las cuáles son descritas por Ahmad et al (2018) y las dividen en cuatro: en la primera etapa se lleva a cabo la planificación y definición del problema, a la cual le sigue el diseño conceptual. Durante esta fase, se identifican las características esenciales del producto. Una vez definidas estas características, se proponen conceptos alternativos y se establecen las especificaciones de diseño. La tercera etapa aborda el diseño preliminar, donde se desarrollan y evalúan estos conceptos alternativos, y se selecciona el más adecuado. Finalmente, en la etapa de diseño detallado, se profundiza en el concepto escogido, se efectúa una evaluación adicional y optimización, se

determinan las necesidades de fabricación y mantenimiento, y se culmina con la documentación y comunicación pertinente (p. 50-51).

Empleando las etapas descritas por Ahmad et al (2018), podemos situar que la investigación y el trabajo experimental desarrollados en esta tesis abarcan de la primera a la tercera etapa de diseño sustentable, ya que se realizó una definición del problema y se diseñaron dos productos que contenían características esenciales respecto a los tradicionales.

Posteriormente, se establecieron especificaciones de diseño como lo fueron las formulaciones propuestas. Finalmente, como establece la tercera etapa, se evaluaron las propuestas para seleccionar las más adecuadas. Comercialmente, la cuarta etapa puede realizarse habiéndose completado otra batería de pruebas de optimización de formulaciones, tests como lo son estudios de mercado, pruebas con voluntarios para evaluar las propiedades organolépticas de los productos así como ensayos de estabilidad, los cuáles, se realizan para asegurar que el producto será estable y seguro una vez lanzado al mercado.

En conclusión, la formulación de cosméticos sólidos puede reducir significativamente el uso de envases plásticos contaminantes en la industria cosmética. Sin embargo, la solución completa requiere estrategias multifacéticas y una mayor conciencia del consumidor sobre las alternativas sostenibles.

Es importante tomar en cuenta que como egresados de la Facultad de Química, los retos para las generaciones actuales y futuras son inmensos en materia ambiental, por lo que gracias a la formación que ésta nos proporciona, tenemos herramientas para mejorar nuestro planeta y retribuir a nuestro país como profesionistas.

# 6

---

## Bibliografía

1. Adamson, A., Gast, A., 1997. *Physical Chemistry of Surfaces*. 6ª Edición, Nueva York: John Wiley & Sons, Inc.
2. Ahmad, S., Wong, K. Y., Tseng, M. L., & Wong, W. P. (2018). Sustainable product design and development: A review of tools, applications and research prospects. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 49–61.
3. Akdogan, Z., Guven, B., (2019). Microplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs, *Environmental Pollution*, Vol. 254, Part A
4. Amberg, N., & Fogarassy, C. (2019). Green Consumer Behavior in the Cosmetics Market. *Resources*, 8(3), 137.
5. Álvarez Filip, L., Flores Vargas, M., Pérez Cervantes, E., Pérez España, H., Perusquía Ardón, J., Reyes Bonilla, H., Rivera Garibay, O., Santillo, D., (2019). Estudio sobre el impacto de la contaminación por microplásticos en peces de México, *Greenpeace*.
6. Álvarez Zeferino, Juan Carlos, (2020). *Factores que inciden en la presencia de microplásticos en playas mexicanas*. [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Baja California]. Repositorio Institucional UABC
7. Banco de México (2023), Cubo de Información de Comercio Exterior, Cubo de Información – Volumen, Recuperado el 03 de julio de 2023 de <https://www.banxico.org.mx/CuboComercioExterior/>
8. Banco de México (2023), Cubo de Información de Comercio Exterior, Cubo de Información – Valor en Dólares, Recuperado el 03 de julio de 2023 de <https://www.banxico.org.mx/CuboComercioExterior/>
9. BANXICO (2023). Cubo de Información de Comercio Exterior. Recuperado el 3 de julio de 2023, de <https://www.banxico.org.mx/CuboComercioExterior/>

10. Baran, R., Maibach, H., 2017. Textbook of Cosmetic Dermatology, 5ª Edición, Nueva York: CRC Press.
11. Baran, R., Maibach, H., Shai, A., 2009. Handbook of Cosmetic Skin Care, 2ª Edición, Reino Unido: Informa Healthcare.
12. Barel, A., Paye, M., Maibach, H., 2009. Handbook of Cosmetic Science and Technology, 3ª Edición, Reino Unido: Informa Healthcare.
13. Bianchi, Tiago (2023), Global Market Share of Leading Desktop Search Engines 2015-2023. *Statista.com*. Recuperado el 8 de julio de 2023, de <https://www.statista.com/statistics/216573/worldwide-market-share-of-search-engines/>
14. Billmeyer, Fred W. Jr., 1975. Ciencia de los Polímeros, 2ª Edición, Barcelona: Editorial Reverté.
15. Cáceres Martínez, C., Acevedo Rincón, A., Sánchez Montaña, L., (2015). Registros de plásticos en la ingesta de *Tremarctos ornatus* (Carnívora: Ursidae) y de *Nasuella olivacea* (Carnívora: Procyonidae) en el Parque Nacional Natural Tamá, Colombia, *Revista Mexicana de Biodiversidad*.
16. Castellan, G., 1987. Fisicoquímica. 2ª Edición, Estado de México: Addison Wesley Iberoamericana.
17. Chamas, A., Moon, H., Zheng, J., Qiu, Y., Tabassum, T., Hee Jang, J., Abu-Omar, M., Scott, S., Suh, S., (2020). Degradation Rates of Plastics in the Environment, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8 (9), 3494-351.
18. Chaukura, N.; Kefeni, K.K.; Chikurunhe, I.; Nyambiya, I.; Gwenzi, W.; Moyo, W.; Nkambule, T.T.I.; Mamba, B.B.; Abulude, F.O. Microplastics in the Aquatic Environment—The Occurrence, Sources, Ecological Impacts, Fate, and Remediation Challenges. *Pollutants* 2021, 1, 95–118.
19. Chen, H., (2004). Thermodynamic Modelling of Surfactant Solutions. Technical University of Denmark.

20. Cheng Y., Du, Z., Li, B., Song W., Tian, H., Wang, J., Zhang, K., Zhang, W., Zhu, L., (2021). The effects of high-density polyethylene and polypropylene microplastics on the soil and earthworm *Metaphire guillelmi* gut microbiota. *Chemosphere*, 267, 129219.
21. Da Freitas, L., González, F., Ruíz, Á., Saenz, A., (2013). Queranocitos y queratinización. *Dermatología Pediátrica Latinoamericana*, Vol. 11, Núm. 1.
22. Dayan, Nava. 2017. Handbook of Formulating Dermal Applications: A Definitive Practical Guide. Nueva Jersey. Scrivener Publishing.
23. Draelos, Z. 2005. Hair Care: An Illustrated Dermatologic Handbook. Reino Unido. Taylor & Francis Group.
24. Draelos, Z., (2000). COSMETICS AND SKIN CARE PRODUCTS. *Dermatologic Clinics*, 18(4), 557–559.
25. Fustero, I., (2006). Cremas y preparados nutritivos. *Dermofarmacia*, Vol. 25, Núm. 1, OFFARM.
26. Gavazzoni, M., Pichler, J., Adriano, A., Cecato, P., de Almeida, A. (2014). The Shampoo pH can Affect the Hair: Myth or Reality?. *International Journal of Trichology*. 6(3), 95.
27. Gao, Y., Lei, Y., Wu, Y., Liang, H., Li, J., Pei, Y., Liu, S., (2021). Beeswax: A potential self-emulsifying agent for the construction of thermal-sensitive food W/O emulsion. *Food Chemistry*. 349. 129203.
28. Gerstein, Terry. (1976). Formulación de un Shampoo Acondicionador. (Patente de Estados Unidos de América No. 3990991). Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos de América.
29. Gharahi, N., Zamani-Ahmadmahmoodi, R., (2022). Effect of plastic pollution in soil properties and growth of grass species in semi-arid regions: a laboratory experiment. *Environ Sci Pollut Res* 29, 59118–59126
30. Google (2023), Resultados de Búsqueda para “crema corporal” en Tendencias de Mercado en Google Trends. *Trends.google.com*. Recuperado el 8 de julio de 2023, de <https://trends.google.com/trends/explore?cat=44&date=today%20-y&geo=MX&q=crema%20corporal&hl=es-419>
31. Google (2023), Resultados de Búsqueda para “shampoo” en Tendencias de Mercado en Google Trends. *Trends.google.com*. Recuperado el 8 de julio de 2023, de

<https://trends.google.com/trends/explore?cat=44&date=today%205-y&geo=MX&q=shampoo&hl=es-419>

32. Gracia-Fadrique, J., Novelo Torres, M., (2005). Concentración micelar crítica mediante la ecuación de adsorción de Gibbs. *Educación Química: Fisicoquímica*, Vol. 16, Núm. 1, Universidad Nacional Autónoma de México.
33. Greenpeace México (2019). Estado del Reciclaje en México: Informe. Recuperado el 19 de junio de 2023, de <https://actua.greenpeace.org.mx/reciclar-no-es-suficiente>
34. Griffin, W., (1949). Classification of Surface-Active Agents by “HLB”. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, Vol. 1, p. 311-326.
35. Griffin, W., (1954). Calculation of HLB Values of Non-Ionic Surfactants. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, Vol. 5, p. 249-256.
36. Halla, N., Fernandes, I., Heleno, S., Costa, P., Boucherit-Otmani, Z., Boucherit, K., Rodrigues, A., Ferreira, I., Barreiro, M., (2018). Cosmetics Preservation: A Review on Present Strategies. *Molecules*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
37. INCI Decoder (2023), St. Ives® Piel Renovada. *Incidecoder.com*. Recuperado el 10 de de 2023, de <https://incidecoder.com/products/st-ives-crema-piel-renovada>
38. INEGI, (2021). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021. Recuperado el 3 de junio de 2023, de <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2021/>
39. INEGI, (2023). Banco de Información Económica. Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera, Serie 2018, Volumen de Producción por Clase de Actividad y Producto. Recuperado el 7 de julio de 2023, de <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0#D681246>
40. ISO 9000, (2015). Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario, 3.6. *Términos Relativos a los Requisitos*, 2, International Organization for Standardization
41. Ji, Li-na, (2013). Study on Preparation Process and Properties of Polyethylene Terephthalate (PET). *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 312 (2013) pp 406-410
42. Levine, I., (2004). Fisicoquímica. Vol.1, 5ª Edición, Madrid: McGraw-Hill.
43. López Barajas, Fabiola, (2014). *Estudio del efecto del procesamiento y la extensión de cadena sobre las propiedades reológicas y mecánicas de PET. Una alternativa al*

- reciclado*. [Tesis de maestría, Centro de Investigación en Química Aplicada]. Repositorio Institucional CIQA
44. LUSH® Cosmetics (2023), Quiénes Somos. *Weare.lush.com*. Recuperado el 15 de octubre de 2023, de <https://weare.lush.com/es/lush-life/nuestra-empresa/quienes-somos/>
  45. LUSH® México (2023), Tienda en Línea. *Lush.mx*. Recuperado el 15 de octubre de 2023, de <https://lush.mx/products/02640mx?variant=45293855441187>
  46. LUSH® México (2023), Tienda en Línea. *Lush.mx*. Recuperado el 15 de octubre de 2023, de <https://lush.mx/products/02640mx?variant=45293855441187>
  47. Mackenzie, L. Davis, 2013. *Introduction to Environmental Engineering*, 5ª Edición, Nueva York: McGraw-Hill.
  48. Martins, A., Marto, J., (2023). A sustainable life cycle for cosmetics: From design and development to post-use phase. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 35, 101178.
  49. Megías, M., Molist P., Pombal MA., (2023). Atlas de Histología Vegetal y Animal. Facultad de Biología, Universidad de Vigo. España. Recuperado el 31 de julio de 2023, de: <http://mmegias.webs.uvigo.es/inicio.html>
  50. Miller Pérez, C; Sánchez Islas, E.; Mucio Ramírez, S.; Mendoza Sotelo, J.; León Olea, M., Los contaminantes ambientales bifenilos policlorinados (PCB) y sus efectos sobre el sistema nervioso y la salud. *Salud Mental*, 2019, 32: 335-346.
  51. Muñoz, J., (2008). Hidratación Cutánea: Estética y Salud. *Dermofarmacia*, Vol. 27, Núm. 11, OFFARM.
  52. Nisticò, R., (2020). Polyethylene terephthalate (PET) in the packaging industry. *Polymer Testing Journal*, 90, Elsevier.
  53. Okamura, T., (2014). Polyethylene (PE; Low Density and High Density). *Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials*. 1-5.
  54. Olam, M. (2023). Mechanical and Thermal Properties of HDPE/PET Microplastics, Applications, and Impact on Environment and Life. IntechOpen.
  55. Ortega Leyva, María Natalia, Industria del Plástico en México cierra con números positivos, [www.pt-mexico.com/](http://www.pt-mexico.com/). Recuperado el 15 de junio de 2023, de <https://www.pt-mexico.com/noticias/post/industria-del-plastico-en-mexico-cierra-2022-con-numeros-positivos>

56. Pons, L., (2001). Ácido hialurónico (hyaluronan) en el tejido conjuntivo dérmico. *Cosmética al día*, Vol. 20, Núm. 1, OFFARM.
57. PROFECO, (2017). Productos para el cuidado personal de la mujer. Recuperado el 20 de julio de 2023, de <https://www.gob.mx/profeco/documentos/productos-para-el-cuidado-personal-de-la-mujer?state=published>
58. PROFECO, (2021). Contaminación por Plástico. Recuperado el 18 de julio de 2023, de <https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/contaminacion-por-plastico>
59. Radin, S., (2020). Waterless beauty can help save the planet, and Your skin. Revista British Vogue. Reino Unido. Recuperado el 30 de julio de 2023, de: <https://www.vogue.co.uk/beauty/article/waterless-beauty>
60. Rivas Miguel y Garella Orneli, (2021). Impacto de la Contaminación por Plásticos en la Biodiversidad y Patrimonio Biocultural de México. Heinrich Böll Stiftung. Recuperado el 18 de julio de 2023, de <https://mx.boell.org/es/2021/03/10/impacto-de-la-contaminacion-por-plasticos-en-la-biodiversidad-y-patrimonio-biocultural>
61. Rivera Garibay Omar Oslet, Álvarez-Filip Lorenzo, Rivas Miguel, Garelli-Ríos Ornela, Pérez Cervantes Esmeralda y Estrada-Saldívar Nuria (2020). Impacto de la contaminación por plástico en áreas naturales protegidas mexicanas. Greenpeace México.
62. Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. 2019. *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Roma, FAO.
63. Rosen, M., Kunjappu, J., 2012. *Surfactants and Interfacial Phenomena*, 4ª Edición, Nueva Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
64. Rutter, N. (2000). The dermis. *Seminars in Neonatology*, 5(4), 297–302.
65. Sakamoto, K., Lochhead, R., Maibach, H., Yamashita, Y., 2017. *Cosmetic Science and Technology: Theoretical Principles and Applications*. Reino Unido: Elsevier.
66. Salisbury, R., Leuallen, E.E., Chavkin, L. (1954). The Effect of Phase Volume Ratio on Emulsion Type, *Journal of the American Pharmaceutical Association*, 43 (2), 117-119.



67. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. *Norma Mexicana NMX-AA-091-1987 Calidad del Suelo: Terminología*. Recuperado el 10 de julio de 2023, de <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa091.pdf>
68. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. *Norma Mexicana NMX-AA-022-1985 Protección al Ambiente – Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos Municipales – Selección y Cuantificación de Subproductos*. Recuperado el 10 de julio de 2023, de <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/NMX-AA-022-1985.pdf>
69. Secretaría de Obras y Servicios (2020). Estación de Transferencia y Planta de Selección Azcapotzalco. Recuperado el 12 de julio de 2023, de <https://gobierno.cdmx.gob.mx/noticias/estacion-de-transferencia-y-planta-de-seleccion/>
70. SEDEMA, (2020), Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México. Recuperado el 15 de junio de 2023, de [https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGCPCA/IRS\\_2020\\_vf\\_anexos.pdf](https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGCPCA/IRS_2020_vf_anexos.pdf)
71. Secretaría de Salud, (2023). *Ley General de Salud*, Diario Oficial de la Federación, México.
72. Secretaría de Salud, (1999). *Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios*, Diario Oficial de la Federación, México.
73. Selke, S. E., Culter, J.D., (2015). Mass transfer in polymeric pack: sorption, diffusion, permeation and shelf life, in: *Plastics Packaging - Properties, Processing, Applications and Regulations*, Hanser Publishers, Munich.
74. Selke, S. E., & Hernandez, R. J. (2001). Packaging: Polymers for Containers. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, 6646–6652.
75. SEMARNAT, (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, 1ª Edición. Recuperado el 15 de junio de 2023, de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/555093/DiagnosticoBasicoGestionIntegralResiduosF.pdf.pdf>
76. SEMARNAT, (2018). Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2017-2018. Recuperado el 03 de julio de 2023, de <https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/PNPGIR%202017-2018.pdf>

77. Sepe, M., (2022). Historia de los Polímeros: Polímeros Básicos. *Plastics Technology Mexico*. Recuperado el 25 de julio de 2023, de <https://www.pt-mexico.com/columnas/mirada-historica-de-los-materiales-polimericos-parte-6-polimeros-basicos>
78. Sun, S.F., 2004. *Physical Chemistry of Macromolecules. Basic Principles and Issues*. 2ª Edición, Nueva York: John Wiley & Sons, Inc.
79. Tarun, J., Susan, J., Suria, J., Susan, V., Criton, S. (2014). Evaluation of pH of Bathing Soaps and Shampoos for Skin and Hair Care. *Indian Journal of Dermatology*; 59(5).
80. The Honey Keeper (2023), Catálogo Digital. *Thehoneykeeper.com.mx*. Recuperado el 8 de octubre de 2023, de <http://www.thehoneykeeper.com.mx/catalogo/kids/bw-shampoo/chamomile.html>
81. Treviño Aguado, Jorge (2019). Plan de Manejo ECOCE 2019. Recuperado el 8 de julio de 2023, de [https://www.ecoce.mx/plan\\_nacional](https://www.ecoce.mx/plan_nacional)
82. Viresh, S., Ganesh, L., Bawage, S., Vivek, B. (2021). Review On Investigation of Foaming Capacity Of Different Washing Soap. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, Vol. 8, Issue 3.
83. Wivell, Susan C. (1996). Composición de cremas cosméticas claras. (Patente de Estados Unidos de América No. 5525344). Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos de América.
84. World Wildlife Fund, (2022). Impactos de la Contaminación por Plásticos en los Océanos sobre las especies, la biodiversidad, y los ecosistemas marinos.
85. Xiang, W., Tardy, B., Bai, L., Stubenrauch, C., & Rojas, O. J. (2019). Measuring the Interfacial Behavior of Sugar-Based Surfactants to Link Molecular Structure and Uses. *Biobased Surfactants*, 387–412.
86. Yadav, R., Thakur, S., Parihar, R., Chauhan, U., Chanana, A., (2023). Pharmaceutical Preparation and Evaluation of Cold Cream. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, Vol. 8, Issue 5.
87. Yam, Kit L., 2009. *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*, 3ª Edición, Nueva Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
88. Yang, W., Cheng, Peng., Adams Catharine A., Zhang, S., Sun, Y., Yu, H., Wang, F., (2021). Effects of microplastics on plant growth and arbuscular mycorrhizal fungal

communities in a soil spiked with ZnO nanoparticles, *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 155, 108179.

89. Zembyla, M., Murray, B. S., & Sarkar, A. (2020). Water-in-oil emulsions stabilized by surfactants, biopolymers and/or particles: A review. *Trends in Food Science & Technology*.

**7**

---

# **Apéndices**

## Apéndice A

Para este cálculo, se debe tomar en cuenta la Tabla 2.26. :

<b>Categoría</b>	<b>Subproducto</b>	<b>%</b>
<b>Susceptibles de aprovechamiento: 31.55%</b>	Cartón	4.55
	Envase de cartón encerado	1.51
	Fibras sintéticas	0.34
	Hule	0.54
	Lata	0.98
	Material ferroso	0.88
	Material no ferroso	0.57
	Papel	5.07
	PET	2.63
	Plástico	7.66
	Poliestireno expandido	1.55
	Poliuretano	0.55
	Vidrio de color	1.6
	Vidrio transparente	3.13
<b>Orgánicos: 46.42%</b>	Cuero	0.46
	Fibra dura vegetal	0.73
	Hueso	0.52
	Madera	0.79
	Residuos alimentarios	33.07
	Residuos de jardinería	10.84
<b>Otros: 22.03%</b>	Algodón	0.15
	Loza y cerámica	0.46
	Material de construcción	0.7
	Pañal desechable	6.75
	Residuo fino	2.25
	Trapo	2.82
	Otros	8.9
<b>TOTAL</b>		<b>100</b>

De acuerdo con el informe de SEMARNAT (2020), los centros de acopio en el interior del país reciben 8.52 ton/día de PET y 3.94 ton/día de plástico (p.50). Para la Ciudad de México, SEDEMA (2020) informa que los proveedores de servicios de acopio reciben 1,905 ton/día de RSU, de las cuales, 10.97 ton/día corresponden a plásticos de tipo no especificado (p. 163).

En la Tabla 2.26. encontramos que hay porcentajes de materiales susceptibles de aprovechamiento entre los cuáles se encuentran tanto PET como Plástico. A manera de estimación, podemos calcular la relación entre PET/Plástico para obtener un dato para las 10.97 ton/día que se reciben en la Ciudad de México:

$$\text{PET} = 2.63$$

$$\text{Plástico} = 7.66$$

$$\text{PET} + \text{Plástico} = 2.63 + 7.66 = 10.29$$

$$\text{Relación de PET} = 2.63 / 10.29 = 0.2555 = 25.55 \%$$

$$\text{Relación de Plástico} = 7.66 / 10.29 = 0.7444 = 74.44 \%$$

Entonces, si en la Ciudad de México los centros de acopio reportados por SEDEMA reciben 10.97 ton/día de plásticos de tipo no especificado, podemos estimar lo siguiente:

$$\text{PET recibido: } 10.97 \text{ ton/día} * 25.55\% = 2.80 \text{ ton/día}$$

$$\text{Plástico recibido: } 10.97 \text{ ton/día} * 74.44\% = 8.16 \text{ ton/día}$$

Con estos valores es que puede generarse la Tabla 2.28 :

#### PET recolectado

Interior del país + Proveedores de servicios en CDMX

$$8.52 \text{ ton/día} + 2.80 \text{ ton/día} = 11.32 \text{ ton/día}$$

Plástico recolectado

Interior del país + Proveedores de servicios en CDMX

3.94 ton/día + 8.16 ton/día = 12.10 ton/día

PET recolectado: 11.32 ton/día

Plástico recolectado: 12.10 ton/día

Entonces:

<b>Nivel</b>	<b>Aprovechamiento de PET en centros de acopio oficiales (ton/día)</b>	<b>Aprovechamiento de plástico en centros de acopio oficiales (ton/día)</b>
Nacional	11.32	12.10

## Apéndice B

SEMARNAT (2020) comunica que en las Plantas de Tratamiento, a excepción de la Ciudad de México, la cantidad recuperada de PET es de 86.52 ton/día y 47.62 ton/día de plástico (p.55). En el Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México, SEDEMA (2020) sólo menciona “Recuperación (residuos reciclables)” y reporta 96.83 ton/día (p. 103) por lo que sólo es posible estimar la cantidad de PET y plástico.

Empleando de nuevo la distribución de los materiales susceptibles de aprovechamiento de la Composición Porcentual Promedio de RSU de la Tabla 2.26., ahora se deben encontrar proporciones de cada subproducto:

<b>Categoría</b>	<b>Subproducto</b>	<b>%</b>
<b>Susceptibles de aprovechamiento: 31.55%</b>	Cartón	4.55
	Envase de cartón encerado	1.51
	Fibras sintéticas	0.34
	Hule	0.54
	Lata	0.98
	Material ferroso	0.88
	Material no ferroso	0.57
	Papel	5.07
	PET	2.63
	Plástico	7.66
	Poliestireno expandido	1.55
	Poliuretano	0.55
	Vidrio de color	1.6
Vidrio transparente	3.13	



Reescribiendo la tabla para tomar sólo las relaciones entre los subproductos de los materiales susceptibles de acondicionamiento como un 100%:

<b>Subproducto</b>		
Cartón	4.55	14.42%
Envase de cartón encerado	1.51	4.78%
Fibras sintéticas	0.34	1.08%
Hule	0.54	1.71%
Lata	0.98	3.11%
Material ferroso	0.88	2.79%
Material no ferroso	0.57	1.81%
Papel	5.07	16.06%
PET	2.63	8.33%
Plástico	7.66	24.27%
Poliestireno expandido	1.55	4.91%
Poliuretano	0.55	1.74%
Vidrio de color	1.6	5.07%
Vidrio transparente	3.13	9.92%
	<b>31.56</b>	<b>100.00%</b>

Entonces podemos estimar la cantidad de PET y Plástico que se recupera:

Recuperación de PET en plantas de tratamiento en CDMX

$$96.83 \text{ ton/día} * 8.33\% = 8.06 \text{ ton/día}$$

Recuperación de Plástico en plantas de tratamiento en CDMX

$$96.83 \text{ ton/día} * 24.27\% = 23.50 \text{ ton/día}$$

Entonces, el total nacional que se recupera vendría como sigue:

PET recolectado

Interior del país + CDMX = 86.52 ton/día + 8.06 ton/día = 94.58 ton/día

Plástico recolectado

Interior del país + CDMX = 47.62 ton/día + 23.50 ton/día = 71.12 ton/día

PET recuperado: 94.57 ton/día

Plástico recolectado: 71.12 ton/día

Entonces es posible generar la Tabla 2.31. gracias a esa información:

<b>Material</b>	<b>Aprovechamiento (ton/día)</b>
PET	94.57
Plástico	71.12

## Apéndice C

Para generar la Tabla 4.6., se realizaron los siguientes cálculos:

Cálculo de HLB requerido para F1:

Compuesto oleoso	HLB <sub>REQ</sub>	Cantidad (g)	% (en peso)	% * HLB <sub>REQ</sub>
Manteca de mango	8	26.28	79.32%	6.35
Cera de abejas	12	6	18.11%	2.17
Cococaprilato/caprato	9.3	0.75	2.26%	0.21
Vitamina E	6	0.1	0.30%	0.02
		<b>33.13</b>	100.00%	<b>8.75</b>

Cálculo de HLB requerido para F2:

Compuesto oleoso	HLB <sub>REQ</sub>	Cantidad (g)	% (en peso)	% * HLB <sub>REQ</sub>
Manteca de mango	8	24.6	75.81%	6.06
Cera de abejas	12	7	21.57%	2.59
Cococaprilato/caprato	9.3	0.75	2.31%	0.21
Vitamina E	6	0.1	0.31%	0.02
		<b>32.45</b>	100.00%	<b>8.89</b>

Cálculo de HLB requerido para F3:

Compuesto oleoso	HLB <sub>REQ</sub>	Cantidad (g)	% (en peso)	% * HLB <sub>REQ</sub>
Manteca de mango	8	22.25	71.54%	5.72
Cera de abejas	12	8	25.72%	3.09
Cococaprilato/caprato	9.3	0.75	2.41%	0.22
Vitamina E	6	0.1	0.32%	0.02
		<b>31.1</b>	100.00%	<b>9.05</b>

Cálculo de HLB requerido para F4:

<b>Compuesto oleoso</b>	<b>HLB<sub>REQ</sub></b>	<b>Cantidad (g)</b>	<b>% (en peso)</b>	<b>% * HLB<sub>REQ</sub></b>
Manteca de mango	8	19.8	66.78%	5.34
Cera de abejas	12	9	30.35%	3.64
Cococaprilato/caprato	9.3	0.75	2.53%	0.24
Vitamina E	6	0.1	0.34%	0.02
		<b>29.65</b>	<b>100.00%</b>	<b>9.22</b>

Cálculo de HLB requerido para F5:

<b>Compuesto oleoso</b>	<b>HLB<sub>REQ</sub></b>	<b>Cantidad (g)</b>	<b>% (en peso)</b>	<b>% * HLB<sub>REQ</sub></b>
Manteca de mango	8	17.45	61.66%	4.93
Cera de abejas	12	10	35.34%	4.24
Cococaprilato/caprato	9.3	0.75	2.65%	0.25
Vitamina E	6	0.1	0.35%	0.02
		<b>28.3</b>	<b>100.00%</b>	<b>9.44</b>