



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

Propuesta de formulación de una crema para peinar con filtro UV y su evaluación

TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICA FARMACÉUTICA BIÓLOGA

PRESENTA

CAROLINA ESPINOZA DÍAZ



Ciudad de México

2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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

PRESIDENTE: M. en C. Alma Miriam Novelo Torres

VOCAL: Dra. María Josefa Bernad Bernad

SECRETARIO: M. en I. Luz Antonia Borja Calderón

1° SUPLENTE: M. en I. Andrea Saori Majluf Trejo

2° SUPLENTE: Dr. Gerardo Leyva Gómez

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Facultad de Química, UNAM

ASESORA DEL TEMA

M. en I. Luz Antonia Borja Calderón

SUSTENTANTE:

Carolina Espinoza Díaz

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	IV
LISTA DE TABLAS	VII
LISTA DE ABREVIATURAS	VIII
RESUMEN	1
OBJETIVOS	2
1 EL CABELLO HUMANO	3
1.1 ESTRUCTURA DEL CABELLO	3
1.1.1 Cutícula	4
1.1.2 CórTEX.....	8
1.1.3 Médula	8
1.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA	9
1.2.1 Proteínas	9
1.2.2 Agua	13
1.2.3 Lípidos.....	13
1.2.4 Pigmentos	15
1.2.5 Elementos traza.....	15
1.3 CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE CABELLO	15
1.3.1 Clasificación étnica	15
1.3.2 Clasificación morfológica.....	16
1.4 PROPIEDADES DEL CABELLO	18
1.4.1 Propiedades de la fibra del cabello (propiedades mecánicas)	19
1.4.2 Propiedades de la superficie del cabello	21
2 DAÑO AL CABELLO POR LA RADIACIÓN SOLAR	25
2.1 LA RADIACIÓN SOLAR	25
2.2 DAÑOS AL CABELLO OCASIONADOS POR LA RADIACIÓN SOLAR	27
2.2.1 Hebra del cabello	28
2.2.2 Cutícula	29
2.2.3 Proteínas	30
2.2.4 Lípidos.....	32
2.2.5 Radicales libres	32
2.3 CUANTIFICACIÓN DEL DAÑO EN EL CABELLO POR LA RADIACIÓN	33

2.3.1	Hebra del cabello	33
2.3.2	Cutícula	42
2.3.3	Proteínas	46
2.3.4	Lípidos.....	47
2.3.5	Radicales libres	49
2.4	OPCIONES DE FOTOPROTECCIÓN UV PARA EL CABELLO	52
2.4.1	Filtros UV.....	52
2.4.2	Antioxidantes	53
2.4.3	Siliconas	56
2.4.4	Pigmentos sintéticos.....	57
3	COSMÉTICOS.....	58
3.1	DEFINICIÓN.....	58
3.2	CLASIFICACIÓN	58
3.3	MERCADO DE COSMÉTICOS EN MÉXICO.....	59
3.4	LEGISLACIÓN MEXICANA APLICABLE A COSMÉTICOS.....	60
3.5	BENEFICIOS DE PRODUCTOS COSMÉTICOS (CLAIMS)	63
3.6	BRIEF	64
4	EMULSIONES COSMÉTICAS	66
4.1	GENERALIDADES SOBRE LAS EMULSIONES	66
4.1.1	Definición	66
4.1.2	Emulsificantes	67
4.1.3	Fabricación de emulsiones	73
4.1.3.1	Equipos para la fabricación de emulsiones.....	73
4.1.3.2	Parámetros controlables durante la fabricación	76
4.2	FENÓMENOS DE INESTABILIDAD DE LAS EMULSIONES.....	78
4.3	FORMULACIÓN DE CREMAS PARA PEINAR	81
4.3.1	Definición	81
4.3.2	Características	82
4.3.3	Ingredientes.....	83
5	FORMULACIÓN DE UNA CREMA PARA PEINAR CON FILTRO UV.....	93
5.1	JUSTIFICACIÓN PARA LA PROPUESTA DE FORMULACIÓN	93
5.1.1	Ingredientes en la propuesta de formulación.....	95
5.2	PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA FÓRMULA PROPUESTA.....	108
5.2.1	Materiales para la fabricación	108

5.2.2	Procedimiento para la fabricación	108
6	PROPUESTA DE EVALUACIÓN DE UNA CREMA PARA PEINAR CON FILTRO UV 110	
6.1	EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD.....	110
6.1.1	Materiales para la evaluación de la estabilidad	111
6.1.2	Procedimiento para la evaluación de la estabilidad.....	111
6.2	EVALUACIÓN DE LA PROTECCIÓN UV	113
6.2.1	Materiales para la evaluación de la protección UV.....	117
6.2.2	Procedimiento para la evaluación de la protección UV	117
6.3	EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DURANTE LA APLICACIÓN	121
6.3.1	Materiales para la evaluación del desempeño.....	121
6.3.2	Procedimiento para la evaluación del desempeño en la aplicación	122
6.3.3	Procedimiento para la evaluación del estilizado	123
	CONCLUSIONES	125
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	127

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-1. Cabello con folículo
- Figura 1-2. Corte transversal de una hebra de cabello
- Figura 1-3. Fotografía de una hebra de cabello con cutícula saludable
- Figura 1-4. Dimensiones de las escamas de la cutícula y su arreglo de superposición
- Figura 1-5. Estructura de una hebra de cabello
- Figura 1-6. Estructura de la epicutícula compuesta por lípidos y proteínas
- Figura 1-7. Estructura de las subunidades que conforman la α -queratina
- Figura 1-8. Tipos de interacción en la α -queratina
- Figura 1-9. Estructura del ácido 18- metileicosanoico (18- MEA)
- Figura 1-10. Curva típica de extensión- deformación
- Figura 1-11. Conformaciones alfa y beta de una proteína
- Figura 1-12. Flyaway
- Figura 1-13. Predominancia de cargas en una molécula de acuerdo al pH del medio
- Figura 2-1. Espectro electromagnético
- Figura 2-2. Anormalidades de la cutícula observada por FESEM
- Figura 2-3. Estructuras de cistina, ácido sulfónico y ácido cisteico
- Figura 2-4. Estructuras del triptófano, quinurenina y n-formilquinurenina
- Figura 2-5. Arreglo de un equipo de reflectancia difusa
- Figura 2-6. Coordenadas de color del sistema CIELAB
- Figura 2-7. Partes de un equipo de luminiscencia
- Figura 2-8. Espectros de excitación y emisión (fluorescencia) de una molécula
- Figura 2-9. Estructuras de la feomelanina y eumelanina
- Figura 2-10. Espectros de fluorescencia de la melanina
- Figura 2-11. Medición de la reflexión especular con un brillómetro
- Figura 2-12. Brillómetro para cabello y diagrama de sus componentes
- Figura 2-13. Equipo texturómetro para determinar la peinabilidad
- Figura 2-14. Equipo para realizar el ensayo de flexión- abrasión

- Figura 2-15. Componentes de un microscopio de fuerza atómica
- Figura 2-16. Componentes principales de un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM)
- Figura 2-17. Diagrama de flujo de la cuantificación de proteínas por el método de Bradford
- Figura 2-18. Producción de malonaldehído a partir de los lípidos peroxidados
- Figura 2-19. Reacción química involucrada en el ensayo del ácido tiobarbitúrico
- Figura 2-20. Diagrama de flujo del ensayo del ácido tiobarbitúrico para cuantificar los lípidos peroxidados
- Figura 2-21. Partes de un espectrómetro de resonancia paramagnética electrónica
- Figura 2-22. Estructura del ácido cafeico y un flavonol
- Figura 2-23. Estructura del ácido fítico y la amilopectina
- Figura 2-24. Estructura de una antocianina y un tanino hidrolizable
- Figura 2-25. Estructura del trimetilsiloxisilicato y un silsesquioxano
- Figura 3-1. Valor del mercado mexicano del sector de cuidado personal en el período 2013- 2017
- Figura 3-2. Porcentajes de cada categoría de productos del sector de cuidado personal durante el 2016
- Figura 4-1. Tipos de emulsiones compuestas por dos fases
- Figura 4-2. Estructura de un emulsificante
- Figura 4-3. Agitador de propela y diversos tipos de propela
- Figura 4-4. Principio de funcionamiento de un homogeneizador
- Figura 4-5. Principio de funcionamiento de un equipo de rotor- estator
- Figura 4-6. Fenómenos de inestabilidad de una emulsión
- Figura 4-7. Depósito de agentes catiónicos en la superficie del cabello
- Figura 4-8. Esquema de una fase lamelar
- Figura 5-1. Estructura química del agua
- Figura 5-2. Estructura química del EDTA disódico
- Figura 5-3. Estructura química de la glicerina

- Figura 5-4. Estructura química de la hidroxietilcelulosa empleada en las formulaciones
- Figura 5-5. Estructura química del hexadecanol y octadecanol
- Figura 5-6. Estructura química del Quaternium- 70
- Figura 5-7. Protección térmica con Quaternium- 70
- Figura 5-8. Protección contra la degradación del triptófano con Quaternium- 70
- Figura 5-9. Favorecimiento de la peinabilidad en seco con Quaternium- 70
- Figura 5-10. Estructura química del Dimethylpabamidopropyl Laurdimonium Tosylate
- Figura 5-11. Disminución de la degradación del triptófano con Dimethylpabamidopropyl Laurdimonium Tosylate
- Figura 5-12. Disminución de la ruptura de puentes disulfuro con Dimethylpabamidopropyl Laurdimonium Tosylate
- Figura 5-13. Beneficios en el cabello húmedo y seco con Dimethylpabamidopropyl Laurdimonium Tosylate
- Figura 5-14. Estructura química del palmitato de etilhexilo
- Figura 5-15. Estructura química del ácido oleico y ácido linoleico, principales ácidos grasos del aceite de argán
- Figura 5-16. Estructura química de la diazolidinil urea y el yodopropinill butilcarbamato
- Figura 5-17. Estructura química de la dimeticona y el dimeticonol
- Figura 5-18. Estructura química del ciclopentasiloxano
- Figura 6-1. Espacio de color HSB
- Figura 6-2. Espacio de color CMYK y RGB
- Figura 6-3. Obtención de un color en el espacio CMYK
- Figura 6-4. Pantonera
- Figura 6-5. Esquema de iluminación para la toma de fotografías
- Figura 6-6. Ejemplo de cómo deben observarse las fotografías resultantes
- Figura 6-7. Valores del color seleccionado
- Figura 6-8. Equivalencia del color seleccionado en el Sistema Pantone

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1-1. Estructura de los aminoácidos habituales del cabello
- Tabla 1-2. Influencia de la humedad relativa (HR) en el contenido de agua del cabello
- Tabla 1-3. Características de las hebras del cabello según el grupo étnico
- Tabla 1-4. Subclasificación de los tipos de cabello 2- 4 según sus ondas
- Tabla 2-1. Factores que influyen en la radiación solar terrestre
- Tabla 2-2. Daños de la radiación solar sobre el cabello y sus métodos de detección
- Tabla 2-3. Comparación del daño a los lípidos en el cabello rubio contra el cabello castaño
- Tabla 4-1. Índice de irritación primaria de algunos tensoactivos
- Tabla 4-2. Tipos de película formada en la interfase por los emulsificantes
- Tabla 4-3. Ejemplo de cálculo para conocer la cantidad necesaria de emulsificante
- Tabla 4-4. Métodos de purificación del agua
- Tabla 4-5. Polímeros de modelado más comunes en las cremas para peinar
- Tabla 4-6. Conservadores empleados en cosméticos
- Tabla 5-1. Claims asociados de algunas formulaciones comerciales, según la información declarada en las etiquetas
- Tabla 5-2. Ingredientes de las formulaciones comerciales de crema para peinar
- Tabla 5-3. Función de los aditivos de las cremas para peinar comerciales
- Tabla 5-4. Formulación prototipo de una crema para peinar con filtro UV
- Tabla 6-1. Evaluación de la aplicación del producto
- Tabla 6-2. Evaluación del estilizado en cabello seco

LISTA DE ABREVIATURAS

%	Porcentaje
±	Más/ menos
<	Menor que
>	Mayor que
18- MEA	Ácido 18- metileicosanoico (<i>18- Methyleneicosanoic Acid</i>)
Å	Ángstrom
AFM	Microscopio de fuerza atómica (<i>Atomic Force Microscope</i>)
ANVISA	Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria
BASO ₄	Sulfato de bario
BSA	Albúmina sérica bovina (<i>Bovine Serum Albumin</i>)
C	Carbono
C-	Control negativo
Ca ²⁺	Ion calcio
CANIPEC	Cámara Nacional de la Industria de Productos Cosméticos
CIELAB	<i>Comission Internationale de l'Eclairage</i>
cm	Centímetro
CMC	Complejo celular de membrana (<i>Cell Membrane Complex</i>)
cP	Centipoise
Da	Dalton
DRS	Espectroscopía de reflectancia difusa (<i>Diffuse Reflectance Spectroscopy</i>)
dyn	Dina
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético (<i>Ethylenediaminetetraacetic acid</i>)
EPR	<i>Resonancia paramagnética Electrónica (Electronic Paramagnetic Resonance)</i>
ESR	Resonancia de spin electrónico (<i>Electronic Spin Resonance</i>)
Fe ²⁺	Ion hierro (II)
Fe ³⁺	Ion hierro (III)
FEG	Cañón de emisión de campo (<i>Field Emission Gun</i>)

FESEM	Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (<i>Field Emission Scanning Electron Microscopy</i>)
FPS	Factor de protección solar
g	Gramo
h	Hora
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrógeno
HEC	Hidroxietilcelulosa
HLB	Balance hidrofílico- lipofílico (<i>Hydrophilic-Lipophilic Balance</i>)
HPF	Factor de protección del cabello (<i>Hair Protection Factor</i>)
HR	Humedad relativa
Hz	Hertz
IF	Filamento intermedio (<i>Intermediate filament</i>)
IFAP	Proteínas asociadas a las interfibrillas (<i>Interfibrillar- associated proteins</i>)
IHL	Lípido integral del cabello (<i>Integral Hair Lipid</i>)
in	Pulgada
INCI	<i>International Nomenclature of Cosmetic Ingredients</i>
IPBC	Yodopropinil butilcarbamato (<i>Iodopropynyl Butyl Carbamate</i>)
IR	Infrarrojo
Km	Kilómetro
LED	<i>Light-emitting diode</i>
LESS	Lauril éter sulfato de sodio
LPOs	Lípidos peroxidados
M	Molar
MDA	Malonaldehído
MDA-TBA	Aducto malonaldehído- ácido tiobarbitúrico
MDP	Millones de pesos
MDP	Millones de pesos
melanina*	Radical melanina
mg	Miligramo
Mg ²⁺	Ion magnesio
mL	Mililitro

mm	Milímetro
N	Newton
NaOH	Hidróxido de sodio
NH ₃ ⁺	Grupo amino protonado
nm	Nanómetro
O	Oxígeno
°	Grado
O/W	Aceite en agua
O ₂	Oxígeno molecular
O ₂ [·]	Radical superóxido
°C	Grado Celsius
OH [·]	Radical hidroxilo
pH	Potencial hidrógeno
PIT	Temperatura de inversión de fase (<i>Phase Inversion Temperature</i>)
PTFE	Politetrafluoroetileno (teflón)
RHF	Factor de protección del cabello a los radicales (<i>Radical Hair Protection Factor</i>)
ROS	Especies reactivas de oxígeno (<i>Reactive Oxygen Species</i>)
rpm	Revolución por minuto
s	Segundo
S	Azufre
SDS	Dodecil Sulfato de sodio (<i>Sodium Dodecyl Sulphate</i>)
Si	Silicio
TBA	Ácido tiobarbitúrico (<i>Thiobarbituric Acid</i>)
UV	Ultravioleta
UV - Vis	Región ultravioleta - visible
UVA	Ultravioleta A
UVB	Ultravioleta B
UVC	Ultravioleta C
W/O	Agua en aceite
α	Alfa
β	Beta

θ	Pendiente de una recta
λ_{em}	Longitud de onda de emisión
λ_{ex}	Longitud de onda de excitación
μm	Micrómetro

RESUMEN

La radiación solar provoca efectos perjudiciales tanto en la piel como en el cabello. En éste último causa daños a nivel molecular tales como la degradación de aminoácidos, proteínas, lípidos y pigmentos; fenómenos que se observan a simple vista como resequedad, disminución del brillo y fuerza, cambio de color y generación de puntas abiertas, entre otros.

Actualmente, en el mercado existen algunos cosméticos capilares con filtro UV, que generalmente se comercializan como productos para cabello teñido; sin embargo éstos no representan una sustentividad en la fibra del cabello y su fin principal no es la protección contra la radiación UV.

Es por ello que el presente trabajo monográfico de actualización se basa en una propuesta de formulación de un filtro solar en forma cosmética de crema y con el beneficio de una crema para peinar, así como la descripción y fundamento de la metodología de evaluación de dicho cosmético.

De manera general, este trabajo contiene la descripción de la composición química e histológica del cabello, así como de sus propiedades mecánicas. Se describen las generalidades de la radiación solar y cómo ésta afecta a la fibra capilar, tanto en sus propiedades físicas como en sus características microscópicas; así como se presenta una breve descripción de los fundamentos de las técnicas empleadas para identificar o cuantificar todos estos daños.

Posteriormente, se brinda una breve introducción al tema de los cosméticos, así como al de las emulsiones, estudiadas desde los aspectos de formulación, estabilidad y fabricación, para después presentar una propuesta de formulación de una crema para peinar con filtro UV, con base en la información recaudada en artículos y en las etiquetas de algunos productos comerciales revisados.

Para finalizar, se describen las pruebas de calidad y eficacia que deberán efectuarse al producto para constatar que verdaderamente protege contra la radiación y así poder demostrar de forma objetiva si existe alguna variación entre el cabello sin proteger y el cabello protegido con el producto formulado.

OBJETIVOS

Objetivo general

- A partir de la información recopilada en artículos científicos, revistas y libros, elaborar un trabajo monográfico sobre los efectos perjudiciales de la radiación solar en el cabello humano, para posteriormente proponer una formulación de una crema para peinar con filtro UV como alternativa de fotoprotección capilar; así como la propuesta de evaluación de la eficacia del producto.

Objetivos específicos

- Revisar la estructura y composición química del cabello.
- Investigar los daños que causa la radiación solar en el cabello, conocer las estructuras o componentes que resultan alterados y cómo influye este daño en las propiedades de la hebra capilar.
- Investigar la existencia de las diferentes opciones de fotoprotección capilar, así como las ventajas y desventajas atribuidas al uso de cada una de ellas.
- Recopilar información acerca de las emulsiones, para conocer los componentes y parámetros críticos durante la fabricación para obtener un producto estable.
- Elaborar una propuesta de formulación de una crema para peinar con base en productos comercializados, que contenga además, un filtro solar para cabello.
- Proponer una metodología de evaluación del daño por radiación UV en el cabello, además de las metodologías ya propuestas en la literatura.

1 EL CABELLO HUMANO

El cabello es una estructura filamentosa que tiene como principales funciones facilitar la homeotermia, proteger la piel de la radiación solar, el frío y de traumatismos o golpes que pudiesen sufrir la cabeza o el cuello [1]. Aunado a estas funciones fisiológicas, el cabello juega un papel muy importante desde el punto de vista social y psicológico pues todas las personas buscan tener un cabello saludable y estéticamente aceptable.

A lo largo de este capítulo se describirá la estructura del cabello para posteriormente explicar sus componentes, cómo se clasifica de acuerdo a su morfología y cuáles son sus propiedades físicas y mecánicas.

1.1 ESTRUCTURA DEL CABELLO

El cabello humano es un derivado de la epidermis que a nivel externo consiste de tubos delgados de células muertas completamente queratinizadas, mientras que la parte situada dentro de la piel se compone de folículos capilares vivos (dispuestos en una unidad folicular que contiene el pelo, músculo erector del pelo y glándula sebácea), epitelio que crece hacia la dermis y grasa subcutánea que se engrosan en la base y rodean la papila dérmica. [1] (Figura 1-1.)

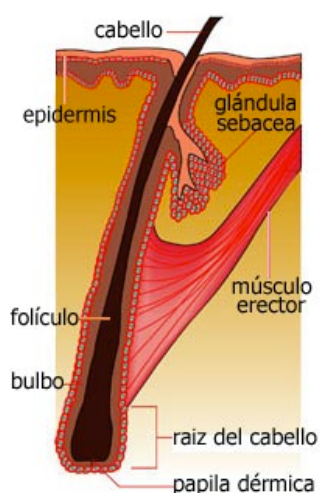


Figura 1-1. Cabello con folículo.

(Tomada de <https://www.recuperarelpelo.com/informacion-caida-cabello/composicion-del-cabello.html>. 17 de enero de 2018).

La fibra del cabello, del exterior hacia el interior, está conformada por tres grandes partes: cutícula, córtex y médula (figura 1-2).

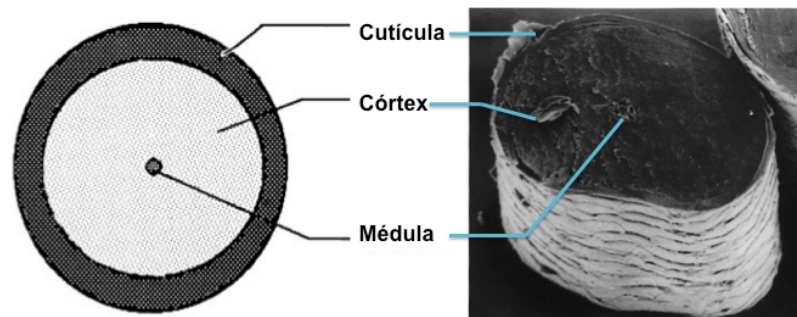


Figura 1-2. Corte transversal de una hebra de cabello.

(Tomada de Chemical and physical behavior of human hair. Robbins C. 2002. Modificada por Espinoza C.)

1.1.1 Cutícula

La cutícula es la parte más externa del cabello y por lo tanto, la más susceptible a los tratamientos cosméticos pues es donde se depositan los productos como acondicionadores, sprays de fijación, mousses y geles. [8]

Consiste de 8 a 11 capas de escamas sobrepuestas en la región distal de la hebra que cubren el córtex desde el folículo capilar hasta la punta. [1] Cada capa está formada por escamas individuales, las cuales son de forma rectangular y miden $0.5 \mu\text{m}$ de alto por $45\text{-}60 \mu\text{m}$ de largo, y se sobrepone una de otra de tal manera que sólo se exponen $5 \mu\text{m}$ de cada una. [8] (Figuras 1-3 y 1-4)



Figura 1-3. Fotografía de una hebra de cabello con cutícula saludable.

(Tomada de Chemical and physical behavior of human hair. Robbins C. 2002.)

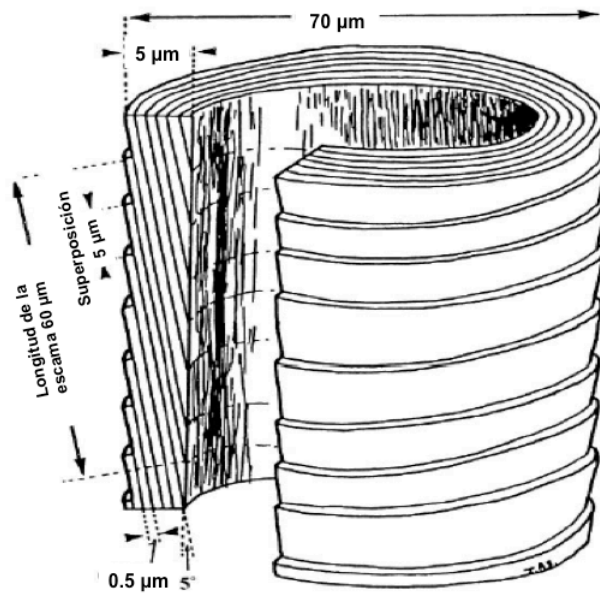


Figura 1-4. Dimensiones de las escamas de la cutícula y su arreglo de superposición.

(Tomada de Chemical and physical behavior of human hair. Robbins C. 2002. Modificada por Espinoza C.)

Cada escama de la cutícula se compone de una serie de estructuras: complejo celular de membrana, epicutícula, capa A, exocutícula o capa B y endocutícula. [8] (Figura 1-5) A continuación se describe con mayor detalle cada una de las partes.

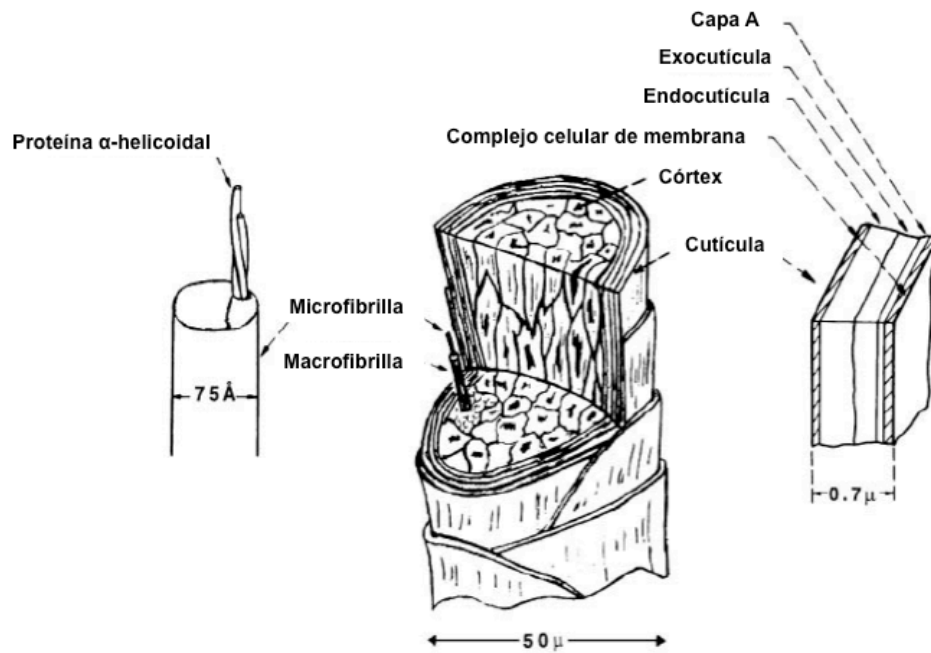


Figura 1-5. Estructura de una hebra de cabello. Centro: hebra con córtex y cutícula. Izquierda: estructura de una microfibrilla. Derecha: capas que conforman la cutícula.

(Tomada de *Chemical and physical behavior of human hair*. Robbins C. 2002. Modificada por Espinoza C.)

- **Complejo celular de membrana (CMC):** separa las escamas de la cutícula una de otra a una distancia de 30 nm entre sí. Contiene ácido 18-metileicosanoico (18-MEA) que se une covalentemente a la superficie externa del cabello y es responsable de la peinabilidad natural en seco y húmedo. [8]
- **Epicutícula:** es una capa proteica de alrededor de 5-7 nm de espesor rodeada de una estructura lipídica (capa F) que cubre la cutícula. Es la parte más externa de la cutícula y la más importante desde el punto de vista cosmético porque es responsable de su aspecto visual y sensación al tacto. Está compuesta de 75 % de proteínas altamente entrecruzadas que contienen 12 % de cistina (que a su vez contienen una alta cantidad de azufre) y 25 % de lípidos (principalmente 18-MEA) (figura 1-6). En su porción más externa presenta un pH ácido gracias a los lípidos, lo cual la hace afín a las siliconas, aceites y alcoholes grasos de algunos cosméticos capilares, como se explicará más adelante. [1]

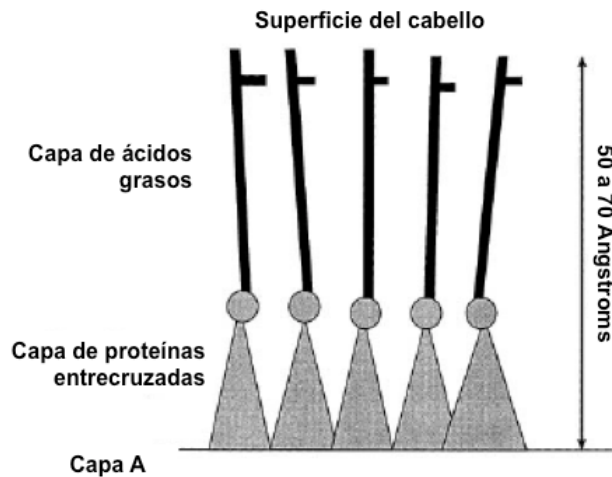


Figura 1-6. Estructura de la epicutícula compuesta por lípidos y proteínas. Los residuos de cistina de las proteínas se enlazan covalentemente a los lípidos del CMC por enlaces tioéster y le confieren propiedades hidrófobas al cabello.

(Tomada de Chemical and physical behavior of human hair. Robbins C. 2002. Modificada por Espinoza C.)

- Capa A: estructura resistente que contiene > 30 % de cistina. Las proteínas entrecruzadas en esta capa brindan las propiedades de resistencia al estrés mecánico e incluso químico. [1]
- Exocutícula o capa B: estructura rígida, aunque no tanto como la capa A, corresponde al 55 % de la cutícula y está formada por aproximadamente 15 % de cistina. [1]
- Endocutícula: parte más interna de la cutícula, contiene aproximadamente 3 % de cistina. Es mucho menos rígida que las capas A y B. Al contacto con el agua, se acolcha y se incrementa su tendencia al rompimiento, lo cual explica el quiebre y descame del cabello cuando es peinado en húmedo. Algunos autores la consideran como una extensión de la epicutícula. [8]

1.1.2 CórTEX

El córtex representa el 75 % del cabello (figura 1-2) y está formado por dos grandes componentes: las escamas corticales y un material de adhesión similar al CMC llamado capa delta.

- Escamas corticales: miden alrededor de 100 μm de largo por 1-6 μm de ancho y están compuestas por microfibrillas en forma de huso que miden de 0.1-0.4 μm de diámetro.

Simultáneamente cada microfibrilla (figura 1-5) se compone de:

- Microfibrillas o filamentos intermedios (IF) proteicos, organizados a manera de espiral.
 - Una matriz pobremente organizada que rodea a las microfibrillas y que representa la subunidad más grande del córtex. Contiene proteínas asociadas a la queratina comúnmente conocidas como proteínas asociadas a las interfibrillas (IFAP).
- Capa delta: funciona como una especie de adhesivo intracelular de manera similar al CMC. Contiene proteínas pobres en cistina (< 2 %), 12 % de aminoácidos básicos y 17 % de aminoácidos ácidos y se encuentra cubierta a manera de sándwich por las capas β -inertes que contienen lípidos como el escualeno y los ácidos grasos palmítico, oleico y esteárico. [8]

1.1.3 Médula

La médula es la parte más interna de la hebra del cabello que puede estar presente o no, se presenta en forma de capa delgada y cilíndrica (figura 1-2), tiene alto contenido de lípidos y es pobre en cistina.

Su función aún no es completamente elucidada y posee poca importancia desde el punto de vista cosmético, pero se cree que si la médula se deshidrata y los huecos formados se llenan de aire, se afecta el brillo y color del cabello rubio, castaño y cano. [1]

Recientemente Wagner *et al* (2007) estudiaron la médula utilizando un microscopio de electrones y encontraron que posee tres subunidades: esferas medulares huecas unidas por un material similar al CMC [8], estructuras

corticales desorganizadas y una capa lisa de recubrimiento; así como que existen dos tipos de médula, la gruesa y delgada.

1.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA

El 65 – 95 % del peso del cabello humano está constituido por proteínas, hasta un 32 % de agua y el resto corresponde a pigmentos, lípidos y elementos traza. [8, 19]

1.2.1 Proteínas

La proteína más abundante en el cabello es la queratina, que corresponde al 80 % de su peso en seco. [8]

La queratina es una proteína fibrosa de la que existen dos principales variantes, la α -queratina presente en los mamíferos y la β -queratina presente en las aves y reptiles. A su vez, la α -queratina puede ser del tipo I (ácida) o del tipo II (básica).

La α -queratina tiene una estructura cuaternaria en un arreglo tridimensional que se describe a continuación y se ilustra en la figura 1-7 [15]:

Dímeros compuestos de subunidades del tipo I y II (a).

- Los dímeros se asocian para formar protofilamentos (b).
- Los protofilamentos se asocian y forman protofibrillas (c).
- Las protofibrillas forman tetrámeros que se conocen como microfibrillas (d).
- Las microfibrillas se unen y forman macrofibrillas (e).

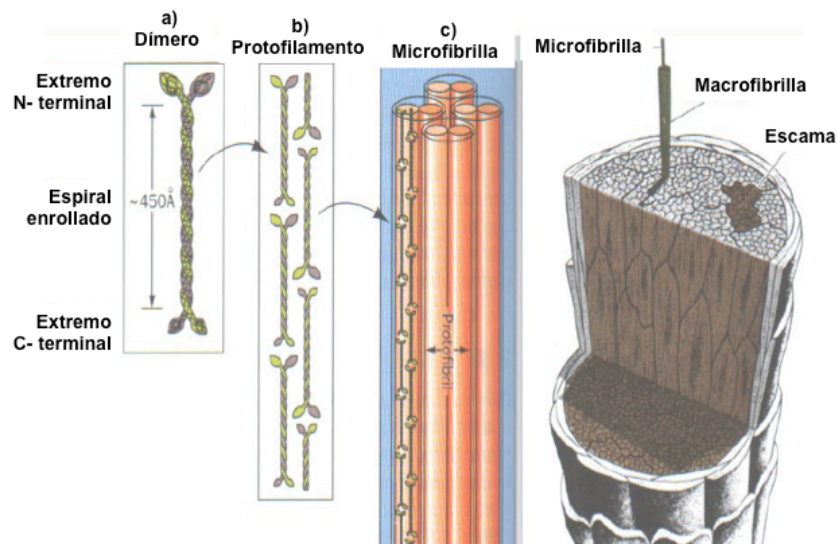


Figura 1-7. Estructura de las subunidades que conforman la α -queratina.

(Tomada de Bioquímica. Voet D. 2006. Editada por Espinoza C.)

Esta estructura tridimensional se debe a tres tipos de enlace: los puentes de hidrógeno, puentes salinos y puentes disulfuro: (figura 1-8) [45]

- Puentes de hidrógeno: son interacciones débiles que se forman entre un átomo electronegativo y un átomo de hidrógeno covalentemente unido a otro átomo electronegativo de los grupos amino y carboxilo.
- Puentes salinos: este tipo de interacciones se forma entre los grupos carboxilo y amino de dos aminoácidos distintos de cadenas proteicas adyacentes.
- Puentes disulfuro: se forman entre dos átomos de azufre de diferentes aminoácidos, son enlaces fuertes y son responsables de la dureza capilar; para romperlos es necesario aplicar tratamientos agresivos con agentes reductores, con lo cual los enlaces sufrirán un daño permanente.

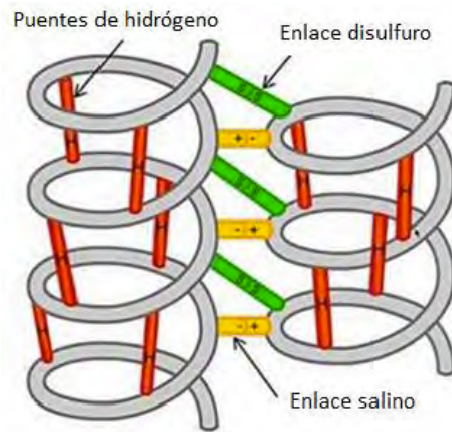


Figura 1-8. Tipos de interacción en la α -queratina.

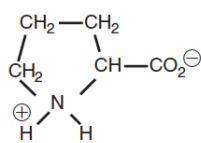
(Tomada de *Propuesta de metodologías para la evaluación de desempeño de un producto reparador de puntas abiertas en mechas estandarizadas y panelistas*. Moreno J. 2017.)

El contenido de los aminoácidos puede variar de acuerdo a la genética, el entorno (exposición a la luz solar), tratamientos cosméticos y dieta, sin embargo los aminoácidos más habituales hallados en el cabello son glicina, alanina, valina, leucina, isoleucina, fenilalanina, tirosina, lisina, arginina, histidina, citrulina, ácido aspártico, ácido glutámico, treonina, serina, cistina, metionina, cisteína, prolina y triptófano. (Tabla 1-1) [8]

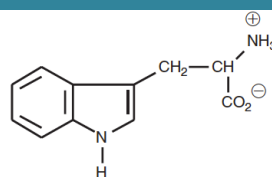
Tabla 1-1. Estructura de los aminoácidos habituales del cabello

Estructura genérica de los aminoácidos	
$\begin{array}{c} \oplus \text{NH}_3 - \text{CH} - \text{R} \\ \\ \text{CO}_2^- \end{array}$	
Aminoácidos con grupo R alifático	
$\begin{array}{c} \oplus \text{NH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CO}_2^- \\ \text{Glicina} \end{array}$	$\begin{array}{c} \oplus \text{NH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{CO}_2^- \\ \text{Alanina} \end{array}$
$\begin{array}{c} \oplus \text{NH}_3 - \text{CH} - \text{CH} \\ \quad \\ \text{CO}_2^- \quad \text{CH}_3 \\ \text{Valina} \end{array}$	$\begin{array}{c} \oplus \text{NH}_3 - \text{CH} - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{CO}_2^- \quad \text{CH}_3 \\ \text{Isoleucina} \end{array}$

Aminoácidos con grupo R heterocíclico



Prolina



Triptófano

(Con figuras tomadas de *Chemical and physical behavior of human hair*. Robbins C. 2002)

1.2.2 Agua

El cabello puede contener hasta un 32 % de agua, esto dependiendo de su estado físico.

El agua contenida puede clasificarse como agua “fija” (ligada a la queratina) o móvil (no asociada a la queratina).

La humedad relativa (HR) influye en el contenido de agua (tabla 1-2). A un valor < 25 %, las moléculas de agua se encuentran enlazadas por puentes de hidrógeno a los sitios hidrofílicos de las hebras, siguiendo un modelo de adsorción en monocapa (isoterma de Langmuir); al incrementarse la HR, se incrementa también el contenido de agua y se produce una adsorción multimolecular. [8]

Tabla 1-2. Influencia de la humedad relativa (HR) en el contenido de agua del cabello.

HR (23 ° C)	Contenido de agua (%)*
29.0	6.0
40.0	7.6
50.0	9.8
65.0	12.8
70.3	13.6

*Estudio llevado a cabo en mechadas estandarizadas de color castaño oscuro.

1.2.3 Lípidos

- Lípido integral del cabello (IHL): los lípidos del cabello, al igual que los de la piel, tienen como función principal la protección.

El IHL se compone de una serie de lípidos que se originan en las glándulas sebáceas y recubren la cutícula y el córtex para formar una especie de envoltura protectora. De todas las estructuras del cabello, el IHL es la única estructura continua, en lo cual recae su alta importancia como barrera.

Los lípidos pueden encontrarse tanto en el tallo del cabello como en el folículo piloso, teniendo diferentes composiciones dependiendo de su ubicación. En el tallo del cabello, los componentes de mayor a menor proporción son: fitoesfingosina, ácidos grasos, ceramidas, colesterol y sulfato de colesterol; mientras que en folículo piloso se componen (de mayor a menor) de ácidos grasos, fitoesfingosina, ceramida, colesterol y sulfato de colesterol. [10]

- **Ácido 18-metileicosanoico:** el ácido 18-metileicosanoico (18- MEA) (figura 1-9) corresponde al 30 - 40 % de los ácidos grasos de la cutícula y el córtex. Actúa como una barrera lubricante, reduce la fricción entre las hebras, le confiere hidrofobicidad al cabello y facilita su peinabilidad en seco y húmedo.

El contenido de humedad en el cabello se ve influenciado por el porcentaje de 18 - MEA y éste puede disminuirse con algunos tipos de procesos cosméticos alcalinos que abren la cutícula y vuelven el cabello quebradizo y disminuyen su brillo, como es el caso de los tintes y decoloraciones. [10]

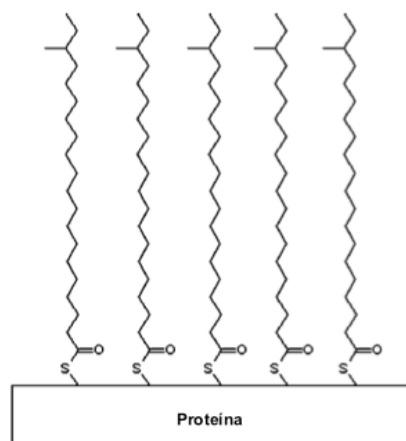


Figura 1-9. Estructura del ácido 18-metileicosanoico (18- MEA). El 18- MEA se encuentra unido a las proteínas mediante enlaces tioéster.

(Tomada de Effect of the covalently linked fatty acid 18- MEA on the nanotribology of hair's outermost surface. Breakspear S. 2005. Modificada por Espinoza C.)

1.2.4 Pigmentos

El color del cabello está regido por el tipo, tamaño y cantidad de gránulos de melanina, que se ubican en el córtex y representan el 3 % del peso total. [2]

Existen dos tipos de melanina, la eumelanina que corresponde a los pigmentos castaño- negro y la feomelanina que es de color rojizo. En el cabello, se tienen ambos tipos de melanina, y dependiendo de la proporción de cada una de ellas, será el color resultante del cabello.

En porcentajes aproximados, el cabello negro contiene 99 % de eumelanina y 1 % de feomelanina, los cabellos castaño y rubio 95 % de eumelanina y 5 % de feomelanina y el cabello pelirrojo 67 % y 33 % de eumelanina y feomelanina, respectivamente.

A la fecha, las estructuras y pesos moleculares de las melaninas no se conocen con exactitud ya que son difíciles de separar de los otros componentes del cabello. [9]

1.2.5 Elementos traza

Entre los elementos traza encontrados en el cabello humano, los más reportados son calcio, magnesio, estroncio, boro, aluminio, sodio, potasio, zinc, cobre, manganeso, hierro, plata, oro, mercurio, arsénico, plomo, antimonio, titanio, tungsteno, vanadio, molibdeno, yodo, fósforo y selenio. Pueden provenir de fuentes externas (contaminantes del aire, agua del grifo, dieta, trastornos metabólicos, depósitos de jabón, productos anticaspa o tintes), o ser endógenos y formar parte de la estructura de la hebra del cabello, formando puentes salinos o complejos de coordinación con las cadenas laterales de las proteínas y lípidos. [8]







1.3 CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE CABELLO

1.3.1 Clasificación étnica

De acuerdo a su origen étnico, el cabello puede clasificarse en tres grandes grupos: asiático, afro y caucásico [1], sin embargo es importante recalcar que existen variaciones del tipo de cabello dentro del mismo grupo étnico, o incluso, en el mismo sujeto. [19]

La tabla 1-3 describe las características de las hebras del cabello de cada grupo étnico.

Tabla 1-3. Características de las hebras del cabello según el grupo étnico.

Característica	Origen étnico		
	Asiático	Caucásico	Afro
Grosor	Fino	Grueso	Grueso
Curvatura	Lacio a ligeramente ondulado	Lacio a rizado	Ondulado a sumamente rizo
Color	Castaño a negro	Rubio a castaño oscuro	Castaño oscuro a negro
Forma de la sección transversal	 Redonda o ligeramente ovalada	 Casi redonda o ligeramente ovalada	 Ligeramente ovalada a elíptica
Forma del eje longitudinal			

(Con figuras tomadas de <https://www.quora.com/If-an-Asian-has-Caucasian-type-hair-then-does-that-mean-some-of-his-ancestors-were-European>. 17 de enero de 2018).

1.3.2 Clasificación morfológica

El cabello puede clasificarse en cuatro tipos según la forma de ondas que tenga: [16]

- Tipo 1: Cabello liso, lacio y con mucho brillo. Corresponde al cabello asiático.
- Tipo 2: Cabello con ondas en forma de S, es el más resistente de los cuatro tipos, suele tener mucho brillo y se modela con facilidad.
- Tipo 3: Cabello con ondas sumamente definidas sin necesidad de algún tipo de producto, muy susceptible a la humedad.

- Tipo 4: Corresponde al cabello afro, tiene ondas muy cerradas en forma de “Z”, es frágil, de tacto áspero y apariencia esponjosa.

Los tipos de cabello 2-4 se subclasifican de acuerdo a lo mostrado en la tabla 1-4.

Tabla 1-4. Subclasificación de los tipos de cabello 2- 4 según sus ondas.










Subtipo	Características	Imagen	
T I P O 2	2A	<ul style="list-style-type: none"> • Ondas ligeras en forma de “S” • Tiene mucho brillo • Suele ser fino y con poco volumen • Las ondas se comienzan a partir de medios a puntas 	
	2B	<ul style="list-style-type: none"> • Ondas en forma de “S” • Pierde definición con facilidad • Suele tener encrespamiento (<i>frizz</i>) en la parte superior de la cabeza • Las ondas aparecen bastante cerca de las raíces 	
	2C	<ul style="list-style-type: none"> • Forma ondas y algunos rizos • Es el más grueso del cabello tipo 2. • Pierde definición y forma con demasiada facilidad • Soporta muy bien el uso de aparatos de calor • Las ondas y rizos aparecen desde la raíz 	
T I P O 3	3A	<ul style="list-style-type: none"> • Los rizos son de gran tamaño, tienen forma de “S” están definidos y son elásticos • Tiende al encrespamiento y suele perder definición con facilidad • Difícil de retexturizar y modelar. 	
	3B	<ul style="list-style-type: none"> • Los rizos tienen forma de “S” pero de menor tamaño que los tipos 3A. • Tiene menos brillo que los tipos 2 o 3ª. • Tiene mucho volumen. • El cabello es de textura gruesa y densa. 	

Tabla 1-4. Subclasificación de los tipos de cabello 2- 4 según sus ondas.

Subtipo	Características	Imagen	
T I P O 4	3C	<ul style="list-style-type: none"> • Los rizos tienen forma de sacacorchos. • Es el más grueso de los cabellos tipo 3 y el que más volumen tiene. • Se encrespa con mucha facilidad. 	
	4A	<ul style="list-style-type: none"> • Los rizos son de gran tamaño, tienen forma de "S". • Puede tener rizos tipo 3. • Es frágil. • Retiene bastante humedad. 	
	4B	<ul style="list-style-type: none"> • Los rizos tienen forma de "Z". • Puede llegar a encoger su longitud en un 75 %. • La textura del cabello varía de grueso a fino. • No posee una forma homogénea. 	
	4C	<ul style="list-style-type: none"> • No tiene ningún patrón de rizo definido. • Puede llegar a encoger su longitud en un 75 %. • La textura del cabello varía de grueso a fino, no posee una forma homogénea. • Carece demasiado de definición. 	

(Con figuras tomadas de <http://canipec.org.mx/belleza-y-bienestar/curvas-peligrosas-conoce-tipo-cabello-rizado/>. 19 de enero de 2018.)

1.4 PROPIEDADES DEL CABELLO

Las propiedades del cabello dependen mayoritariamente de su geometría [19], las relacionadas a la hebra completa son resistencia al estiramiento, elasticidad y poder hidrofílico, en tanto que las de su superficie son brillo, peinabilidad, fricción, porosidad, carga estática y punto isoeléctrico. [1]

Es muy importante tomar en cuenta que cuando se hablan de estas propiedades, se habla del cabello como una estructura y que más de un componente puede estar involucrado en una misma propiedad.

1.4.1 Propiedades de la fibra del cabello (propiedades mecánicas)

- Resistencia al estiramiento

En condiciones normales, un solo cabello puede soportar un peso de 50-100 g antes de romperse. Considerando que una persona tiene alrededor de 120 000 cabellos, esto significa que puede soportar un peso de hasta 12 toneladas.

La resistencia al rompimiento es proporcional al diámetro de la hebra y del estado del córtex, por lo que esta propiedad se ve severamente afectada por los tratamientos químicos (tintes, alaciado, y rizado permanentes).

Cuando se aplica una fuerza en la hebra del cabello, ésta se comporta como en un ensayo típico de tracción, donde se presentan los siguientes comportamientos: (figura 1-10)

- Región elástica: un estiramiento del 0-2 % de la longitud total es proporcional a la fuerza aplicada. En este módulo la queratina permanece en configuración alfa con puentes de hidrógeno (a).
- Región de endurecimiento por deformación: en el 25-30 % del estiramiento la elongación no depende de la fuerza aplicada. La α -queratina (estructura helicoidal compacta) se deforma a β -queratina (estructura plegada) con cadenas peptídicas más “sueltas” (b). (Figura 1-11)
- Región de esfuerzo post-último: Después del 30 % del estiramiento la elongación vuelve a ser proporcional a la fuerza aplicada. La β -queratina se elonga hasta su rompimiento y se rompen las redes de cistina (c).

En la primera y tercera zona el cabello presenta un comportamiento de sólido cristalino pues obedece a la ley de Hooke, mientras que en la segunda parte de la curva el cabello se comporta como un sólido amorfo o fluido y exhibe comportamiento plástico.

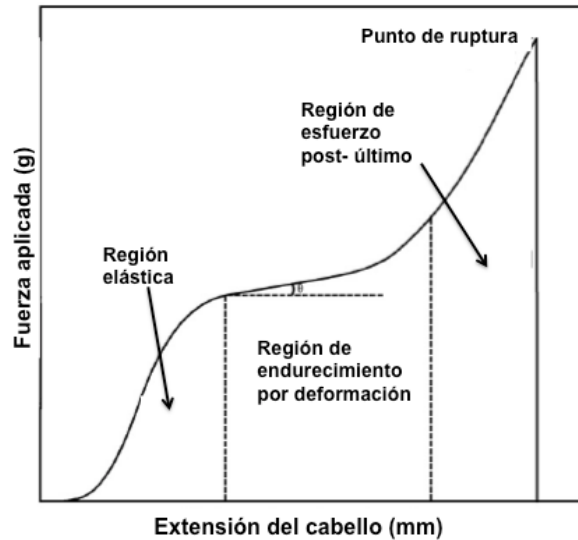


Figura 1-10. Curva típica de extensión- deformación. El eje “Y” representa la fuerza aplicada y el “X” la elongación del material. El primer módulo (a) corresponde a la región elástica, el segundo (b) a la región de endurecimiento por deformación y el tercero (c) a la región de esfuerzo post-último.

(Tomada de *Effects of solar radiation on hair and photoprotection*. Dario M. 2015. Modificada por Espinoza C.)

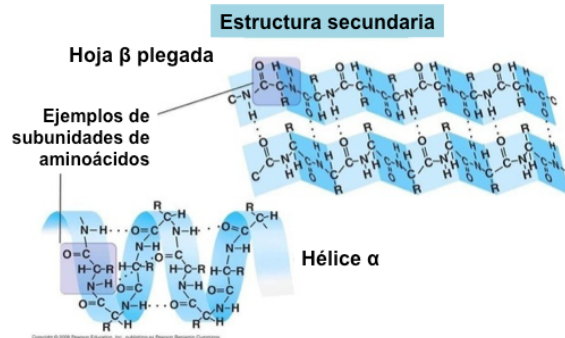


Figura 1-11. Conformaciones alfa y beta de una proteína. La queratina que en un inicio se encuentra en conformación alfa (helicoidal), se estira hasta una conformación beta (zig-zag); esto se debe a la ruptura de los puentes de hidrógeno.

(Tomada de <http://biology4alevel.blogspot.com/2014/08/12-protein-primary-secondary-tertiary.html> . 11 de mayo de 2019. Modificada por Espinoza C.)

- **Elasticidad:** el cabello se elonga cuando se aplica una fuerza distal (longitudinal) y regresa a su forma original cuando ésta cesa.
El cabello puede estirarse hasta 20 - 30 % de su longitud original en seco y hasta en un 50 % en húmedo.

El contacto con el amoniaco, la exposición solar, la humedad y el uso de herramientas de estilizado disminuyen la elasticidad.

- Poder hidrofílico: el cabello absorbe agua en forma líquida y vapor hasta en un 40 % de su peso, esto debido a la afinidad de la queratina por el agua. La hidrofilia se favorece con el aumento de la temperatura, los cambios de pH y los solventes polares que rompen los puentes de hidrógeno.

Tras la absorción del agua, la fibra se hincha, el diámetro aumenta 10-15 % y la longitud entre 0.5 – 1 %. El hinchamiento se ve altamente influenciado por el pH, sobre todo si éste es mayor a 8, puesto que la cutícula se abre y se levanta, volviéndola más susceptible al desprendimiento.

1.4.2 Propiedades de la superficie del cabello

- Brillo: el brillo es uno de los atributos más deseados en el cabello. Desde el punto de vista de la óptica, el brillo se debe al ángulo de incidencia y de reflexión de la luz en el cabello.

Dado que es una propiedad relacionada a la superficie del cabello, la cutícula juega un papel muy importante, por lo que daños en la misma que provoquen su descamación o el *build up* (acumulación de residuos catiónicos en la cutícula) reducen notoriamente el brillo. Por lo general esta propiedad es más apreciable en el cabello lacio comparado con el rizado y en el cabello oscuro contra el rubio.

- Peinabilidad: se define como la percepción subjetiva de la facilidad para pasar un peine por el cabello. Depende directamente de la oposición de la fuerza aplicada para deslizar el peine a lo largo de las hebras. Es un atributo muy importante para evaluar el acondicionamiento del cabello pues para el consumidor una mayor peinabilidad refleja un mayor acondicionamiento.

- Fricción: la fricción se define como la fuerza que se opone al movimiento cuando un cuerpo se desliza sobre la superficie de otro.

La cutícula tiene un alto coeficiente de fricción debido a que está conformada por escamas, su geometría irregular y el estado físico del cabello, en el cual la cutícula no está completamente sellada.

Los factores que influyen en la fricción son:

- Humedad relativa: la fricción es mayor en el cabello húmedo que en el cabello seco.
 - La decoloración que aumenta la fricción entre las hebras.
 - Alaciado y rizado permanentes: debido a que se utilizan sustancias con un pH elevado, aumentan la fricción del cabello.
 - Lavado con shampoo: los detergentes que contienen aumentan la fricción; sin embargo al utilizar un acondicionador con o sin enjuague disminuye la fricción del cabello que se generó durante el lavado.
-
- Porosidad: la presencia de poros en el cabello disminuye su apariencia saludable, no obstante, permite que los tratamientos químicos como el teñido y el alaciado funcionen de una forma más eficaz.

La porosidad del cabello se ve aumentada por:

- pH > 8 aumenta la permeabilidad.
 - Las altas temperaturas aceleran la penetración del agua.
 - El alaciado o rizado permanentes, la decoloración y el teñido aumentan la porosidad.
 - Humedad relativa del aire.
-
- Carga estática: la carga estática está dada en función de la conductividad de las fibras o de la resistencia eléctrica. Durante el peinado, cuando el peine se desliza por el cabello, se genera carga por fricción y por su alta resistencia eléctrica.

Los factores que influyen en la carga estática son:

- Condición de la superficie del cabello: el cabello con sebo o con algún cosmético tiene poca o nula estática.

- Grado de humedad del cabello: las cargas eléctricas tienden a fluir con mayor facilidad en el cabello húmedo contra el seco; por ello el cabello en seco tiende a tener mayor estática o “flyaway”. (Figura 1-12)



Figura 1-12. *Flyaway*. Término en inglés para referirse al cabello con carga estática. Éste fenómeno se observa, por ejemplo, cuando se frota un globo en el cabello.

(Tomada de <http://www.actitudfem.com/belleza/peinados-y-cabello/mascarillas/como-me-quito-la-estatica>. 18 de enero de 2018.)

- Punto isoelectrico: el punto isoelectrico de la cutícula es 3.8, en el que existe un balance entre las cargas positivas y negativas y la cutícula se encuentra sellada. A un $\text{pH} < 3.8$ la superficie del cabello se encuentra cargada positivamente porque predominan los grupos NH_3^+ y los grupos carboxilo de las proteínas se encuentran protonados, mientras que a un $\text{pH} > 3.8$ los grupos NH_3^+ pierden su carga positiva y la superficie del cabello se encuentra negativamente cargada (figura 1-13).

Los cosméticos capilares buscan por medio de un pH ligeramente ácido neutralizar las cargas negativas que se producen de manera natural por el daño (cepillado, tratamientos químicos que abren la cutícula) o contacto con algunas sustancias (detergentes de shampoo, agua) para sellar la cutícula y darle un aspecto más saludable; sin embargo cabe recordar que debido al alto contenido proteico del cabello, éste también puede sufrir daños si se trata con pH extremos, tanto ácidos como básicos.

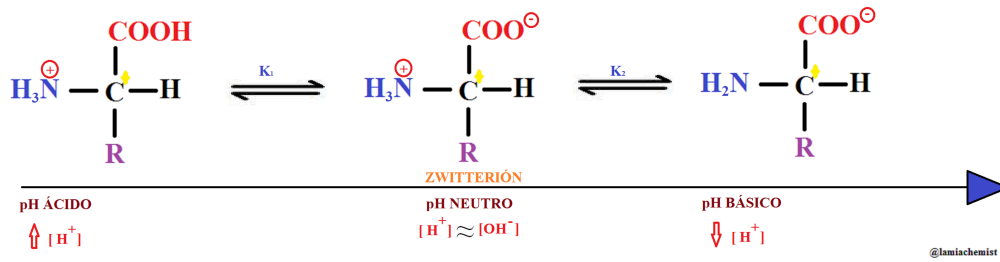


Figura 1-13. Predominancia de cargas en una molécula de acuerdo al pH del medio. A un pH < 3.8 (derecha) la cutícula se encuentra cargada positivamente; cerca de su punto isoeléctrico (centro) la cantidad de cargas positivas iguala a las negativas, y por ende, sellada. A un pH > 3.8 predominan las cargas negativas y la cutícula se encuentra abierta.

(Tomada de <https://lamiachemist.wordpress.com/tag/aminoacidos/>. 21 de enero de 2018.)

2 DAÑO AL CABELLO POR LA RADIACIÓN SOLAR

2.1 LA RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar es la energía electromagnética irradiada por el Sol y se compone de las regiones ultravioleta, visible e infrarrojo del espectro electromagnético. (Figura 2-1)

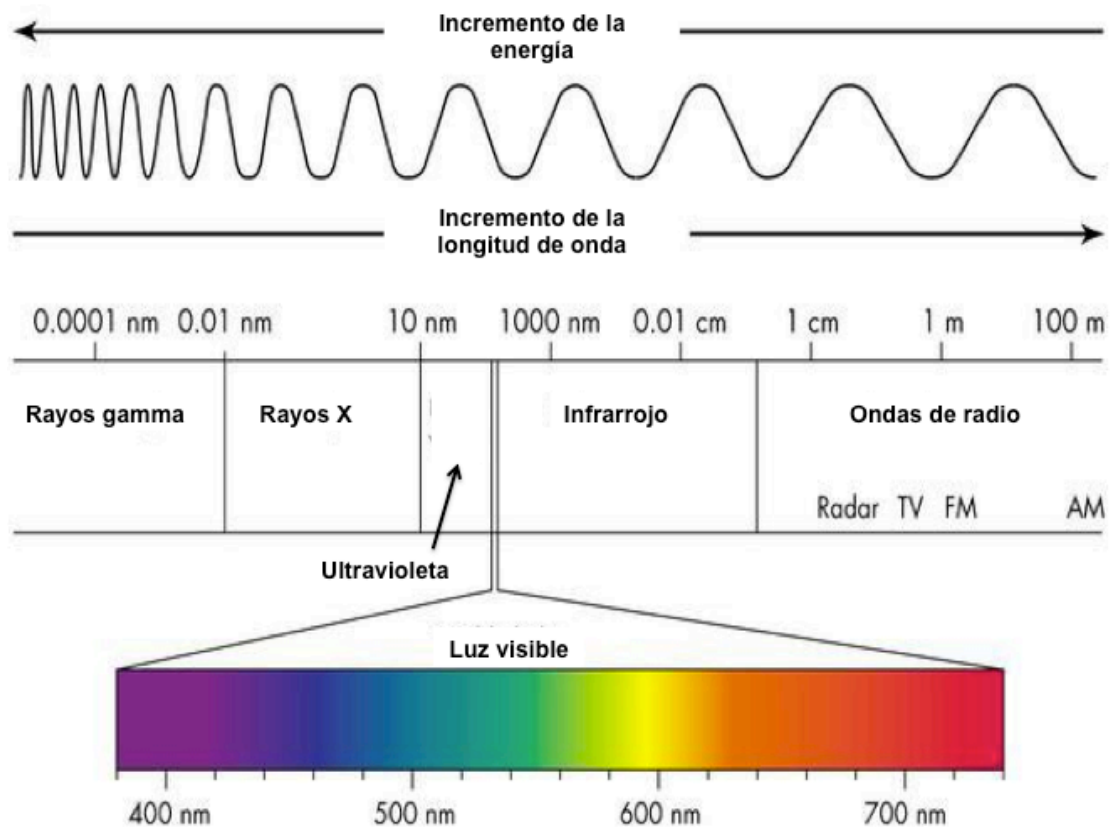


Figura 2-1. Espectro electromagnético. La radiación solar está conformada por los intervalos ultravioleta, visible e infrarrojo.

(Tomada de <https://sites.google.com/a/coe.edu/principles-of-structural-chemistry/relationship-between-light-and-matter/electromagnetic-spectrum>. 19 de febrero de 2018. Modificada por Espinoza C.)

El intervalo UV abarca las longitudes de onda de 200 nm a 400 nm y a su vez puede subdividirse en tres intervalos de acuerdo a cómo interactúa con los sistemas biológicos:

- Región UVC: Comprende el intervalo de 200 nm a 290 nm y es bloqueada en su totalidad por la capa de ozono.
- Región UVB: Comprende el intervalo 290 nm a 320 nm. Es la responsable de las quemaduras solares y la mayoría del daño en el cabello; sin embargo la capa de ozono sólo permite el paso del 1-10 % de esta radiación a la Tierra.
- UVA: Abarca los 320 nm a 400 nm y llega a la Tierra en un 90 a 99 %, es la responsable del fotoenvejecimiento de la piel y enfermedades como el cáncer de piel.

Establecido lo anterior, de la UV total que llega a la Tierra, 90 – 95 % corresponde a UVA y el 5 – 10 % restante es UVB. [11]

El intervalo visible comprende de los 400 nm a los 700 nm. Es la única región del espectro electromagnético que puede considerarse como “luz” pues es perceptible al ojo humano gracias a las células fotorreactivas de la retina.

La radiación infrarroja abarca el intervalo de 700 nm a 1 mm, aunque no es visible, puede brindar información sobre la temperatura de los objetos y el calor que éstos emiten.

La cantidad de radiación que llega a la Tierra se conoce con el nombre de radiación solar terrestre y se ve influenciada por los factores enlistados en la tabla 2-1. [22]

Tabla 2-1. Factores que influyen en la radiación solar terrestre.

Factor	Efecto
Hora del día	El 75 % de la UV total llega a la Tierra entre las 09:00 h y las 15:00 h, mientras que el 20 – 30 % restante lo hace de 11:00 h a 13:00 h. Durante el amanecer y el anochecer, la radiación UVA es mayor respecto a la UVB.
Estación del año	En los meses de verano llega la mayor cantidad de radiación a la Tierra, mientras que en invierno la cantidad de radiación incidente es mínima.
Geografía	La incidencia de radiación de UV aumenta conforme la latitud disminuye. El Ecuador es la zona geográfica donde se reporta la mayor cantidad anual de radiación.
Altitud	Un aumento de 1 Km en la altitud respecto al nivel del mar puede elevar en 10 – 25 % la irradiancia de UV, esto se debe a que la absorción del ozono y la concentración de aerosoles en el aire varían con la altitud.
Reflexión de la superficie	El albedo (fracción de radiación reflejada por una superficie) puede variar con la radiación UV. Generalmente la mayoría de suelos tienen albedos < 10 %, la nieve tiene valores del 30 – 80 % y la arena del 15 - 30 %.
Cobertura por nubes	Las nubes pueden dispersar la radiación UV solar dependiendo de su opacidad, altura, distribución tridimensional del agua condensada, solutos presentes y cromóforos o aerosoles atrapados. Las nubes “difusas” tienen casi nula posibilidad de dispersar la radiación, pero las nubes más “densas” pueden reducir la cantidad de UV hasta en un 50 %.

2.2 DAÑOS AL CABELLO OCASIONADOS POR LA RADIACIÓN SOLAR

Es bien sabido que el cabello sufre daños cuando se expone a la radiación solar pues se torna reseco, frágil y con un aspecto sin vida [9]; sin embargo estos daños son perceptibles incluso a nivel molecular.

La tabla 2-2 resume los daños que se producen en el cabello tras exponerlo a la radiación solar y que serán tratados en este capítulo, así como los métodos y técnicas de detección de dichos daños descritos con mayor detalle en el capítulo 2.3. Cabe mencionar que esta radiación puede afectar a más de una estructura simultáneamente y que el efecto detectable corresponde a un conjunto de daños y no a uno en particular.

Tabla 2-2. Daño de la radiación solar sobre el cabello y sus métodos de detección.

Nivel o estructura dañada	Daño producido	Método de detección
Hebra de cabello	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de color • Disminución del brillo. • Cambio en las propiedades mecánicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de color por espectrofotometría de reflectancia difusa (DRS). • Cuantificación de melanina por espectrofluorometría. • Medición del brillo utilizando un brillómetro. • Ensayo de peinabilidad. • Ensayo de flexión y abrasión. • Factor de protección del cabello (HPF).
Cutícula	<ul style="list-style-type: none"> • Daño a la cutícula. 	<ul style="list-style-type: none"> • Microscopio de fuerza atómica (AFM). • Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM)
Proteínas	<ul style="list-style-type: none"> • Degradación de proteínas y aminoácidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuantificación de proteínas. • Cuantificación de triptófano.
Lípidos	<ul style="list-style-type: none"> • Degradación de lípidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuantificación de lípidos peroxidados.
Radicales libres	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de radicales libres y especies reactivas de oxígeno (ROS). 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuantificación de radicales libres por resonancia de spin electrónico (ESR). • Factor de protección del cabello a los radicales (RHF).

2.2.1 Hebra del cabello

• Cambio de color: el cambio de color del cabello es uno de los efectos más perceptibles tras exponerlo a la radiación solar. Este fenómeno, llamado fotodecoloración, es provocado por la degradación de la melanina, ocurre principalmente por la luz visible y es poco influenciado por la UV. [7]

Las melaninas son un fotoprotector natural de la piel y el cabello, especialmente a bajas longitudes de onda donde absorben y filtran la radiación ultravioleta disipándola en forma de calor. Esta propiedad de absorción se debe a la gran cantidad de grupos carbonilo conjugados y dobles enlaces que capturan una gran parte de la radiación y también atrapan muchos de los radicales libres que se generan tras la exposición a UV y evitan que éstos migren a la matriz queratinosa; sin embargo es inevitable que

durante este proceso de fotoprotección los pigmentos se decoloren o se tornen amarillentos, lo que produce el cambio de color en el cabello. [9]

De todos los cabellos pigmentados (castaño, rubio y pelirrojo) el que sufre un cambio de color más visible es el rubio, si bien aún no se elucida el motivo; probablemente se deba a que las proteínas continúan degradándose con el tiempo durante la irradiación, mientras que las del cabello oscuro llegan a un punto en el que ya no se degradan. [3]

El cabello cano (blanco) se torna amarillento tanto con la radiación UV como con la IR, mientras que los cabellos pigmentados el cambio de color amarillo sólo ocurre con la UV.

- Disminución del brillo: tras la exposición del cabello a la radiación solar, éste pierde brillo y cobra un aspecto opaco y sin vida. Este efecto visible es producto de una serie de daños y no de uno en específico, sin embargo la estructura mayormente involucrada en la pérdida del brillo, es la cutícula puesto que las escamas que la conforman se levantan haciendo que la luz que incide se refleje de forma difusa y no de forma más especular como lo haría sobre una superficie lisa.

- Cambio en las propiedades mecánicas: el cabello expuesto a la radiación solar se vuelve más quebradizo y pierde flexibilidad, este efecto al igual que el anterior, no se debe a un daño en alguna estructura en específico, si no al conjunto de los mismos que se observan a nivel macroscópico como una modificación de las propiedades mecánicas; sin embargo cabe resaltar que para que se afecten estas propiedades el daño debe presentarse mayoritariamente a nivel del córtex.

En los siguientes incisos encontrará la información referente a la modificación de las propiedades mecánicas del cabello por UV.

2.2.2 Cutícula

- Daño a la cutícula: la cutícula es la región del cabello que sufre el mayor daño porque es la región más expuesta de las hebras y además tiene un alto contenido en cistina.

Las escamas de la cutícula se levantan alrededor de 100 nm (figura 2-2), posiblemente debido a que el CMC deja de funcionar como adhesivo entre ellas, lo que a simple vista se observa como una disminución del brillo, porque la luz incidente ya no es reflejada sino difractada.

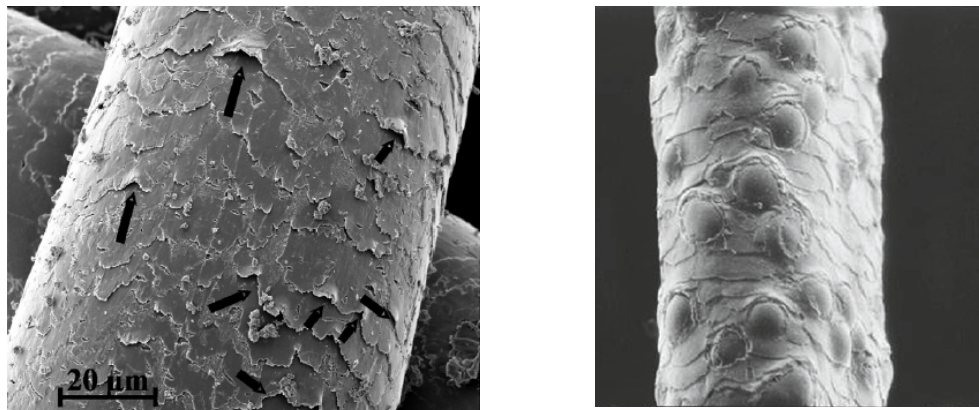


Figura 2-2. Anormalidades de la cutícula observada por FESEM. En la imagen izquierda las flechas señalan las escamas de la cutícula que se han desprendido, mientras que en la imagen derecha se muestran las burbujas formadas en la hebra de cabello.

(Tomadas de Chemical and physical behavior of human hair. Robbins C. 2002.)

Con la exposición a UV también se forman protuberancias o burbujas cubiertas por una capa muy fina de epicutícula, que miden alrededor de 200 nm de diámetro y 5 nm de alto. Esta altura es un indicativo que el daño ocurre no sólo en la cutícula, sino también en la capa lipídica que la recubre y en la epicutícula.

A través de técnicas microscópicas se determinó que las burbujas formadas no corresponden a depósitos de algún material, sino que por el contrario son huecas; lo que conlleva a la hipótesis que tras la exposición a la radiación, en el interior de la hebra ocurren reacciones químicas en las que se libera un gas que forma estas protuberancias. [6]

2.2.3 Proteínas

- Degradación de proteínas y aminoácidos: la degradación de las proteínas del cabello se induce a las longitudes de onda entre los 254 – 400

nm, lo cual indica que el daño se ve fuertemente influenciado por la radiación UV y poco o casi nada, por la luz visible. [30]

Los aminoácidos presentes en la cutícula son más propensos a sufrir daño, comparados contra los del córtex, pues ésta es la parte más externa del cabello. Los aminoácidos presentes en la queratina que son más propensos a la fotodegradación son: [30]

- Cistina y metionina (aminoácidos que contienen azufre).
- Fenilalanina, tirosina y triptófano (aminoácidos aromáticos)
- Histidina
- Prolina
- Leucina (aminoácido alifático)

Como daño general a los aminoácidos, el esqueleto de carbono se oxida a grupos carbonilo (alfa-cetoácidos y alfa-cetoamidas) y a grupos amida.

Para casos más específicos, en la cistina se rompen los puentes disulfuro, ya sea vía enlaces C-S o S-S y se produce ácido sulfónico o ácido cisteico (figura 2-3); este fenómeno se observa macroscópicamente como el aumento en la fragilidad del cabello y la modificación de sus propiedades mecánicas. De manera similar en la fotodegradación del triptófano se forman los productos quinurenina y n-formilquinurenina (figura 2-4). [17]

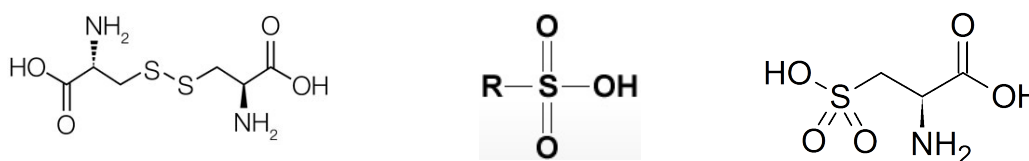


Figura 2-3. Estructuras de cistina (izquierda), ácido sulfónico (centro) y ácido cisteico (derecha).

(Tomadas de Chemical and physical behavior of human hair. Robbins C. 2002 (izquierda), http://www.chem.ucla.edu/~harding/IGOC/S/sulfonic_acid.html (centro), <https://www.fishersci.es/shop/products/l-cysteic-acid-99-acros-organics-3/p-4229159> (derecha). 20 de febrero de 2018).

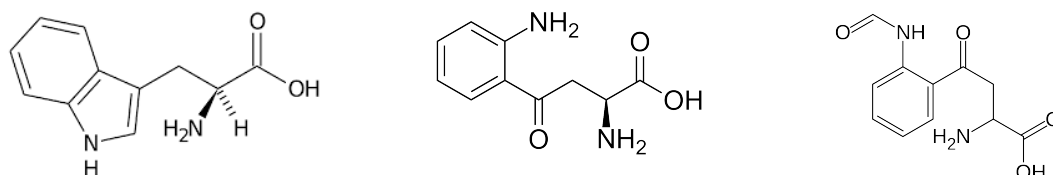


Figura 2-4. Estructuras del triptófano (izquierda), quinurenina (centro) y n-formilquinurenina (derecha).

Tomadas de *Chemical and physical behavior of human hair*. Robbins C. 2002 (izquierda), <https://www.nature.com/articles/s41598-017-12392-6> (centro y derecha), 20 de febrero de 2018.

2.2.4 Lípidos

- Degradación de lípidos: el daño a los lípidos está estrechamente relacionado al color del cabello, esto debido al diferente nivel de protección que brindan los tipos de melanina. Para esquematizar mejor estas diferencias en el daño, la tabla 2-3 compara los daños en los lípidos del cabello rubio contra el cabello oscuro. [10]

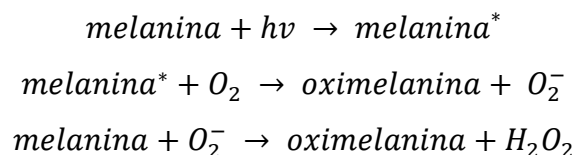
Tabla 2-3. Comparación del daño a los lípidos en el cabello rubio contra el cabello castaño.

Cabello rubio	Cabello castaño
Mayor degradación del lípido integral del cabello (IHL).	Menor degradación del IHL.
Degradación del colesterol hasta en un 60 %.	Degradación hasta del 24 % del colesterol [32]
La degradación de ácidos grasos por UVA y UVB es similar para ambos tipos de cabello.	
La radiación UVB disminuye los ácidos grasos en un 40 % aproximadamente, mientras que la UVA los degrada en un 20 %.	

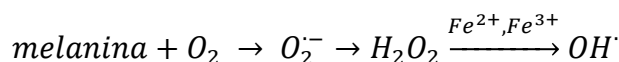
2.2.5 Radicales libres

- Producción de radicales libres y especies reactivas de oxígeno (ROS): las especies reactivas de oxígeno (ROS) son moléculas pequeñas y muy reactivas que se producen principalmente por UVA y participan en la oxidación de triptófano, cisteína y en la producción de oximelanina. Aunque el mecanismo no está completamente elucidado, se cree ocurre a través de las

siguientes reacciones cuando el oxígeno molecular entra en contacto con el radical melanina: [5]



La melanina en presencia de oxígeno produce el radical superóxido (O_2^-); éste dismuta en peróxido de hidrógeno (H_2O_2), que a su vez produce radicales hidroxilo (OH) en presencia de trazas de óxidos de hierro. Estos radicales se producen alrededor de los 320 nm ya que se cree se originan a partir de la formación de un complejo hierro-proteína que absorbe a mayores longitudes de onda.



Los radicales superóxido e hidroxilo tienen un electrón desapareado en su orbital más externo, lo que les da una gran capacidad de reaccionar, especialmente con los dobles enlaces, como los de los lípidos insaturados, por ejemplo.

De forma similar ocurre la oxidación del carbono de los grupos amida a carbonilo, una reacción involucrada cuando el cabello se torna amarillento. Estos radicales carbonados se producen a los 285 nm y provienen principalmente de los aminoácidos aromáticos, y de acuerdo a experimentos de cinética química se sabe que existen al menos tres radicales diferentes generados a esta longitud de onda. [9]

2.3 CUANTIFICACIÓN DEL DAÑO EN EL CABELLO POR LA RADIACIÓN

2.3.1 Hebra del cabello

- Cambio de color por espectrofotometría de reflectancia difusa (DRS): para el ojo humano el color es una observación subjetiva que depende de factores psicológicos y a veces, condiciones fisiológicas que afecten esta

percepción (por ejemplo, el daltonismo); con ello nace la necesidad de encontrar un método objetivo y robusto para la apreciación del color.

La espectroscopía de reflectancia difusa (DRS por sus siglas en inglés) es una técnica que permite caracterizar el color en términos numéricos. Su fundamento recae en la interacción de la luz con la materia, que a través de un equipo especializado, brinda información exacta sobre el color del objeto.

Esta medición puede efectuarse con un espectrofotómetro UV-Vis acoplado a una esfera integradora. (Figura 2-5)

La esfera integradora es una esfera hueca de 50-250 mm de diámetro, con tres aperturas por las que pasa el haz de luz, se coloca la muestra y se acopla un detector. En su interior se encuentra recubierta con sulfato de bario (BaSO_4), politetrafluoroetileno (PTFE o teflón) o algún otro material con un coeficiente de reflectancia difusa cercano a 1.

Cuando el haz de luz interactúa con la muestra se presenta una reflexión directa (especular) y una reflexión difusa (refracción y difracción); ambos tipos de reflexión son captados por la esfera integradora y al pasar al detector estas señales se traducen en coordenadas de color de acuerdo al sistema CIELAB. [27]

El sistema CIELAB toma su nombre de la Commission Internationale de l'Eclairage y las coordenadas "l", "a" y "b" que maneja. Permite obtener una medición objetiva del color al posicionarlo como un punto en un espacio tridimensional.

Trabaja a través de tres coordenadas: (figura 2-6)

- L^* para la luminosidad
- $+a^* \rightarrow -a^*$ para rojo-verde
- $+b^* \rightarrow -b^*$ para amarillo-azul

Una vez obteniendo estas coordenadas es posible aplicarlas en las ecuaciones matemáticas CIELAB para obtener los siguientes parámetros:

- DE^* : valor para la diferencia total de color
- DL^* : valor para la diferencia de luminosidad
- DC^* : valor para la diferencia de cromaticidad o saturación.

Así pues, se obtiene la caracterización matemática y única para cada color.

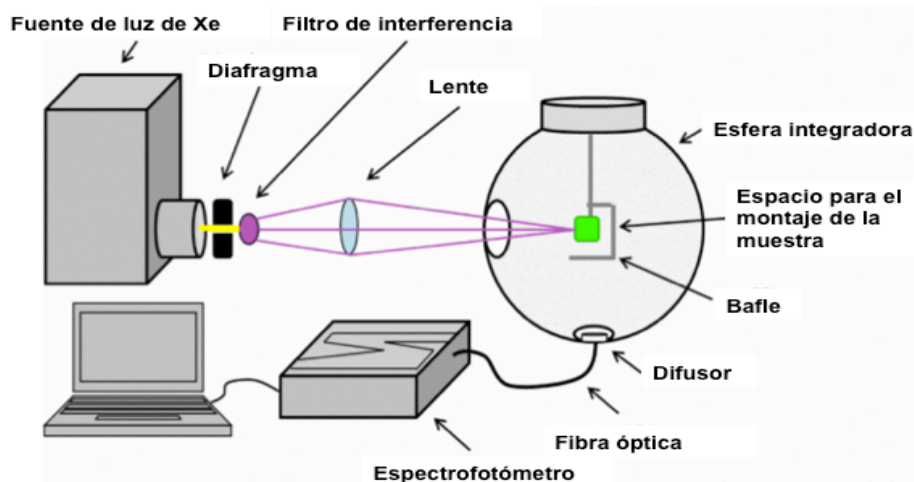


Figura 2-5. Arreglo de un equipo de reflectancia difusa. El equipo consta principalmente de una fuente de luz, una esfera integradora y un espectrofotómetro.

(Tomada de https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representation-of-the-integrating-sphere-setup_fig1_270287835. Leyre, S. et al. 21 de febrero de 2018. Modificada por Espinoza C.)

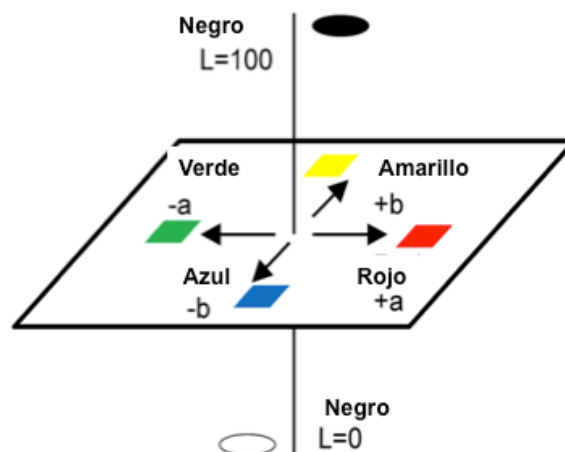


Figura 2-6. Coordenadas de color del sistema CIELAB. Cada punto ubicado en este espacio corresponde a un color único y específico.

(Tomada de https://www.researchgate.net/figure/CIE-Lab-color-space_fig3_260525858. Liu, W., et al. 21 de febrero de 2018. Editada por Espinoza C.)

Para el caso del cabello, es posible saber si existen cambios en su color antes y después de la exposición a la radiación solar. Primero, se obtienen las coordenadas $L^*a^*b^*$ y se calculan los valores DE^* , DC^* y DL^* del cabello sin irradiar; posteriormente se irradia la muestra y se vuelve a efectuar la DRS para conocer si existen diferencias significativas en el color del cabello antes y

después de la exposición a la radiación. Si bien no existe un patrón establecido de muestreo, algunos autores recomiendan hacer 5 – 10 mediciones por muestra, cuidando que la zona estudiada sea siempre la misma para evitar variabilidad. [7]

- Cuantificación de melanina por espectrofluorimetría: la espectrofluorimetría, espectrometría de fluorescencia o fluorimetría es una técnica espectrofotométrica basada en la fluorescencia de la materia.

La fluorescencia es un tipo de luminiscencia en el cual una molécula absorbe energía electromagnética y la emite a una longitud de onda mayor a la longitud de onda de absorción, en este fenómeno el tiempo entre la absorción y la emisión de la luz es 10^{-8} s, por lo que se observa de inmediato y sólo en presencia de la radiación incidente.

La espectrofluorimetría se realiza con un equipo de luminiscencia (figura 2-7), en el cual se selecciona una longitud de onda de excitación (λ_{ex}) mediante un monocromador, y se observa la luminiscencia a través de un segundo monocromador que se encuentra colocado a 90° respecto a la luz incidente. Si se mantiene una longitud de onda de excitación fija y se registra la radiación emitida se obtiene el espectro de emisión, es decir, la representación de la intensidad de emisión frente a la longitud de onda. Si por el contrario se varía la longitud de onda de excitación y se mide la luz emitida a una longitud de onda determinada (λ_{em}) se obtiene un espectro de excitación, que es la representación gráfica de la intensidad de emisión frente a la longitud de onda de excitación. (Figura 2-8)

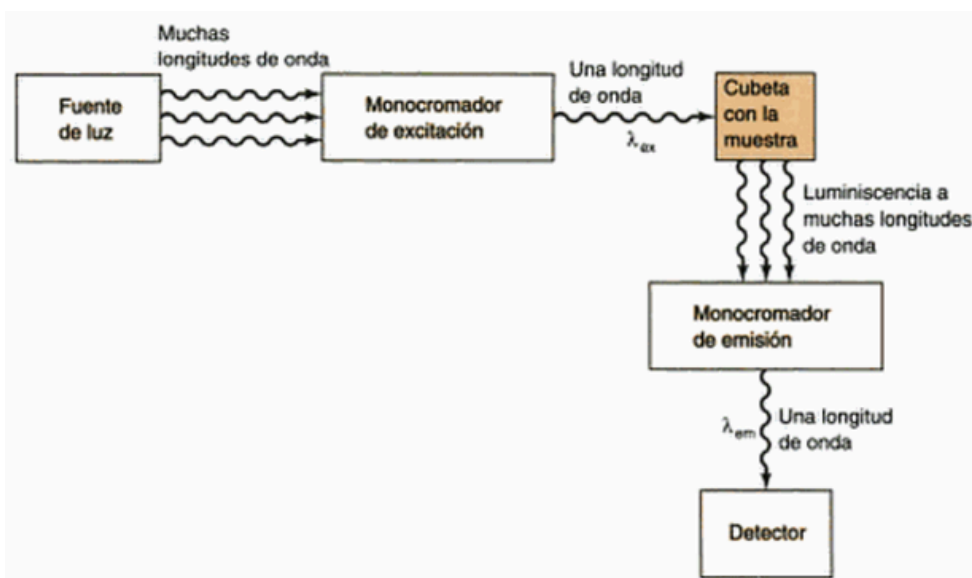


Figura 2-7. Partes de un equipo de luminiscencia.

(Tomada de *Análisis Químico Cuantitativo*. Harris D. 2005.)

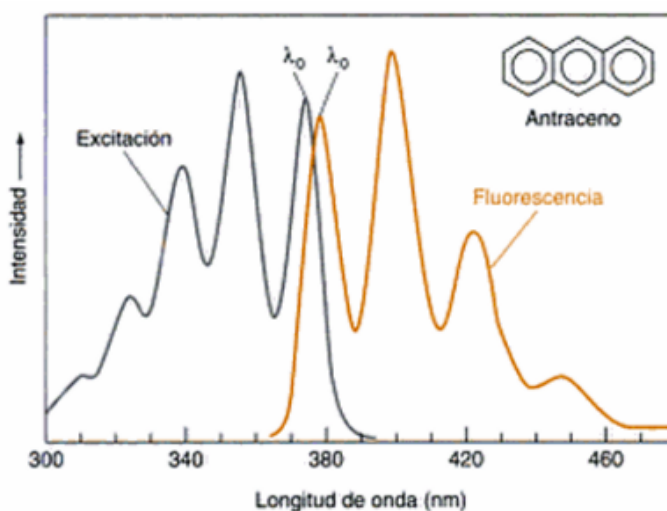


Figura 2-8. Espectros de excitación y emisión (fluorescencia) de una molécula. Cabe destacar que ambos espectros son imágenes casi espejadas porque conforme aumenta la absorbancia a una longitud de onda de excitación, más moléculas pasan al estado excitado y mayor es la emisión que se observa.

(Tomada de *Análisis Químico Cuantitativo*. Harris D. 2005.)

Como técnica analítica, si la absorbancia de una muestra es pequeña a longitudes de onda de excitación y emisión, la intensidad de la emisión es proporcional a la concentración de la molécula emisora de fluorescencia y está regida por la siguiente ecuación. [27]

$$I = kP_0C$$

Donde:

- I= intensidad de emisión
- P_0 = irradiancia de la luz incidente
- k= constante del medio
- C= concentración de la muestra

En el cabello es posible cuantificar el cambio de color en términos de la fluorescencia de las melaninas (figura 2-9) cuya máxima emisión se registra a 373 nm y es proporcional al contenido de la misma.

Para esta prueba se toman 50 mg de muestra (cabello irradiado) y de cabello sin irradiar como control negativo, se disuelven en NaOH 2.0 M, se dejan en reposo 24h para solubilizar las proteínas, se filtran y se obtienen los espectros de emisión de ambas soluciones. La figura 2-10 muestra un ejemplo de estos espectros de fluorescencia. [7]



Figura 2-9. Estructuras de la feomelanina (izquierda) y eumelanina (derecha). La propiedad intrínseca de fluorescencia de las melaninas se debe a la presencia de residuos de aromáticos.

(Tomadas de Chemical and physical behavior of human hair. Robbins C. 2002.)

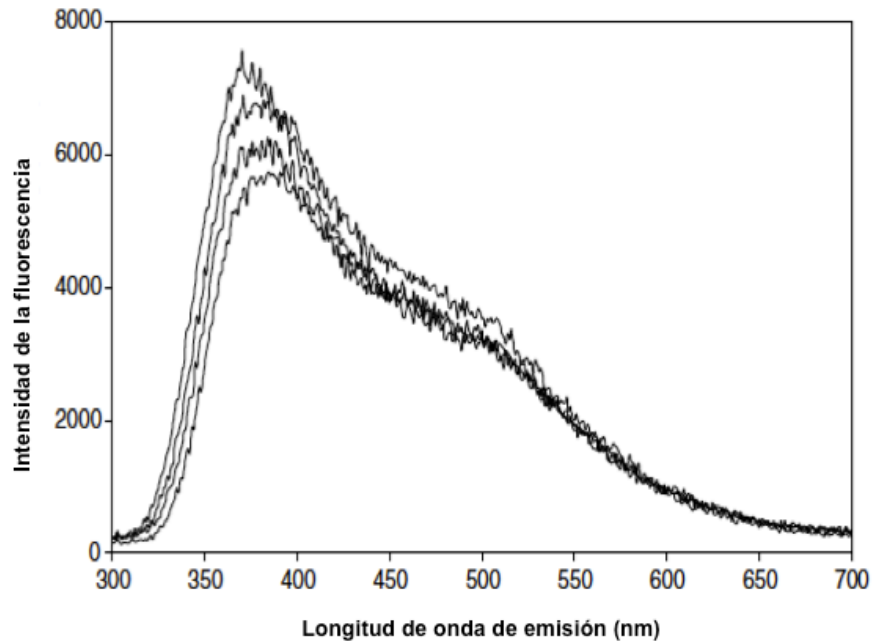


Figura 2-10. Espectros de fluorescencia de la melanina. La curva superior corresponde al espectro de emisión del cabello sin irradiar, mientras que las curvas inferiores corresponden a muestras de cabello irradiado. Al ser la fluorescencia proporcional al contenido del analito, la muestra sin irradiar contiene más melaninas que las muestras irradiadas.

(Tomada de *Photo yellowing of human hair*. Nogueira A. 2007. Modificada por Espinoza C.)

- Medición del brillo utilizando un brillómetro: El brillo es una percepción visual resultado de la evaluación de la superficie de los objetos; cuanto más luz refleja un objeto, mayor es la cantidad de brillo que se percibe.

De manera estandarizada, el brillo puede medirse utilizando un brillómetro o glossímetro (de *glossimeter*, en inglés). Este equipo funciona irradiando la muestra de interés con un haz de luz a un ángulo específico y midiendo con un detector la cantidad de luz reflejada. (Figura 2-11).

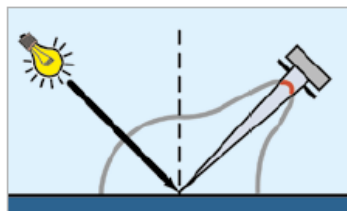


Figura 2-11. Medición de la reflexión especular con un brillómetro.

(Tomada de *Introducción al brillo*. BYK-Gardner GmbH.)

Para evaluar cosméticos existen brillómetros especializados que se componen de una fuente de luz LED blanca que incide a 60° sobre la muestra (piel o cabello) y dos sensores que detectan la reflexión difusa y especular de la luz. (Figura 2-12)

Si se desea conocer el cambio en el brillo del cabello tras la exposición a la luz solar, esta prueba se realiza midiendo el brillo antes y después de la exposición, cuidando que las zonas muestreadas sean siempre las mismas para tener consistencia en las mediciones. [22]

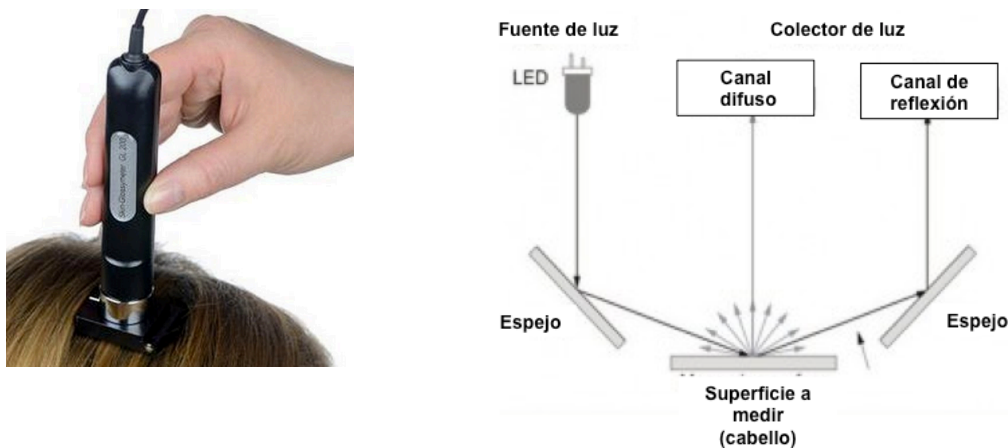


Figura 2-12. Brillómetro para cabello (izquierda) y diagrama de sus componentes (derecha).

(Tomadas de <http://careabout.eu/skin-hair-gloss-measurements/> 21 de febrero de 2018. Figura derecha modificada por Espinoza C.)

- Ensayo de peinabilidad: este ensayo sirve para determinar de manera cuantitativa la fuerza necesaria para deslizar un peine a través del cabello. Se realiza con un equipo llamado texturómetro (figura 2-13) que consiste de un brazo mecánico al cual se le acopla un peine especial que se desliza a lo largo del cabello y registra la fuerza requerida para desenredarlo y peinarlo. Esta prueba se realiza utilizando como control negativo mechadas de cabello sin exponer a la radiación, posteriormente se irradian y se mide nuevamente su peinabilidad para comparar el antes y después de la exposición.

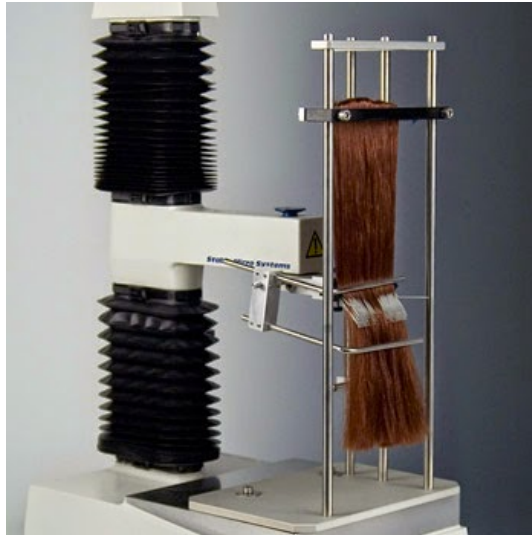


Figura 2-13. Equipo texturómetro para determinar la peinabilidad. La mecha de cabello se coloca en un soporte fijo, el peine se desliza a lo largo del cabello y se registra con un software la fuerza necesaria para peinarlo.

(Tomada de <http://textureanalysisprofessionals.blogspot.mx/2015/06/texture-analysis-in-action-hair-combing.html>. 18 de febrero de 2018.)

- Ensayo de flexión y abrasión: parte del daño al cabello en general, incluido el producido por la radiación solar, se identifica por la modificación de sus propiedades mecánicas, como la disminución de su fuerza y resistencia al estiramiento.

Los estudios de tensión constituyen la forma principal de evaluar la fuerza del cabello, en los cuales las hebras de cabello se sujetan a un soporte de un extremo y en el otro cargan pesos crecientes, que van estirando el cabello hasta romperlo. Sin embargo esta clase de estudios son poco atinados puesto que no simulan condiciones normales a las cuales los cabellos se expondrían en la vida real, por el contrario son tan drásticas que desprenderían el cabello del folículo antes de romperlo.

Con ello surge un estudio más apegado a las condiciones reales, el ensayo de flexión-abrasión.

Esta prueba se lleva a cabo a 23 ° C y 60 % de humedad relativa (HR) sujetando una mecha de 20 hebras de cabello que se coloca sobre un alambre de tungsteno de 0.2 mm de diámetro en un ángulo de 90 °, cargando una masa de 12 g. (figura 2-14). La mecha de cabello se desplaza adelante y hacia

atrás un total de 8 mm a una frecuencia de 2 Hz y se cuentan los ciclos necesarios para romper las hebras. [13]

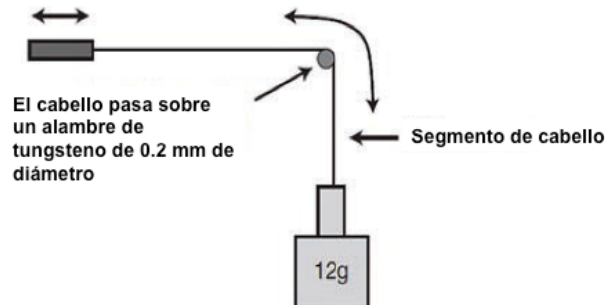


Figura 2-14. Equipo para realizar el ensayo de flexión-abrasión. La mecha de cabello se coloca de forma perpendicular al alambre y se mueve adelante y atrás (4 mm en cada dirección) hasta que se rompe.

(Tomada de *Flexabrasion: A Method for Evaluating Hair Strength*. Swift J. 2014. Modificada por Espinoza C.)

- Factor de protección del cabello (HPF): el factor de protección del cabello o *Hair Protection Factor* (HPF) se basa en la medición de las propiedades mecánicas del cabello protegido y sin proteger contra UV. Este factor se calcula con la pendiente (θ) de la región de endurecimiento por deformación de un ensayo de tracción (figura 1-8) utilizando hebras de cabello irradiado a UV protegido y desprotegido. Posteriormente se utiliza el siguiente modelo matemático para calcular el HPF: [5]

$$HPF = \frac{(\theta, \text{sin irradiar} - \theta, \text{irradiado})_{\text{cabello sin proteger}}}{(\theta, \text{sin irradiar} - \theta, \text{irradiado})_{\text{cabello protegido}}}$$

2.3.2 Cutícula

- Microscopio de fuerza atómica (AFM): el microscopio de fuerza atómica (AFM) permite la caracterización de muestras a escala atómica, funciona con el mismo principio que un resorte a través de la Ley de Hooke:

$$F = kx$$

En la cual un resorte con una constante elástica “k” puede estirarse una distancia “x” cuando se le aplica una fuerza “F”.

Solo que para el caso del AFM, el “resorte” corresponde a una micropalanca flexible (cantiléver) que posee una constante elástica de 0.01N/m a 50 N/m y que en un extremo cuenta con una punta muy afilada a través de la cual interactúa con la muestra y le es posible registrar fuerzas de 10^{-13} N a 10^{-5} N, estas fuerzas corresponden a interacciones entre los átomos como fuerzas magnéticas, electromagnéticas y de Van der Waals. [24]

El AFM opera de la siguiente forma: un fotodiodo mantiene la fuerza de la micropalanca constante y se establece un *set point* (punto de ajuste). La punta del cantiléver oscila y toca intermitentemente la muestra a lo largo de toda su superficie (es decir, en el plano *xy*), estas interacciones llegan a un sensor “z” que brindará información tridimensional sobre la muestra. Las diferencias de voltaje son detectadas y se manejan con un software especializado que las transforma en imágenes. (Figura 2-15). [44]

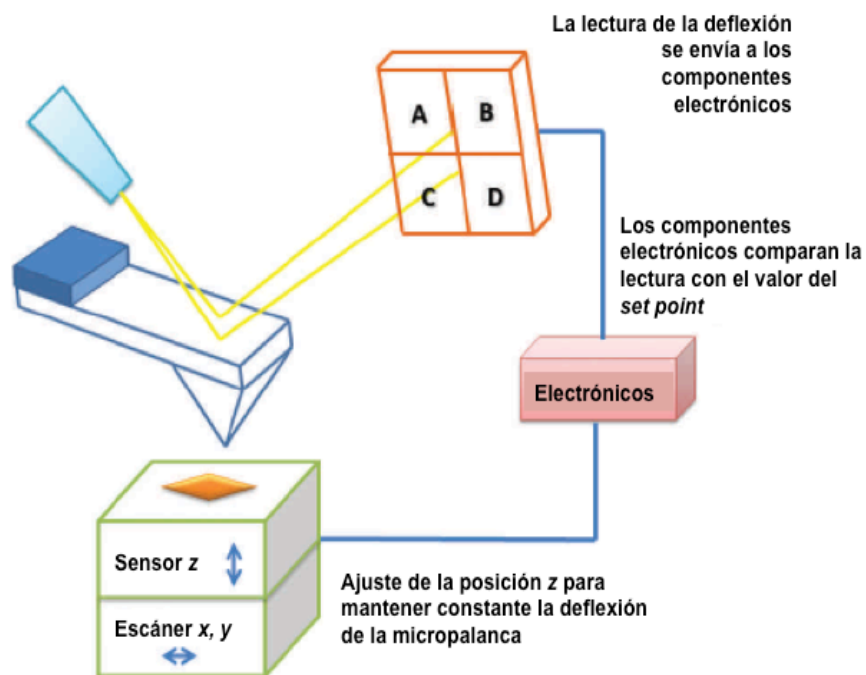


Figura 2-15. Componentes de un microscopio de fuerza atómica.

(Tomada de *El microscopio de fuerza atómica: métodos y aplicaciones*. López E. 2014.)

Con el microscopio de fuerza atómica es posible estudiar la superficie del cabello, si la cutícula presenta fisuras, levantamientos o algún otro tipo de daño; para realizar este ensayo la muestra se observa antes de exponerla a la radiación, posteriormente se irradia y se vuelve a observar en el microscopio para comparar el antes y después a la exposición. [6]

- Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM): un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo es un microscopio que funciona con electrones en vez de luz.

Para lograrlo, el equipo cuenta con un cañón de emisión de campo (*Field Emission Gun*, FEG) de electrones al alto vacío que permite enfocarlos y alinearlos para formar un haz estrecho de luz que bombardea la muestra.

Estos electrones, llamados electrones primarios, interactúan con la muestra que emite a su vez electrones secundarios, los cuales son atrapados por un detector y se transforman en una señal electrónica que una vez convertida en imagen, proporciona información de la muestra como sus dimensiones, textura o estructura de sus componentes, pudiendo tener una resolución de hasta 1 nm.

Los componentes de un microscopio de FESEM pueden observarse en la figura 2-16.

Para que puedan ser observadas, las muestras deben recubrirse previamente con una capa muy delgada (1.5- 3.0 nm) de algún material conductor, que generalmente es oro o algún compuesto de oro-paladio; a este proceso se le llama pulverización catódica o *sputtering* y se realiza con un equipo independiente del microscopio. [23]

Con FESEM es posible realizar un estudio de la cutícula para observar el levantamiento o desprendimiento de las escamas que la conforman (figura 2-2, izq.), así como la presencia de burbujas. Ambos fenómenos se describen en el capítulo 2.2.2.

Este estudio se realiza con la muestra (cabello irradiado) y con un control negativo (cabello sin irradiar), previamente se recubren con oro y se procede a realizar la observación al microscopio.

Cabe resaltar que ésta es una técnica destructiva, por lo que no se puede observar la misma muestra de cabello antes y después de la irradiación ya que la pulverización catódica interfiere con la respuesta de la superficie a la irradiación [6]

En el caso del estudio de la cutícula del cabello, la técnica FESEM es de gran utilidad para realizar un “mapeo” rápido de su superficie gracias a que el rango de amplificación de la imagen es muy grande y puede ser rápidamente ajustado; sin embargo es una técnica costosa y poco accesible. [6]

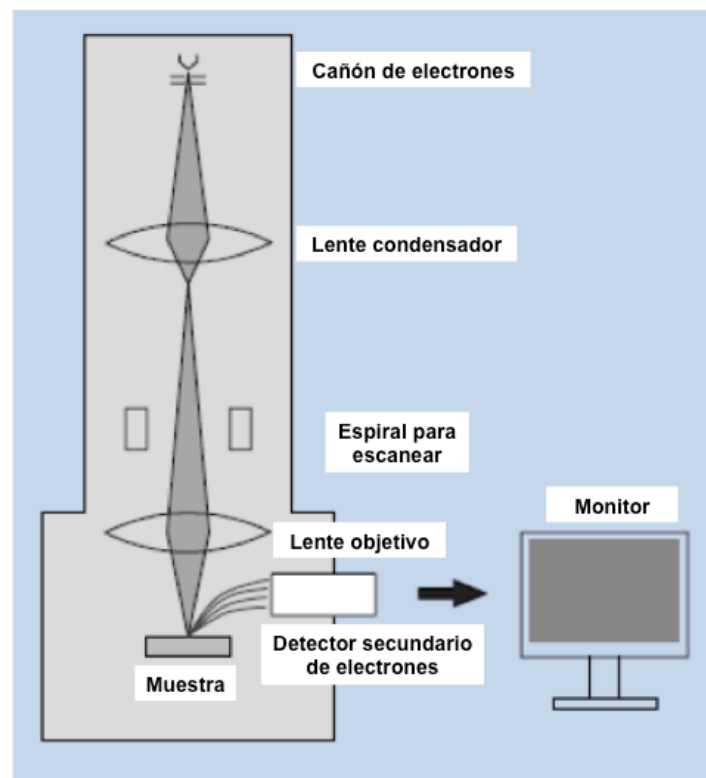


Figura 2-16. Componentes principales de un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM).

(Tomada de Acceso, Manejo y aplicaciones del Microscopio Electrónico de Barrido de Emisión de Campo (Alta Definición) con microanálisis de rayos X. Cobos D. Modificada por Espinoza C.)

2.3.3 Proteínas

- Cuantificación de proteínas : la cuantificación de proteínas por el método de Bradford se basa en la formación de un complejo proteínico colorido que puede ser cuantificado por espectrofotometría.

Previo al ensayo se elabora una curva patrón de albúmina sérica bovina (BSA). El cabello irradiado (muestra) y el cabello sin irradiar (control negativo, C-) se trata con dodecil sulfato de sodio (SDS) al 2.0 %. Ambas soluciones se sonicar para solubilizar las proteínas, se les agrega el colorante azul brillante G y se lee su absorbancia en un espectrofotómetro a 595 nm. (Figura 2-17)

Si bien es cierto que existen otros métodos para la cuantificación de proteínas (Biuret, Lowry, electroforesis en gel, cromatografía de exclusión molecular, entre otros.) para fines prácticos en este trabajo sólo se describirá el método de Bradford, aunque bien podría utilizarse cualquier otro. [2]

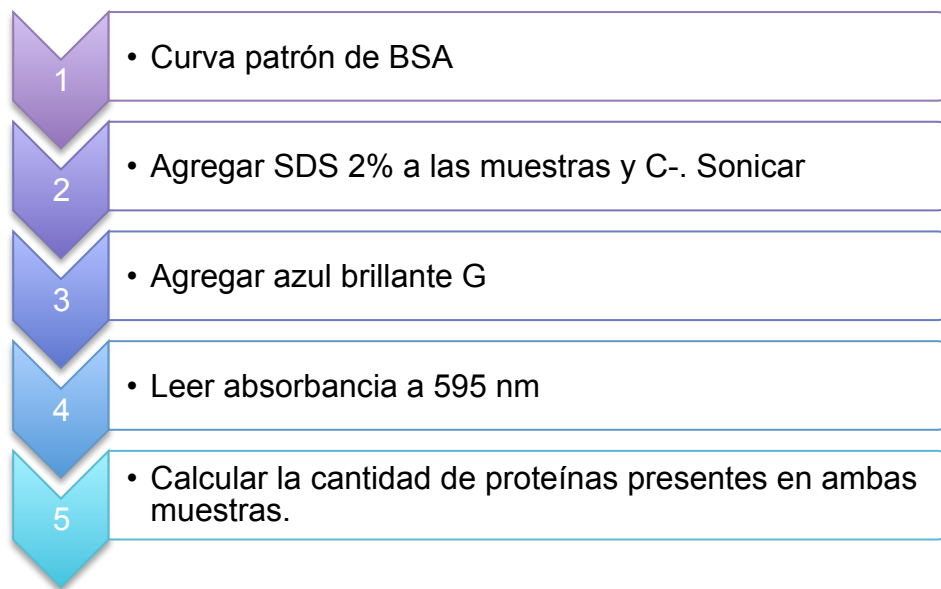


Figura 2-17. Diagrama de flujo de la cuantificación de proteínas por el método de Bradford.

(Figura creada por Espinoza C. 2018.)

- Degradación de triptófano: el triptófano, al igual que la melanina, puede ser cuantificado por espectrofluorimetría, cuyo fundamento se describe con anterioridad.

La muestra de cabello irradiado y el cabello sin irradiar (control negativo, c-) se tratan con NaOH 2M y se dejan reposar. Posteriormente con ayuda de un

espectrofluorímetro se obtienen los espectros de excitación y emisión del triptófano a 290 y 345 nm, respectivamente y se calcula la cantidad del aminoácido presente en ambas muestras.

El ensayo también puede realizarse en función del principal producto de la fotooxidación del triptófano, la n-formilquinurenina (figura 2-4); el procedimiento a seguir es el mismo, sólo se modifica la longitud de onda a 420 nm, en la cual el analito presenta su máxima emisión. [17]

2.3.4 Lípidos

- Cuantificación de lípidos peroxidados: la cuantificación de los lípidos es un poco más complicada comparada con la cuantificación de las proteínas puesto que sólo representan el 2 - 3 % del cabello; sin embargo es posible cuantificar los lípidos peroxidados (LPOs) con el ensayo del ácido tiobarbitúrico [2].

Este método se fundamenta en la producción de malonaldehído (MDA) a partir de los lípidos peroxidados (figura 2-18), que reaccionará con el ácido tiobarbitúrico (TBA) para formar el aducto bis(dimetilacetal)malonaldehído (MDA-TBA) y ser cuantificado por espectrofotometría. (Figura 2-19)

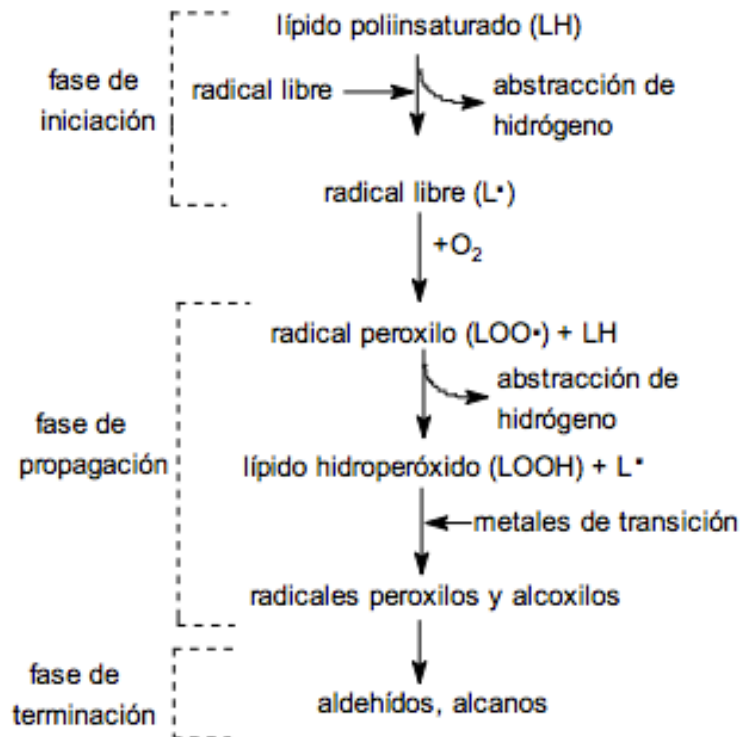


Figura 2-18. Producción de malonaldehído a partir de los lípidos peroxidados. Los lípidos con dobles enlaces son susceptibles a reaccionar con los radicales libres para producir lípidos hidroperóxidos y continuar oxidándose hasta alcanos y aldehídos, entre ellos, el malonaldehído (MDA).

(Tomada de Unidad 3. Estrés oxidante. Hernández F. et al. 2015.)

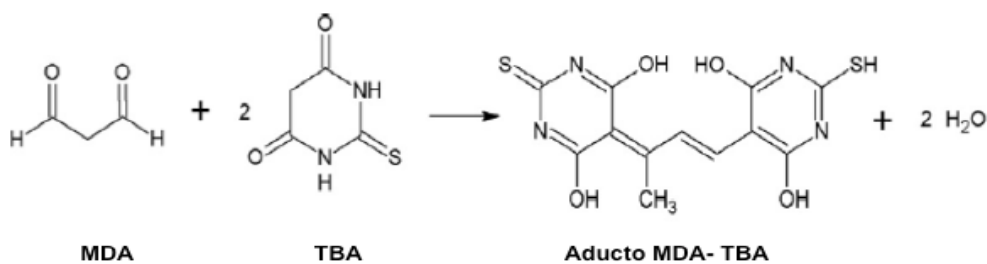


Figura 2-19. Reacción química involucrada en el ensayo del ácido tiobarbitúrico.

(Tomada de Photodamage determination of human hair. Fernández E. 2011. Modificada por Espinoza C.)

Previo al ensayo se realiza una curva patrón de MDA-TBA.

El cabello irradiado (muestra) y el cabello sin irradiar (control negativo, C-) se tratan con metanol para extraer los lípidos, los extractos se secan en una atmósfera inerte y se reconstituyen. Se adiciona TBA y las muestras se leen a

534 nm. El MDA-TBA cuantificado se expresa en términos de MDA. (Figura 2-20)

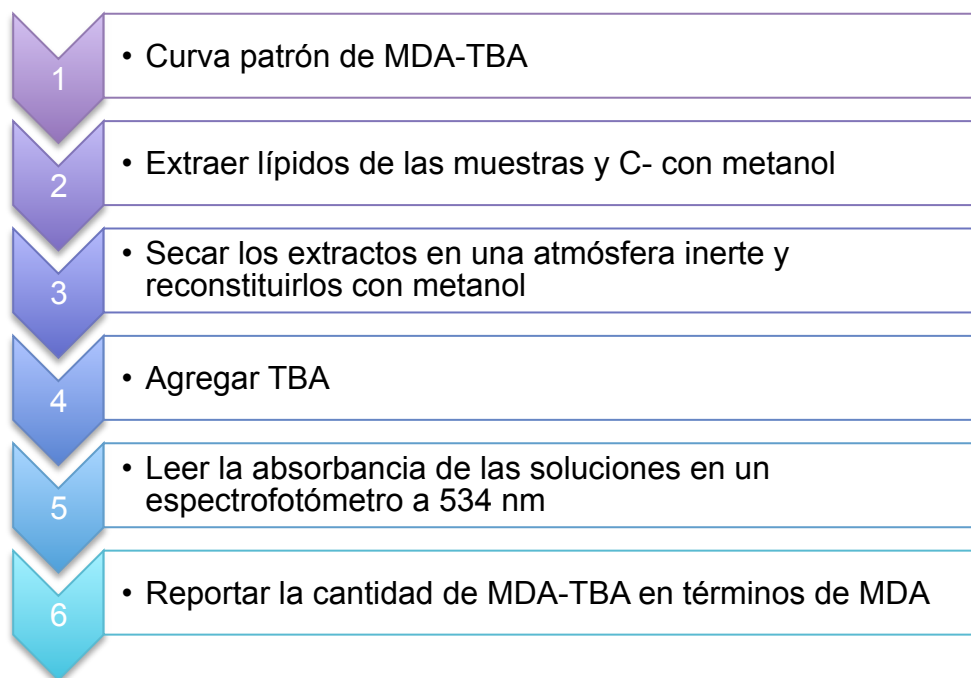


Figura 2-20. Diagrama de flujo del ensayo del ácido tiobarbitúrico para cuantificar los lípidos peroxidados.

(Figura creada por Espinoza C. 2018.)

2.3.5 Radicales libres

- Cuantificación de radicales libres por resonancia de spin electrónico (ESR): la resonancia paramagnética electrónica (EPR, por sus siglas en inglés) o resonancia de spin electrónico (ESR) es una técnica espectroscópica en la cual la radiación de microondas es absorbida por especies paramagnéticas (moléculas, átomos o iones con electrones desapareados). Esta técnica tiene como fundamento el efecto Zeeman, en el cual al aplicar un campo magnético, el spin del electrón se alinea de forma paralela o antiparalela al campo y se presentan diferencias de energía, mismas que pueden ser medidas con un espectrómetro de EPR. [32]

Con la EPR se puede identificar el tipo de paramagneto presente (si éste corresponde a un metal, radical o a una interacción entre las especies);

también es posible cuantificarlo, elucidar su estructura o conocer la distancia entre las especies que interaccionan, si llegase a aplicar.

Como los radicales libres tienen una vida muy corta (menores a un segundo), es necesario aplicar las llamadas “trampas de spin” (*spin traps*), en la cual una molécula paramagnética se une al radical libre y forma un aducto paramagnético lo suficientemente estable como para ser estudiado. [33]

El espectrómetro de resonancia paramagnética nuclear consta de un puente de microondas, una cavidad y un detector sensible a la fase, cuyas características se describen a continuación: (figura 2-21) [28]

- Puente de microondas: el puente de microondas se compone del klystron, un modulador y un detector. El klystron emite microondas, que antes de interactuar con la muestra pasan por el modulador que se encarga de regular la potencia, evita que regresen al punto de origen y las fuerza a atravesar la cavidad antes de llegar al detector.
- Cavidad: la cavidad es una caja metálica de forma cilíndrica o rectangular donde se lleva a cabo la resonancia. Se encuentra rodeada de dos electroimanes que generan un campo magnético perpendicular al generado por las microondas contenidas en la cavidad, para que así, la muestra pueda absorber la energía electromagnética.
- Detector sensible a la fase: el detector se encarga de registrar las señales de EPR y arroja los resultados en forma de un espectro que corresponde a la primera derivada de la absorción respecto al campo magnético, es decir dA/dB , donde A= absorción y B=campo magnético.

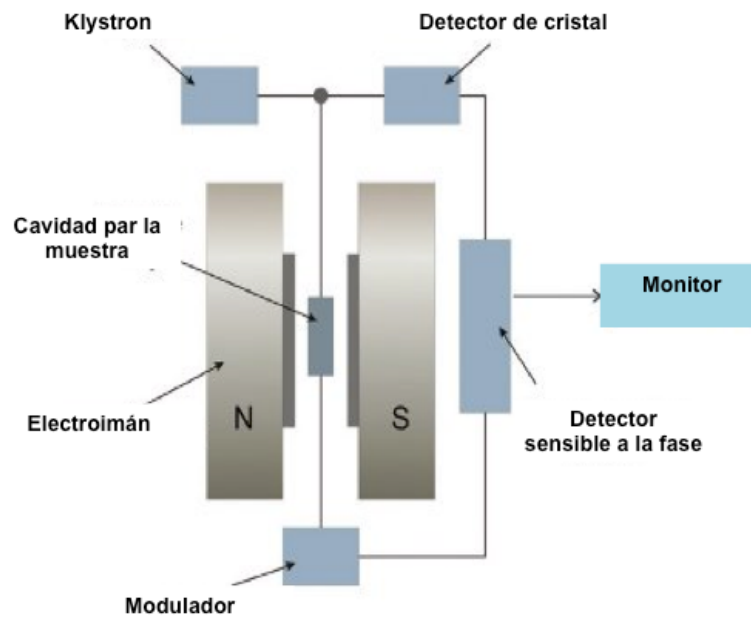


Figura 2-21. Partes de un espectrómetro de resonancia paramagnética electrónica

(Tomada de <https://www.americanlaboratory.com/914-Application-Notes/154111-Advanced-Electron-Paramagnetic-Resonance-Spectroscopy-for-the-Identification-of-Irradiated-Food/>. 18 de febrero de 2018. Modificada por Espinoza C.)

Para el caso del cabello pueden cuantificarse las ROS antes y después de exponer el cabello a la radiación UV en función de los espectros de EPR de la melanina.

Las muestras de cabello de 10-70 mg se cortan en piezas de 1.5 cm de longitud y se obtiene el espectro de la melanina trabajando a un campo magnético de alrededor de 3500 Gauss y a una longitud de onda de 3 cm; posteriormente se irradian las muestras y se obtienen nuevamente los espectros de EPR a las mismas condiciones.

- Factor de protección del cabello a los radicales (RHF): una vez que se calculó la cantidad de radicales libres generados, es posible calcular el factor de protección del cabello a los radicales o *Radical Hair Protection Factor* (RHF) para medir la eficacia de fotoprotección de un producto en base a su capacidad para prevenir la formación de radicales libres. Este factor calcula de la siguiente manera:

$$RHF = \frac{\#radicales\ libres_{cabello\ sin\ proteger}}{\#radicales\ libres_{cabello\ protegido}}$$

2.4 OPCIONES DE FOTOPROTECCIÓN UV PARA EL CABELLO

Existen diversas formas de protección del cabello contra la radiación solar, que incluyen filtros solares, antioxidantes, siliconas y pigmentos. A continuación se describirá cada uno de ellos.

2.4.1 Filtros UV

Los filtros UV químicos funcionan absorbiendo la radiación ultravioleta de onda corta y la transforman en energía calorífica (ondas de mayor longitud).

Los filtros que generalmente se incorporan en cosméticos para la piel como el metoxicinamato de etilhexilo (INCI: Ethylhexyl methoxycinnamate), salicilato de etilhexilo (INCI: Ethylhexyl salicylate), ácido tereftaldieno dicamfor sulfónico (INCI: Terephthalylidene dicamphor sulfonic acid), drometrisol trisiloxano (INCI: Drometrizole trisiloxane), 4-metilbencilideno alcanfor (INCI: 4-methylbenzylidene camphor), ácido fenilbenzimidazol sulfónico (INCI: Phenylbenzimidazole sulfonic acid), etilhexiltriazona (INCI: Ethylhexyl triazone), butilmetoxidibenzoilmetano (INCI: Butyl methoxydibenzoylmethane), salicilato-TEA (INCI: TEA-salicylate) y algunas benzofenonas, pueden incorporarse también en productos capilares; aunque la mayoría de estos filtros no iónicos no forman un *film* que se adhiera a las hebras; lo cual hace que se desprendan con facilidad del cabello y así disminuye notablemente la protección UV.

Sin embargo existen otros filtros que contienen cargas positivas que los hacen

sustantivos al cabello (considerando que éste se encuentra por encima de su punto isoeléctrico), por ejemplo los compuestos cuaternarios como el cloruro de cinamidopropiltrimonio (INCI: Cinnamidopropyltrimonium chloride) y el dimetilPABAmidopropil laurdimonio tosilato (INCI: Dimethylpabamidopropyl Laurdimonium Tosylate).

2.4.2 Antioxidantes

Los antioxidantes son moléculas naturales o sintéticas que previenen la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS).

En el cabello, además de proteger contra las ROS, también pueden actuar protegiendo a los lípidos, proteínas y pigmentos contra la oxidación; sin embargo para que sean efectivos deben penetrar hasta el córtex e interactuar con la melanina. Para facilitar la penetración se pueden utilizar sistemas acarreadores como los liposomas [11].

Los antioxidantes de mayor interés son los polifenoles ya que generalmente se encuentran en altas concentraciones en frutas y vegetales. Algunos extractos vegetales ricos en antioxidantes son:

- Extracto de alcachofa (*Cynara scolymus L.*): las hojas de alcachofa son ricas en derivados del ácido hidroxicinámico y flavonoides que protegen el cabello.

Estos ácidos hidroxicinámicos son compuestos fenólicos del tipo C6-C3 que generalmente no se encuentran en forma libre si no como derivados; el ejemplo más común es el ácido cafeico (figura 2-22); que se esterifica con el ácido quínico y forma el ácido clorogénico, isoclorogénico y neoclorogénico. [12]

Los ácidos hidroxicinámicos y flavonoides provenientes de la alcachofa actúan como antioxidantes que protegen al cabello de la degradación de proteínas, la lipoperoxidación y mantienen el brillo. [12]

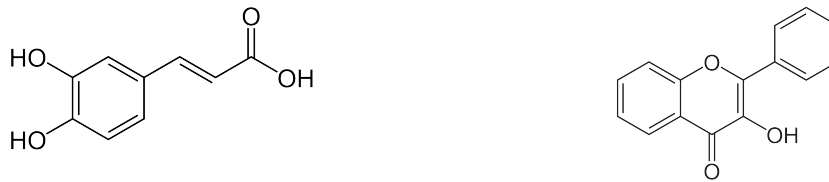


Figura 2-22. Estructura del ácido cafeico (izquierda) y un flavonol (derecha). El ácido cafeico es un tipo de ácido hidroxicinámico del tipo C6-C3; mientras que el flavonol es un tipo de flavonoide y como se puede observar, corresponde a un compuesto C6-C3-C6.

(Tomadas de *Compuestos aromáticos*. Mata R. 2016.)

- Extracto de arroz (*Oryza sativa L.*): este extracto contiene péptidos y aminoácidos (ácido glutámico hasta en un 17 %, ácido aspártico, arginina, leucina, serina, valina y tirosina hasta en un 10 %), polisacáridos y ácido fítico (figura 2-23).

El ácido fítico es el responsable de la actividad antioxidante porque actúa como un agente quelante para metales divalentes. Forma un quelato con el hierro que acelera la reducción del Fe^{2+} mediada por el oxígeno y bloquea la producción de los radicales hidroxilo mediados por el hierro y así evita la peroxidación lipídica

Sumado a este efecto, presenta beneficios adicionales ya que el 80 % las proteínas hidrolizadas que contiene tienen un peso molecular entre los 500-3000 Da, factor estrechamente relacionado con la función que desempeñan en el cabello. Los péptidos de bajo peso molecular (< 1000 Da) penetran hasta el córtex, reparan las fibras desde el interior y mantienen las propiedades mecánicas del cabello; mientras que los péptidos de mediano peso molecular (1000-3000 Da), que representan el 42 % del hidrolizado, forman una capa protectora sobre la cutícula y evitan la degradación del triptófano y el cambio de color, además de que preservan el brillo.

Contiene además un polisacárido llamado amilopectina (figura 2-23), un polímero ramificado e hidrosoluble compuesto por unidades de glucosa con enlaces α (1 \rightarrow 4). Cada unidad se compone de 100,000-200,000 unidades de glucosa, con ramificaciones de 20-30 unidades de largo. A diferencia de los polímeros lineales, esta estructura tridimensional evita que el extracto se acumule en exceso en el cabello y luzca apelmazado o enmarañado. [12]

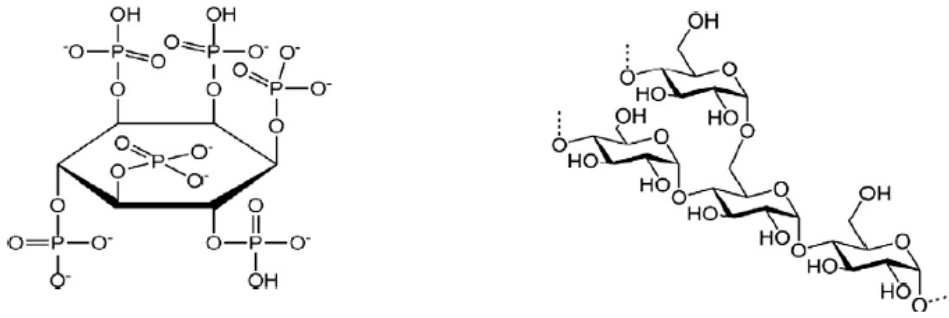


Figura 2-23. Estructura del ácido fítico (izquierda) y la amilopectina (derecha).

(Tomadas de *Efficacy of antioxidants in human hair*. Fernández E. 2012.)

- Extracto de granada (*Punica granatum L.*): la granada es una fruta rica en antioxidantes, principalmente se encuentran en la cáscara, el jugo y las semillas (en orden decreciente de concentración). El fruto que aún no madura contiene una mayor cantidad de polifenoles comparado con la fruta ya madura.

A la fecha se han identificado 48 compuestos fenólicos, entre los que se encuentran antocianinas y taninos hidrolizables. (Figura 2-24)

Estos antioxidantes protegen contra la radiación UVA y ayudan a preservar el brillo del cabello y evitan que cambie de color. [18]

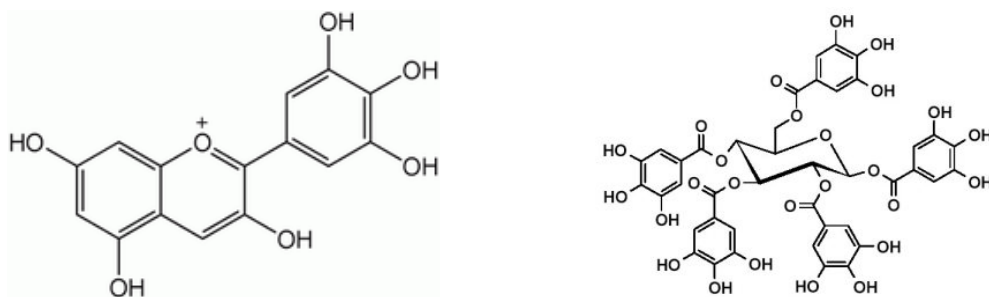


Figura 2-24. Estructuras de una antocianina (izquierda) y un tanino hidrolizable (derecha). Las antocianinas son un tipo de flavonoide y los taninos hidrolizables son polímeros heterogéneos formados por ácido gálico (un tipo de ácido fenólico) y azúcares simples.

(Tomadas de *Compuestos aromáticos*. Mata R. 2016.)

2.4.3 Siliconas

Las siliconas son polímeros de silicio, carbono y oxígeno, aunque también pueden contener nitrógeno o azufre.

Tienen gran aplicación en el campo de cosméticos capilares debido a su capacidad de formar de una película sobre la hebra del cabello que le confiere brillo y peinabilidad; además de su versatilidad para la formulación porque pueden incorporarse a acondicionadores, shampoos, tratamientos, cremas para peinar, tintes, etc.

La adhesión de las siliconas al tallo del cabello depende de su estructura química (presencia de cargas en la molécula y longitud de la cola hidrófoba) y del estado de la fibra. En general el cabello procesado o dañado tiene más cargas negativas, por lo que se prefieren las siliconas catiónicas que sellen momentáneamente la cutícula.

Además de estos beneficios, algunas siliconas como el trimetilsiloxisilicato (INCI: Trimethylsiloxysilicate) y el propilfenilsilsesquioxano (INCI: Propyl phenyl silsesquioxane) (figura 2-25) tienen un efecto fotoprotector que preserva el color y brillo del cabello teñido hasta en un 83.5 % y 72.0 %, respectivamente.

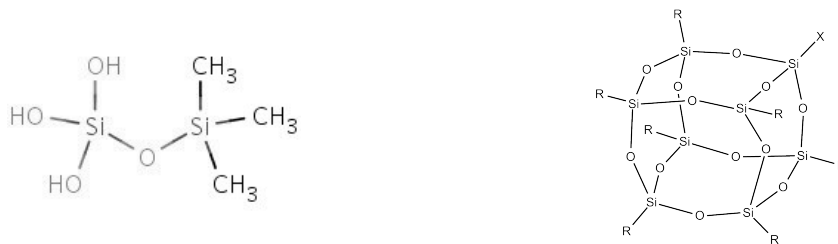


Figura 2-25. Estructura del trimetilsiloxisilicato (izquierda) y un silsesquioxano (derecha).

(Figura izquierda tomada de <http://www.beautifulwithbrains.com/know-your-ingredients-trimethylsiloxysilicate/>. 20 de febrero de 2018. Figura derecha tomada de <https://patentados.com/2010/copolimeros-sililados-con-grupos>. 20 de febrero de 2018.)

2.4.4 Pigmentos sintéticos

Como se explicó con anterioridad, las melaninas son pigmentos que se encuentran naturalmente en el cabello y lo protegen en cierta medida de la radiación solar, es por ello que otra medida de fotoprotección es la deposición de pigmentos sintéticos mediante la aplicación de tintes capilares.

Los tintes capilares permanentes y semipermanentes generalmente contienen aminoantraquinonas, nitrofenilendiaminas y nitroaminofenoles que se mezclan en diferentes proporciones hasta lograr el color deseado.

Los tintes contienen una combinación de pigmentos azules y rojos, éstos últimos son los que más protegen el cabello porque absorben la radiación más energética (azul), comparado contra los pigmentos azules que absorben una radiación de energía menor.

Si bien es cierto que el cabello se daña durante el proceso de teñido, en los primeros días tras la coloración el efecto de protección se sobrepone al daño generado; sin embargo para evitar un daño adicional al cabello, se recomienda utilizar alguna de las otras opciones de fotoprotección anteriormente mencionadas.

3 COSMÉTICOS

3.1 DEFINICIÓN

La definición de la palabra *cosmético* varía de acuerdo a la normatividad del país en cuestión.

De acuerdo con lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-141-SSA1/SCFI-2012 “Etiquetado para productos cosméticos preenvasados. Etiquetado sanitario y comercial” un producto cosmético se define como una sustancia o formulación destinada a ser puesta 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. [34]

3.2 CLASIFICACIÓN

Con base a la Norma mencionada en el inciso anterior, los cosméticos pueden clasificarse en dos grandes categorías: por uso y por forma cosmética. [34]

- Clasificación de cosméticos por uso: de acuerdo a la zona del cuerpo en la que sean aplicados, existen diversas denominaciones genéricas de los productos, como acondicionador, máscara, labial, desodorante, desmaquillante, por citar algunos ejemplos.
- Clasificación de cosméticos según su forma cosmética

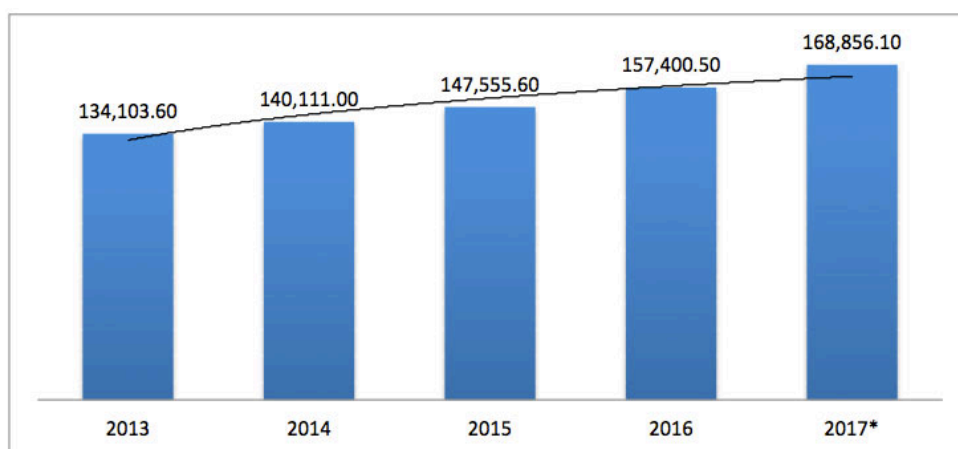
La forma cosmética se define como la mezcla de dos o más ingredientes que da como resultado un producto con ciertas características físicas para su adecuado uso, aplicación y conservación. Algunos ejemplos de formas cosméticas son espuma, *stick* o barra, polvo, lápiz, emulsión y sérum.

3.3 MERCADO DE COSMÉTICOS EN MÉXICO

De acuerdo con la Cámara Nacional de la Industria de Productos Cosméticos (CANIPEC), durante el 2016 el valor del mercado del sector de cuidado personal en México fue de \$157,400.5 MDP, ocupando el segundo lugar en Latinoamérica, por debajo de Brasil, y el tercero a nivel del continente. (Figura 3-1)

En ese mismo año, el consumo per cápita de productos del sector de cuidado personal fue de \$1223.60, del cual el 20 % correspondía a productos para el cuidado del cabello (figura 3-2). [37]

En México la venta de cosméticos se realiza en un 39.1 % por *retail* (tiendas de autoservicio, farmacias, misceláneas, entre otras), 20.3 % por venta directa (catálogo), 12.5 % por venta selectiva (tiendas departamentales), 12.7 % por distribuidores y 10.9 % por compra directa a los maquilladores. [39]



Fuente: Gráfica elaborada por Canipec con información de Euromonitor, *Proyección 2017.

Figura 3-1. Valor del mercado mexicano del sector de cuidado personal en el período 2013-2017. Las cifras están expresadas en términos de millones de pesos.

(Tomada de <http://canipec.org.mx/estadisticas/>. 20 de febrero de 2018.)

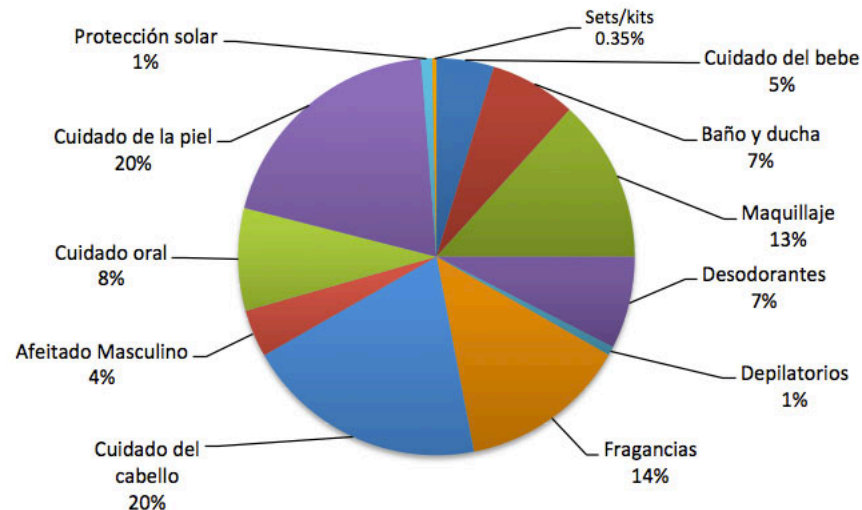


Figura 3-2. Porcentajes de cada categoría de productos del sector de cuidado personal durante el 2016.

(Tomada de <http://canipec.org.mx/estadisticas/>. 20 de febrero de 2018.)

3.4 LEGISLACIÓN MEXICANA APLICABLE A COSMÉTICOS

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) son regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedidas por las dependencias competentes que tienen como finalidad establecer los características que deben cumplir los procesos, productos o servicios cuando éstos puedan representar algún riesgo para la salud humana, así como la terminología requerida para su aplicación.

De manera más específica, las Normas Oficiales Mexicanas aplicables a los productos cosméticos, medicamentos y dispositivos médicos son dictadas por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), un organismo derivado de la Secretaría de Salud.

En esta normatividad se establecen las reglas, especificaciones, atributos, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación; así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación en materia de control y fomento sanitario. [42]

Las NOM que todo cosmético comercializado en México debe cumplir son la NOM-089-SSA1-1994 “Métodos para la determinación del contenido microbiano en productos de belleza” y la NOM-141-SSA1/SCFI-2012 “Etiquetado para productos cosméticos preenvasados. Etiquetado sanitario comercial”; aunque también se recomienda seguir los lineamientos establecidos en el PROY-NOM-259-SSA1-2014 “Buenas prácticas de fabricación en productos cosméticos.

- Norma Oficial Mexicana NOM-089-SSA1-1994 “Métodos para la determinación del contenido microbiano en productos de belleza”

Esta norma establece los métodos de prueba para determinar el contenido microbiano en productos cosméticos, con el fin de conocer su calidad sanitaria y si son aptos para el uso humano. Se cuantifica la cantidad hongos, levaduras, mesófilos aeróbios y bacterias patógenas. [38]

- Norma Oficial Mexicana NOM-141-SSA1/SCFI-2012 “Etiquetado para productos cosméticos preenvasados. Etiquetado sanitario comercial”

Esta norma enlista la información que deben contener las etiquetas de los productos cosméticos al momento de llegar a las manos del consumidor final. De manera general las etiquetas deben contener la información del fabricante, la cantidad contenida, la lista de ingredientes en idioma español o con nombres INCI y número de lote. [34]

- Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-SSA1-259-2014, productos y servicios “Buenas prácticas de fabricación en productos cosméticos”

Esta proyecto de norma deriva de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SSA1-2015 “Buenas prácticas de fabricación de medicamentos” y tiene como objetivo establecer los requisitos mínimos necesarios para los establecimientos que se dedican a la fabricación o acondicionamiento de productos cosméticos.

Esta norma aún no se encuentra publicada en el Diario Oficial de la Federación y por lo tanto no es de cumplimiento obligatorio, sin embargo es importante mencionarla pues los lineamientos que ahí se describen permiten en gran medida asegurar la calidad en el producto, en caso de seguirse correctamente.

A manera de resumen, los puntos más importantes contenidos en la norma son: [43]

- Higiene y seguridad del personal: el personal debe portar siempre la ropa limpia y adecuada según sus actividades, se prohíbe el uso de joyería en manos, cabeza y cuello, así como de maquillaje y esmalte de uñas, las uñas deben estar cortas y limpias y está prohibido el contacto directo entre las manos del personal y las materias primas o el producto que se esté fabricando en cualquier etapa del proceso, a menos que se indique lo contrario.
- El personal debe ser capacitado continuamente de acuerdo con sus responsabilidades.
- La construcción, adecuación, mantenimiento, iluminación, temperatura, humedad y ventilación de las instalaciones debe ser la adecuada según el proceso que se lleva a cabo en dicha área.
- Se deben contar con áreas especiales y definidas para la producción, acondicionamiento, control de calidad y almacenamiento para evitar la contaminación cruzada.
- Los pisos, paredes, techo, ventanas y puertas deben permitir su fácil limpieza, ser homogéneos y estar diseñadas de tal manera que se eviten los depósitos de polvo o suciedad.
- Los equipos, accesorios y utensilios utilizados en cualquier etapa del proceso no deben ser reactivos con el producto cosmético o con cualquiera de sus componentes.
- La documentación que se genere debe estar en idioma español, siempre disponible para alguna autoridad sanitaria y debe almacenarse hasta un año después de la fecha de caducidad del producto; en caso

de que la información se registre a mano, debe utilizarse siempre alguna tinta indeleble.

3.5 BENEFICIOS DE PRODUCTOS COSMÉTICOS (CLAIMS)

Un *claim* cosmético tiene como objetivo principal informar al consumidor final las características o beneficios asociados al uso del producto para fomentar la preferencia del cosmético sobre otros del mismo tipo y crear competencia entre las diversas empresas. [45]

Los *claims* pueden clasificarse en cinco categorías:

- *Claims* de desempeño: Se refiere al efecto que se obtendrá al utilizar el producto en el área de aplicación, ya sea a través de la descripción de su modo de acción o la intensidad del efecto. Por ejemplo “repara la fibra desde el interior” o “dientes más blancos en una sola aplicación”.
- *Claims* de ingrediente: El claim recae directamente en un ingrediente o mezcla de ellos, que se sabe, imparten características particulares por sí mismos. Por ejemplo: “con aceite de coco”, “sin sal”.
- *Claims* sensoriales: Se refiere a atributos sensoriales experimentados por el consumidor a través de la vista, tacto u olfato al utilizar el producto. Por ejemplo: “piel más tersa y suave”, “fragancia irresistible”.
- *Claims* comparativos: Hace alusión al beneficio que presenta un producto sobre otro de la misma categoría de diferente marca, o incluso de dentro de la misma marca si se trata de una fórmula mejorada. Por ejemplo: “... comparado con la marca líder en el mercado” “...vs fórmula anterior sin acondicionadores”.
- *Claims* de combinación: cuando en un mismo producto se incluyen dos o más de los *claims* anteriormente mencionados.

Para que esta información pueda figurar en el empaque y/o publicidad del producto es necesario que sea veraz y comprobable, por lo que se requiere se realicen pruebas para sustentarla, ya sea de forma sensorial, instrumental, *ex vivo* o *in vitro*.

- Pruebas sensoriales: se basan en la percepción del desempeño del producto a través de los sentidos y por lo tanto, son subjetivas. Pueden ser realizadas tanto por panelistas voluntarios (consumidores) como por expertos. Por ejemplo: la percepción visual del brillo.
- Pruebas instrumentales: se realizan con instrumentos o equipos en los que se pueda obtener un resultado objetivo y estandarizado bajo condiciones ambientales controladas. Por ejemplo, la medición del brillo utilizando un brillómetro.
- Ensayos *ex vivo*: estas pruebas se realizan utilizando algún sustrato tomado de un organismo vivo, por ejemplo, la medición del brillo medido en mechaz estandarizadas de cabello humano.
- Ensayos *in vitro*: se refieren a las pruebas efectuadas en un laboratorio en medios artificiales, como cultivos celulares, por ejemplo. Son poco usuales para comprobar el desempeño de los productos cosméticos, sin embargo pueden ser utilizadas si es el método de prueba más conveniente. Un ejemplo de estos ensayos es el cálculo del FPS (factor de protección solar) en biomembranas.

3.6 BRIEF

Brief o *briefing* de producto es un término en inglés que literalmente significa “breve” y sirve para designar una estrategia de marketing que consiste en plasmar de forma documentada y concisa la planeación y desarrollo de un proyecto o producto. [35]

Los puntos que debe contener un *brief* cosmético son los siguientes: [45]

- Análisis de mercado: describir en cifras y gráficas el sector de cuidado personal para tener noción qué tan rentable va a resultar el producto.
- Descripción del producto: describir las características físicas del producto, su envase y contenido neto.
- Target o público objetivo: describir las características del potencial cliente (sexo, edad y perfil socioeconómico y psicológico para establecer *porqué* adquiriría el producto.)
- *Benchmark*: establecer aquel producto ya comercializado que se toma como referencia con la finalidad de igualar o superar su desempeño, características y/o beneficio.
- *Claim(s)*: describir el o los beneficios atribuidos al uso del producto.
- Competencia: nombrar los productos del mercado contra los cuales va a competir.
- Costo de la formulación: definir el costo bruto de la formulación y precio al cual será vendido.
- Punto de venta: definir si el producto se venderá en una tienda departamental, venta directa, tienda de autoservicio, etc.
- Estrategia de venta: definir cómo se va a publicitar el producto, si será por medio de televisión, anuncio en revistas, redes sociales, página web, etcétera.

4 EMULSIONES COSMÉTICAS

4.1 GENERALIDADES SOBRE LAS EMULSIONES

4.1.1 Definición

Una emulsión es un sistema disperso que consiste de al menos dos fases inmiscibles entre sí en la cual una de ellas se encuentra dispersa en forma de pequeños glóbulos dentro de la otra. La primera fase se conoce con el nombre de fase discontinua, dispersa o interna y la otra, fase continua, externa o dispersante.

Dependiendo de la naturaleza de cada una de las fases que componen al sistema, se pueden tener los siguientes tipos de emulsiones: (figura 4-1)

- O/W (*oil in water*, aceite en agua): si la fase dispersa es de naturaleza oleosa y la fase continua acuosa.
- W/O (*water in oil*, agua en aceite): si la fase dispersa es acuosa y la continua oleosa. [41]

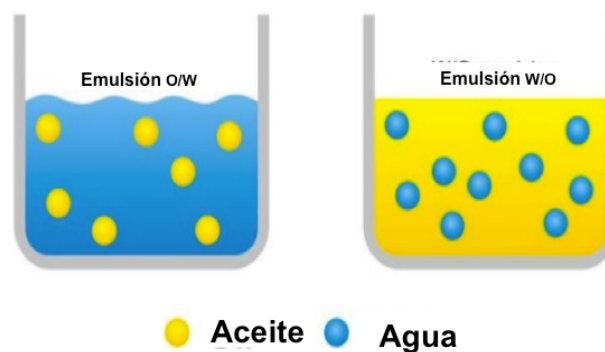


Figura 4-1. Tipos de emulsiones compuestas por dos fases.

(Tomada de <https://www.slideshare.net/marinamurad1/emulsion-67527895>. 02 de marzo de 2018. Modificada por Espinoza C.)

4.1.2 Emulsificantes

Las emulsiones son sistemas que siguen la ecuación de energía libre de Gibbs

$$\Delta G = \gamma \Delta A$$

Donde:

- ΔG = energía libre de Gibbs
- γ = tensión interfacial
- ΔA = área superficial

De acuerdo con la ecuación anterior, son sistemas termodinámicamente inestables ya que al estar formadas por glóbulos diminutos, el área superficial de la fase dispersa es muy grande y por ende, la energía libre asociada a ellos también lo es; por lo que tienden a agruparse para disminuir su área superficial y con ello, la energía libre de Gibbs. Para retrasar el mayor tiempo posible la separación de la emulsión, es necesario agregar un tercer tipo de componente: los emulsificantes.

Los emulsificantes son un tipo de tensoactivo o surfactante, se caracterizan por tener una parte polar y una no polar dentro de la misma estructura y funcionan disminuyendo la tensión interfacial que se genera entre las distintas fases que componen el sistema, como se explicará más adelante.. (Figura 4-2) [41]

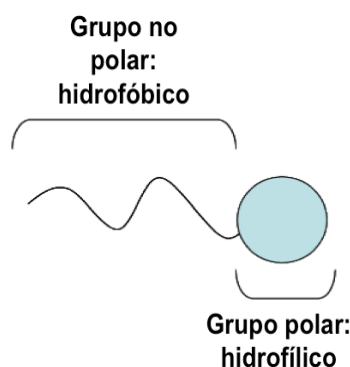


Figura 4-2. Estructura de un emulsificante.

(Tomada de Phase inversion temperature emulsification: from batch to continuous process. Marino H. 2010. Modificada por Espinoza C.)

Dependiendo de la naturaleza de las cargas que contenga la molécula, los emulsificantes y los tensoactivos en general pueden clasificarse como iónicos y no iónicos. [49]

A su vez, los tensoactivos iónicos pueden dividirse en aniónicos, catiónicos y anfotéricos, de acuerdo a la naturaleza de sus cargas.

- Los tensoactivos aniónicos tienen carga negativa y caracterizan por su capacidad de detergencia y producir espuma. En el sector de cuidado personal se emplean en shampoos, jabones y limpiadores faciales, entre otros; mientras que en productos para el cuidado del hogar se utilizan en detergentes para lavandería, jabones para trastes y otros productos de limpieza. Algunos ejemplos (INCI) son: Sodium lauryl sulfate, Ammonium lauryl sulfate y Triethanolamine lauryl sulfate.
- Los tensoactivos catiónicos se caracterizan por tener carga positiva. Pueden emplearse como agentes dispersantes, emulsificantes, viscosantes, estabilizantes o acondicionadores; además algunos poseen propiedades antibacterianas y por lo tanto funcionan también como conservadores. Generalmente son incompatibles con los tensoactivos aniónicos, sin embargo en algunos casos pueden ser combinados con éstos para disminuir el potencial de irritación de los compuestos aniónicos y dar lugar a formulaciones más suaves con la piel. Algunos ejemplos (INCI) son: Alkyl hydroxyethyl dimethyl ammonium chloride, Cetrimonium chloride y Behentrimonium chloride.
- Los tensoactivos anfotéricos poseen tanto cargas positivas como negativas dentro de la misma molécula dependiendo del pH del medio. A pH ácido se comportan como tensoactivos catiónicos, mientras que a pH básico se encuentran cargados negativamente y a pH intermedios o cercanos a su punto isoeléctrico, la molécula se comporta como un zwitterion. Generalmente se emplean como tensoactivos secundarios que ayudan a incrementar o

estabilizar la espuma. Algunos ejemplos son: Acylamphoacetate, Sodium coco glyciate y Aminopropyl alkylglutamide. [47]

Como principio general, todos los surfactantes son considerados sustancias irritantes (tabla 4-1) ya que al contacto con la piel, interactúan con las células vivas del estrato córneo, solubilizan o desorganizan los lípidos intracelulares, se unen a las proteínas de la piel e incluso las desnaturalizan [47]. El orden creciente de irritabilidad es el siguiente: tensoactivos no iónicos, anfotéricos, catiónicos y aniónicos, sin embargo, dentro de este mismo grupo existen diversas excepciones, y para disminuir al máximo la irritación se debe tomar en cuenta el tipo de producto y la concentración empleada.

Tabla 4-1. Índice de irritación primaria de algunos tensoactivos [85]

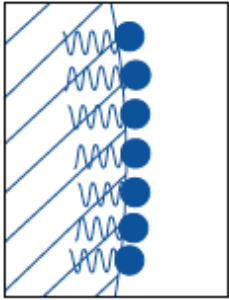
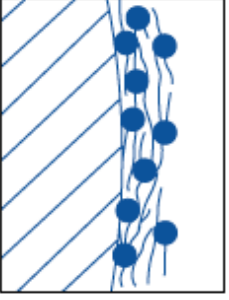
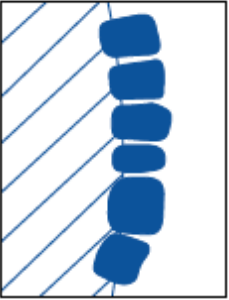
Nombre INCI del tensoactivo y su concentración en solución	Índice de irritación primaria
Sodium lauryl sulfate 10%	3.3
Sodium laureth sulfate 10%	2.3
Sodium laureth sulfate 20%	2.8
TEA- lauryl sulfate 10%	3.0
Ammonium lauryl sulfate 10%	5.1
Sodium alkylbenzenesulfonate 10"	5.0
Disodium oleamido PEG-2 sulfosuccinate 20%	1.3
TEA- oleamido PEG-2 sulfosuccinate 20%	1.6

Un índice de irritación primaria >5 indica que la sustancia es un irritante primario, mientras que un valor entre 2 y 5 indica que es un irritante moderado, un valor entre 0 y 2 indica que es levemente irritante; y 0 significa que la sustancia no es irritante.

Estos ensayos se llevan a cabo sobre piel de conejo y los valores asignados consideran el eritema y edema producido por la sustancia.

Los emulsificantes ayudan a estabilizar la emulsión al rodear los glóbulos de la fase dispersa y evitar que se rompan o choquen entre sí. Pueden formar tres tipos de *envoltura* alrededor de los glóbulos: películas monomoleculares, películas multimoleculares y películas de partículas sólidas. (Tabla 4-2)

Tabla 4-2. Tipos de película formada en la interfase por los emulsificantes.

	Características	Esquema
Monomolecular	<p>Los emulsificantes forman una monocapa que se adsorbe en la interfase.</p> <p>Funcionan ejerciendo fuerzas electrostáticas de repulsión entre los glóbulos (en caso de ser emulsificantes iónicos) o por impedimento estérico (si se trata de no iónicos) que contrarrestan las fuerzas de Van der Waals que ocurren cuando dos glóbulos se acercan entre sí. [83]</p> <p>Pueden emplearse tanto en emulsiones O/W como W/O.</p> <p>Ejemplos: alcohol cetílico y compuestos cuaternarios de amonio.</p>	
Multimolecular	<p>Son macromoléculas hidrofílicas hidratadas que se agrupan en capas alrededor de los glóbulos de la fase dispersa. No disminuyen la tensión interfacial, más bien su efectividad se debe a la formación de films gruesos altamente cohesivos que evitan la coalescencia, y a que, las moléculas remanentes que no se adsorben en la interfase, aumentan la viscosidad del medio. Se utilizan mayoritariamente para emulsiones O/W.</p> <p>Ejemplos: gelatina y goma acacia.</p>	
Partículas sólidas	<p>Son partículas de tamaño mucho menor a los glóbulos que se <i>humedecen</i> tanto por la fase oleosa como la acuosa y hace que se acumulen en la interfase actuando como emulsificantes.</p> <p>Los sistemas formados con este tipo de película se conocen como emulsiones de Pickering.</p> <p>Funcionan para emulsiones W/O como O/W.</p> <p>Ejemplos: silicato de aluminio-magnesio (<i>Veegum</i>) y bentonita.</p>	

(Con figuras tomadas de Remington Essentials of Pharmaceutics, Felton L. 2012.)

El o los emulsificantes adecuados para un sistema, cumplen las siguientes características:

- Disminuyen la tensión interfacial: al disminuir la tensión superficial también disminuye la energía libre asociada a la superficie de los glóbulos de

la fase dispersa, con lo que se garantiza un mayor período de estabilidad. Por ejemplo, al reducir la tensión superficial de dos fases con una tensión de 50 dyn/cm a 0.5 dyn/cm, la energía libre disminuye cien veces su valor.

- Son rápidamente adsorbidos a los glóbulos de la fase interna formando una capa que evite la coalescencia: los emulsificantes funcionan formando una barrera que se adsorbe en la superficie de la fase discontinua para evitar la coalescencia de los glóbulos que chocan entre sí. Estos films deben ser lo suficientemente flexibles para no romperse al contacto entre dos glóbulos y formarse nuevamente de manera rápida en caso de que se rompan.
- Brindan el potencial eléctrico adecuado a los glóbulos para crear fuerzas de repulsión entre ellos: cuando los glóbulos tienen un potencial eléctrico, tienden a repelerse entre sí y se aumenta la estabilidad del sistema. Generalmente esto se logra con los emulsificantes iónicos.
- Aumentan la viscosidad de la emulsión: si aumenta la viscosidad de la fase continua, los glóbulos son menos propensos a poder chocar entre sí y por lo tanto, se retrasan los fenómenos de inestabilidad.
- Son efectivos a una concentración razonable: una concentración demasiado baja de emulsificante resultará en una rápida inestabilidad, mientras que un nivel por encima del requerido no tendrá una efectividad significativa. De manera teórica es posible calcular la cantidad necesaria de emulsificante tomando en cuenta el peso molecular del mismo, el tamaño de glóbulo deseado y la cantidad de fase a emulsificar (tabla 4-3). Este cálculo puede brindar nociones de la cantidad de emulsificante que se requerirá, pero muchas veces el resultado práctico difiere del teórico, por lo que lo más viable es variar los porcentajes de los emulsificantes de forma experimental.

Tabla 4-3. Ejemplo de cálculo para conocer la cantidad necesaria de emulsificante.

Se desea emulsificar 50 g de aceite con densidad de 1 g / cm³ en 50 g de agua, suponiendo que se forman glóbulos de 1 μm de diámetro, rodeados por una monocapa. ¿Qué cantidad de un emulsificante se requiere para lograrlo?

1. Se calculan los siguientes parámetros

$$\text{Radio de glóbulo} = 1 \frac{\mu\text{m}}{2} = 0.5\mu\text{m} = 5 \times 10^{-5} \text{ cm}$$

$$\text{Volumen de glóbulo} = \frac{4\pi r^3}{3} = 5.24 \times 10^{-13} \text{ cm}^3$$

$$\# \text{ de glóbulos en 50 g de aceite} = \frac{50}{5.24 \times 10^{-13}} = 9.55 \times 10^{13} \text{ glóbulos}$$

$$\text{Área superficial de glóbulo} = 4\pi r^2 = 3.14 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$$

$$\text{Área superficial total} = 9.55 \times 10^{13} (3.14 \times 10^{-8} \text{ cm}^2) = 3 \times 10^6 \text{ cm}^2$$

2. Suponiendo que una molécula de emulsificante ocupa un área de $3 \times 10^{-15} \text{ cm}^2$ en la interfase, se calcula el número de moléculas de emulsificante que se requerirá para cubrir el área superficial total:

$$\frac{3 \times 10^6 \text{ cm}^2}{3 \times 10^{-15} \text{ cm}^2} = 1 \times 10^{21} \text{ moléculas de emulsificante}$$

3. Suponiendo que el emulsificante tiene un peso molecular de 1000 g/mol, se calcula la cantidad necesaria de éste, en peso:

$$1 \times 10^{21} \text{ moléculas} \times \frac{1 \text{ mol}}{6.022 \times 10^{23} \text{ moléculas}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ mol}} = 1.66 \text{ g de emulsificante}$$

Un punto importante a considerar para seleccionar los emulsificantes adecuados es el llamado HLB (Balance Hidrofílico Lipofílico, por sus siglas en inglés), que es un sistema de clasificación con base en las proporciones hidrofílicas y lipofílicas de la molécula de surfactante. Trabaja por medio de una escala semiempírica con valores entre cero y veinte, donde un valor alto de HLB indica que el comportamiento del emulsificante es mayoritariamente hidrofílico y tiende a formar emulsiones O/W; mientras que un bajo HLB indica una tendencia a la formación de emulsiones W/O y que predomina un carácter lipofílico (hidrófobo) en la molécula. Dependiendo de la fase que se desee

dispersar, se calcula su HLB requerido, mismo valor que se busca igualar haciendo una combinación de surfactantes en proporciones definidas que si bien no siempre resulta en una emulsión estable, si brinda nociones para la selección de los emulsificantes, disminuye el número de ensayo y error y predice el tipo de emulsión que se formará. [41]

Además de los emulsificantes, existen otro tipo de compuestos llamados co-emulsificantes o emulsificantes auxiliares que son sustancias que por sí solas no son capaces de formar una emulsión estable, pero favorecen la estabilidad del sistema porque aumentan la viscosidad. Estas sustancias, como la lecitina y las ceras emulsificantes, forman una capa alrededor de los glóbulos a bajas concentraciones, mientras que a concentraciones más altas forman redes de gel lamelar que aumentan la viscosidad de la fase continua y evitan que los glóbulos se muevan e interactúen unos con otros. [87]

La influencia de los co- emulsificantes en la viscosidad de la emulsión se rige bajo los siguientes puntos [47]:

- Si los co- emulsificantes tienen el mismo residuo lipofílico, la viscosidad disminuirá si el grado de etoxilación aumenta.
- Si los co- emulsificantes tienen el mismo grado de etoxilación, la viscosidad aumentará si la longitud de la cadena hidrocarbonada aumenta.

Algunos ejemplos son el monoestearato de glicerilo, la metilcelulosa, el ácido esteárico y la carboximetilcelulosa de sodio.

4.1.3 Fabricación de emulsiones

4.1.3.1 Equipos para la fabricación de emulsiones

Las emulsiones generalmente se fabrican calentando cada fase a 70 °C- 80 °C y agregando la de menor proporción a la de mayor proporción con agitación vigorosa. También existen procesos en frío que aunque representan un tiempo

menor de preparación y ahorro de energía calorífica, muchas veces utilizan ingredientes más costosos. [41]

Para que la fase interna pueda dispersarse en el seno de la fase externa se requiere la aplicación de energía mecánica que generalmente corresponde a una agitación vigorosa dada por equipos como agitadores mecánicos, homogeneizadores o molinos coloidales.

Los agitadores de propela suelen ser los más utilizados (figura 4-3), sobre todo si la viscosidad de la emulsión es baja; sin embargo para lograr una agitación más vigorosa o para viscosidades medianas se utilizan equipos con turbinas.

La velocidad de rotación de la propela influye en el grado de agitación, mientras que el tipo (forma) de la propela (figura 4-3), su ubicación dentro del contenedor, la presencia de baffles e incluso la forma del contenedor, impactan en la manera en la que fluyen las fases, y por ende, en la eficacia del mezclado.

Este tipo de mezclador es el más utilizado en las etapas de desarrollo y escalamiento del producto, mas cuando se requiere agitar sistemas de alta viscosidad, producir un tamaño de glóbulo muy pequeño o evitar la formación de espuma a altas velocidades, se utilizan otro tipo de equipos. [46]

En el caso de los homogeneizadores, una mezcla preemulsificada se hace pasar por un orificio muy pequeño (del rango de micrones) a altas presiones (100-200 bar) y así el tamaño de los glóbulos se reduce considerablemente hasta $0.1 \mu\text{m}$ (figura 4-4) [51]. Estos equipos pueden utilizarse tanto para líquidos como pastas pues no dependen de la viscosidad de la emulsión y se utilizan cuando se buscan tamaños de glóbulo muy pequeño. [46]

Los molinos coloidales o equipos de rotor estator se utilizan para reducir el tamaño de partícula de una fase (líquida, sólida o gaseosa) suspendida en un líquido. En este tipo de equipos, una mezcla preemulsificada reduce notablemente su tamaño de glóbulo (hasta $1 \mu\text{m}$) al someterse a un esfuerzo cortante de hasta 10^4 Pa que se produce en el espacio entre el rotor y el estator. (Figura 4-5) [51]



Figura 4-3. Agitador de propela y diversos tipos de propela. Agitador de propela (arriba), propela de ancla (abajo, izquierda), propela marina (abajo, centro) y propela de cruz (abajo, derecha).

(Tomadas de <http://www.fishersci.es/shop/products/rw-20-digital-stirrer/10388762> y http://www.rsulab.mx/product_info.php/manufacturers_id/4/products_id/1161. 21 de agosto de 2019. Modificadas por Espinoza C.)

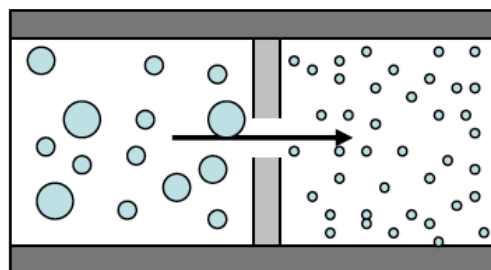


Figura 4-4. Principio de funcionamiento de un homogeneizador. Los glóbulos de mayor tamaño provenientes de una etapa de emulsificación anterior pasan a grandes presiones a través de un pequeño orificio para disminuir su tamaño.

(Tomada de *Phase inversion temperature emulsification: from batch to continuous process*. Marino H. 2010.)

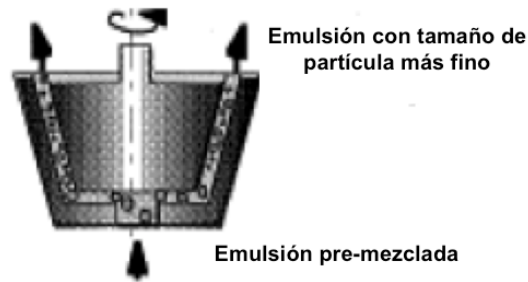


Figura 4-5. Principio de funcionamiento de un equipo de rotor-estator. La emulsión con glóbulos de mayor tamaño reduce su diámetro al pasar por un pequeño espacio a altas presiones.

(Tomada de *Phase inversion temperature emulsification: from batch to continuous process*. Marino H. 2010. Modificada por Espinoza C.)

4.1.3.2 Parámetros controlables durante la fabricación

Para garantizar que las emulsiones sean *aparentemente* estables el mayor tiempo posible, además de la selección cuidadosa de los ingredientes adecuados, es conveniente controlar los parámetros de manufactura que se enlistan a continuación:

- **Temperatura de calentamiento:** como se mencionó anteriormente, la gran mayoría de las emulsiones se fabrican alrededor de los 80 ° C. Este calentamiento permite que algunas ceras u otros ingredientes sólidos de la fase oleosa pasen al estado líquido y puedan mezclarse con la otra fase. Al aumentar la temperatura, la tensión interfacial y la viscosidad disminuyen, con lo cual se mejora el proceso de emulsificación; sin embargo la temperatura de calentamiento debe ser la adecuada para evitar ciertos fenómenos relacionados al tipo de ingrediente, por ejemplo, prevenir que los componentes oleosos alcancen su punto de humeo o la descomposición de algún ingrediente activo como los péptidos o extractos vegetales, entre otros. También es importante que el calentamiento esté por debajo de la llamada temperatura de inversión de fases (PIT, por sus siglas en inglés). Este concepto alude a la temperatura en la cual un sistema que inicialmente era del tipo O/W pasa a ser W/O y viceversa. Por ejemplo, para el caso de una emulsión O/W que se calienta a una temperatura cercana a la PIT, los glóbulos formados en un inicio por aceites y surfactantes aumentan de tamaño hasta

romperse, dando lugar a fases separadas de aceite, agua y surfactante; por lo que ahora el sistema procede a re-emulsificarse formando glóbulos que contienen tanto componentes oleosos como agua, en un seno de fase oleosa que conllevará a una temprana inestabilidad. [46]

Cabe resaltar que cuando se habla de la temperatura de inversión de fases, se trata de un sistema y no de sus componentes individuales, por lo que cada PIT es característica de cada emulsión y debe estudiarse de manera experimental, así mismo, a la fecha ha sido estudiada mayoritariamente con sistemas que contienen sólo emulsificantes no ionicos y se encontró que la PIT tiene una estrecha relación con el HLB. [84]

- Orden de adición de los componentes: como regla general, la fase de menor proporción se añade a la fase de mayor proporción para dispersarla con mayor facilidad.

En el orden de adición también es importante considerar el tipo de ingrediente que se va a incorporar para evitar inestabilidades o incompatibilidades dentro de la emulsión, por ejemplo, algunos conservadores se inactivan a altas temperaturas y los péptidos u otros ingredientes activos se degradan con el calentamiento.

- Tiempo de agitación: durante los primeros minutos de agitación ocurre la formación de los glóbulos, sin embargo cuando ésta continúa por tiempos prolongados aumenta el riesgo de colisión entre los mismos, lo cual podría conllevar a la coalescencia. También en algunos casos, se ha observado que se obtienen emulsiones más estables con tiempos de agitación intermitentes. [46]

- Velocidad de agitación: la velocidad de agitación debe ser la adecuada para asegurar que todo el contenido está siendo homogéneamente mezclado, pero no debe ser excesiva para evitar romper los glóbulos que están siendo formados, así como para evitar la formación de espuma que puede ocurrir en algunos casos debido a la disminución de la tensión interfacial entre la

emulsión y el aire que puede hacer que se incorpore en forma de espuma o burbujas. [46]

- Tasa de enfriamiento: una vez formada la emulsión con calentamiento ésta debe enfriarse a la temperatura ambiente.

El enfriamiento debe ser moderado para permitir la completa emulsificación de la fase interna, a la vez que sea lo suficientemente alejada de las PIT de sus componentes. La tasa de enfriamiento recomendada en la literatura es de aproximadamente 1.5 ° C / min. [48]

4.2 FENÓMENOS DE INESTABILIDAD DE LAS EMULSIONES

Una emulsión siempre va a ser un sistema termodinámicamente inestable que en algún punto conllevará a la separación de las fases, sin embargo ciertas medidas como el tamaño de glóbulo de la fase interna, la elección de los emulsificantes correctos en la proporción adecuada y el control de los parámetros durante su manufactura ayudan a retardar las diferentes inestabilidades el máximo tiempo posible. [41, 46]

Los fenómenos de inestabilidad que pueden presentarse en las emulsiones son el cremado, sedimentación, floculación, coalescencia, inversión de fases o el maduración de Ostwald. [41] (Figura 4-6)

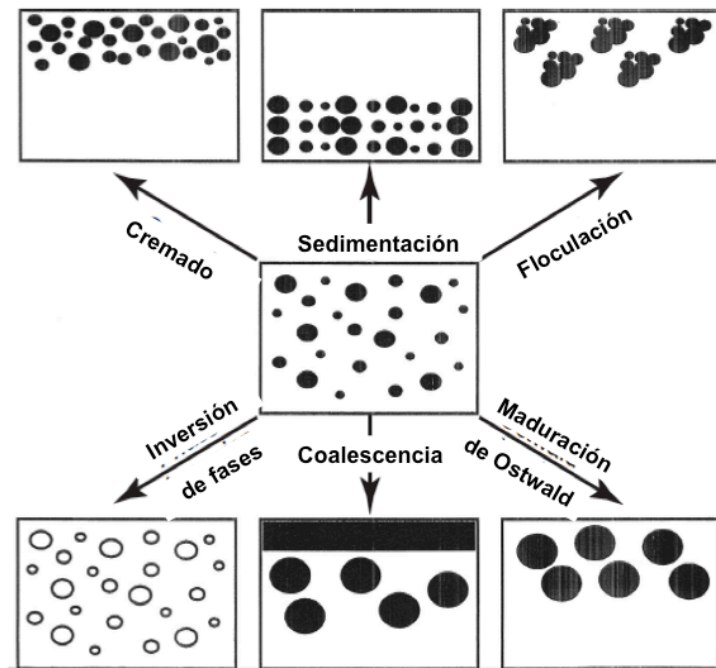


Figura 4-6. Fenómenos de inestabilidad de una emulsión. Los fenómenos ilustrados en la parte superior de la imagen son reversibles y los de la fila inferior son irreversibles.

(Tomada de Emulsion Formation, Stability, and Rheology. En Emulsion Formation and Stability. Tadros F. 2013. Modificada por Espinoza C.)

El cremado se define como la migración de la fase interna hacia la parte superior de la emulsión, mientras que en la sedimentación la fase interna migra hacia la parte inferior del sistema. En una emulsión ocurrirá una u otra de estas dos inestabilidades dependiendo de las densidades de las fases; si la densidad de la fase inferior es menor con respecto a la de la fase externa se dará el cremado, por el contrario si la fase interna es más densa que la fase externa ocurrirá la sedimentación.

Aunque ambos fenómenos son indeseables, esto no siempre conlleva al rompimiento de la emulsión puesto que cada glóbulo sigue conservando sus características individuales y pueden ser redispersados con la agitación.

La velocidad de cremado y de sedimentación se describe por la Ley de Stokes

$$v = \frac{2r^2(\rho_1 - \rho_2)g}{9\eta}$$

Donde:

- v = velocidad, en cm/s
- r = radio de los glóbulos de la fase dispersa
- ρ_1 y ρ_2 = densidades de la fase dispersa y de la fase continua, respectivamente, en g/cm³
- g = gravedad, expresada como 980.7 cm/s²
- η = viscosidad del medio de dispersión en poises (g/cm•s)

Como se puede observar en la ecuación anterior, los variables que son factibles de modificar son el tamaño de glóbulo y la viscosidad del medio, si bien es más complicado reducir el tamaño de glóbulo durante el proceso de fabricación, lo más viable es aumentar la viscosidad del medio hasta un punto que aún sea práctico para su uso.

La agregación o floculación corresponde al fenómeno en el que los glóbulos se acercan unos con otros sin llegar a fusionarse entre ellos. Cada flóculo se comporta como si se tratase de un solo glóbulo y puede derivar en una inestabilidad irreversible conocida como coalescencia, que se define como la fusión de dos o más glóbulos que da como resultado en glóbulos de mayor tamaño que finalmente terminarán por romper la emulsión y separar las fases que la conforman.

La inversión de fases se presenta cuando una emulsión que en un inicio era O/W pasa a ser W/O, o viceversa. Este fenómeno se da principalmente durante los primeros minutos de formación de la emulsión o durante el enfriamiento, como se explicó anteriormente. Sin embargo la inversión de fases puede evitarse eligiendo el o los emulsificantes adecuados y en la concentración apropiada, de acuerdo con el tipo y cantidad de la fase oleosa con la que se está trabajando.

Como se explicó en un principio, una emulsión se compone de fases inmiscibles entre sí, sin embargo una vez ya formada los glóbulos de un

tamaño mucho menor son ligeramente más solubles comparados con los glóbulos de mayor diámetro. Esta diferencia de miscibilidad conllevará a un proceso conocido como la maduración de Ostwald (*Ostwald ripening*), así pues los glóbulos más pequeños se disuelven y *desaparecen* para incorporarse a los glóbulos más grandes, lo que conllevará a la separación de las fases de la emulsión. [61]

4.3 FORMULACIÓN DE CREMAS PARA PEINAR

4.3.1 Definición

Una crema para peinar es un producto que no requiere enjuague, que se emplea para mantener y resaltar cualidades naturales del cabello, dar brillo y suavidad, entre otras [36]. Posee beneficios tanto de producto de estilizado porque ayuda a dar fijación suave al cabello, como de acondicionador pues ayuda a la peinabilidad y acondicionamiento.

Las cremas para peinar en sí son un tipo de acondicionador que no requieren enjuague, difieren de los acondicionadores con enjuague en ser más ligeros, permanecer en el cabello hasta el siguiente lavado y poder utilizarse una o más veces a lo largo del día [47]. Por ello, a partir de ahora muchas de las características de las cremas para peinar serán descritas como acondicionadores, con la adecuación pertinente a las formulaciones (por ejemplo, en el caso del estilizado del cabello).

Los acondicionadores, y por ende, las cremas para peinar tienen los siguientes propósitos [47, 20]:

- Disminuir la fuerza de peinado, en especial en el cabello húmedo. Esto se debe al depósito de agentes acondicionadores que lubrican la fibra, disminuyen la fricción y por lo tanto disminuyen la fuerza del peinado.
- Disminuir el *flyaway* gracias a la presencia de agentes acondicionadores catiónicos . (Figura 4-7)
- Facilitar el peinado. Los acondicionadores alinean de forma paralela las fibras, con lo que incrementa el brillo y la suavidad.

- Formar una película protectora alrededor de la hebra. En algunos casos esto puede retener la coloración y proteger el tono del cabello teñido.

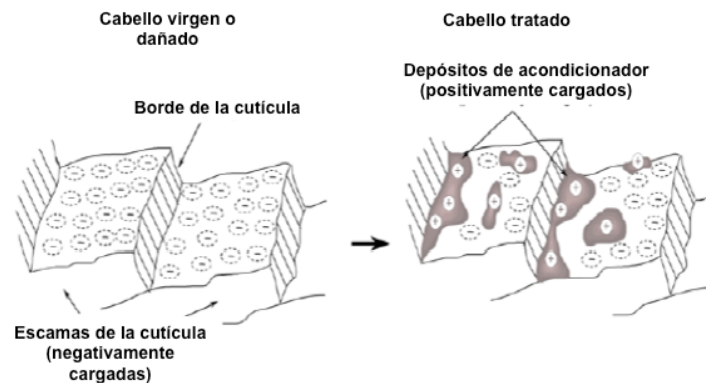


Figura 4-7. Depósito de agentes catiónicos en la superficie del cabello. Las cargas positivas de algunos ingredientes de las cremas para peinar interactúan con las cargas negativas del cabello, alinean la fibra y lo vuelven más suave y manejable.

(Tomada de *Nanoscale characterization of human hair and hair conditioners*. Bushan B. 2008. Modificada por Espinoza C.)

4.3.2 Características

Son emulsiones del tipo aceite en agua (O/W) y generalmente, de color blanco y aspecto homogéneo.

Pueden tener viscosidades desde los 3000 cP hasta 12000 cP, aquí cabe mencionar que se prefieren las viscosidades más altas porque desde la percepción del consumidor, un producto más *cremoso* (es decir, más viscoso) da la apariencia de mayor calidad comparado contra una textura más fluida y de menor viscosidad. [47]

Se describen como fluidos pseudoplásticos y presentan adelgazamiento por cizalladura, lo cual quiere decir que en reposo o bajo un esfuerzo cortante muy ligero aparentan ser sólidos de muy alta viscosidad y a medida que aumenta este esfuerzo, la viscosidad disminuye a tal punto que puedan fluir libremente. Este comportamiento es muy importante para la manipulación del producto, durante su manufactura y acondicionamiento, así como para el consumidor puesto que durante la aplicación dan la apariencia de *penetrar* en el cabello; que si bien no lo hacen como tal, el decremento en la viscosidad da la

impresión de absorberse rápidamente cuando se extienden a lo largo del sustrato. [46, 52]

El pH de la piel, incluida la del cuero cabelludo, es de 5.5; mientras que el punto isoeléctrico del cabello virgen es de 3.8; por ello las cremas para peinar deben tener un pH entre dentro de este intervalo. Un pH por encima de este valor puede causar irritación cutánea, así como un valor menor a tres puede dañar el cabello. En cambio si se formula un producto con un pH dentro del intervalo anteriormente mencionado, se asegura que las cargas negativas en el cabello provenientes de daños físicos y químicos serán neutralizadas con las cargas positivas de los emulsificantes catiónicos, que por su naturaleza, dan por sí solos un producto con un pH ácido. [41, 53]

4.3.3 Ingredientes

La fórmula base de una crema para peinar debe contener los siguientes ingredientes: agua, surfactantes (emulsificantes) catiónicos, acondicionadores lipofílicos, polímeros de modelado, siliconas, conservadores, fragancia y otros ingredientes que puedan aportar un *claim* significativo al producto, como proteínas, aminoácidos, aceites o extractos vegetales y para este trabajo en particular, algún filtro solar. [47]

- Agua: el agua es la materia prima más empleada en la industria cosmética. Sus características químicas y físicas le permiten absorber, adsorber, disolver y suspender una gran cantidad de compuestos químicos. Sin embargo, también es muy susceptible a la contaminación microbiológica, por ello que una de las preocupaciones principales tanto de la industria farmacéutica, como la industria cosmética, es asegurar la calidad del agua. [55]

Para la manufactura de cosméticos se utiliza agua purificada, misma que se obtiene del agua potable.

Para producir agua potable, primero se remueve la materia insoluble por procesos de coagulación, clarificación y filtración. Posteriormente se eliminan los microorganismos por aeración, adición de cloro o incluso hirviéndola por

15 a 20 minutos; seguido de esto, se filtra con carbón activado para remover el cloro y compuestos orgánicos que pudiesen favorecer el crecimiento de microorganismos. Una vez que se tiene el agua potable, ésta puede ser utilizada para producir agua purificada ya sea por destilación, desionización u ósmosis inversa (tabla 4-4). [54]

Tabla 4-4. Métodos de purificación del agua.

	Descripción
Desionización	<p>El agua se purifica utilizando resinas que intercambian iones con el medio al adsorber los cationes o aniones presentes en el agua; esta resina tiene la capacidad también de remover los gases disueltos así como de eliminar los cloruros en concentraciones normales que generalmente contiene el agua potable.</p> <p>Los sistemas de desionización comerciales combinan resinas de intercambio iónico y membranas de filtración, así como un flujo de corriente eléctrica que permite el continuo intercambio de iones sin la necesidad de utilizar otras sustancias químicas.</p> <p>La desionización muchas veces constituye un paso previo a otros métodos de purificación como la ósmosis inversa o la destilación.</p>
Ósmosis inversa	<p>El agua es forzada a atravesar una membrana con poros de tamaño de 1 a 10 Å en un sentido de flujo contrario al gradiente de difusión. Esta membrana retiene compuestos orgánicos, bacterias, virus y del 90 – 99 % de iones.</p>
Destilación	<p>La destilación es un proceso que involucra la vaporización del agua seguida de la condensación del vapor producido.</p> <p>Elimina la gran mayoría de contaminantes orgánicos e inorgánicos, así como microorganismos y endotoxinas.</p>

- Emulsificantes catiónicos: son los agentes que ayudan a estabilizar la emulsión porque rodean los glóbulos de la fase oleosa, como se describió anteriormente. Sin embargo, poseen también la propiedad de actuar como acondicionadores en el cabello ya que al ser moléculas con carga positiva se anclan a las cargas negativas del cabello dejándolo más suave y fácil de peinar, además de formar un film hidrofóbico alrededor de las fibras.

La mayoría de los emulsificantes catiónicos se depositan sólo sobre la superficie del cabello, aunque los que son de un menor peso molecular pueden penetrar al interior por difusión intercelular. [47]

Generalmente se utilizan mezclas de emulsificantes que ayuden a aumentar la viscosidad de la emulsión y formen films más compactos y elásticos que eviten la coalescencia. [41]

Los emulsificantes catiónicos más ampliamente utilizados son los policuaternios, que son compuestos cuaternarios de amonio unidos a cadenas alquílicas hidrofóbicas y que se encuentran en forma de sales de bromuro o cloruro. [47]

- **Acondicionadores lipofílicos:** son acondicionadores con cadena grasa larga que se utilizan en conjunto con los compuestos cuaternarios de amonio para producir un efecto sinérgico de acondicionamiento. En algunos casos, al mezclarse con estos compuestos cuaternarios, los grupos catiónicos interaccionan con la cadena grasa y forman una fase lamelar, el cual es un arreglo empaquetado en forma de bicapa (figura 4-8) que se hincha de agua, con lo que ayuda a aumentar la viscosidad y la estabilidad de la emulsión [47]. La formación de los geles lamelares está condicionada por la concentración, proporción y HLB de los emulsificantes, y aunque representan grandes ventajas (bajo costo, estabilidad al calor y comportamiento pseudoplástico); requieren concentraciones del 3-10 % de algún emulsificante de bajo HLB, lo cual impactará negativamente en el sensorial del producto; por lo que no siempre son viables. [66]

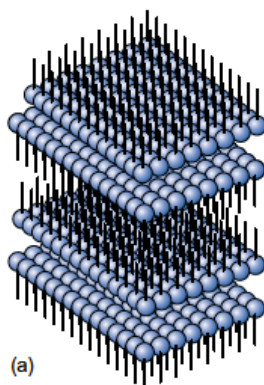


Figura 4-8. Esquema de una fase lamelar.

(Tomada de Remington Essentials of Pharmaceutics. Felton L. 2012.)

Los acondicionadores lipofílicos tienen un uso extenso en la industria cosmética por ser costeables y ampliamente compatibles con otros ingredientes cosméticos. Algunos ejemplos son: alcohol cetílico (INCI: cetyl alcohol), alcohol estearílico (INCI: stearyl alcohol), alcohol cetosteárico o cetearílico (INCI: cetearyl alcohol), diestearato de glicol (INCI: glycol distearate), triglicéridos, ésteres grasos, ceras de triglicéridos y aceite mineral o parafina líquida (INCI: paraffinum liquidum). [47]

- Polímeros de modelado: los polímeros son compuestos de carbono hidrógeno y en algunos casos, otros elementos no metálicos que forman una unidad repetitiva llamada monómero que se repite a lo largo de toda la estructura.

Si bien no es forzoso que las cremas para peinar contengan algún polímero de modelado, se recomienda su incorporación en la fórmula cuando se busca el control del encrespamiento (*frizz*) o la retención del rizo. Éstos polímeros fijan el cabello en la posición deseada porque forman un *film* resistente a la humedad sobre las hebras del cabello, y funcionan de la siguiente manera: 1) los polímeros de modelado y fijación se depositan sobre el cabello, 2) los cabellos se atraen unos con otros por fuerzas capilares, 3) los polímeros se secan y forman una película transparente y resistente, 4) se mantiene la forma deseada del cabello hasta que la película se remueve y 5) el *film* se remueve al lavar el cabello o cuando se aplica una fuerza de peinado. [56]

Los polímeros de modelado más comunes y compatibles con las cremas para peinar se muestran en la tabla 4-5. [57]

Tabla 4-5. Polímeros de modelado más comunes en las cremas para peinar.

Nombre INCI	Características
Polyquaternium-11	Agente de fijación y acondicionamiento. Facilita el desenredamiento y peinado en el cabello húmedo y seco. Forma una película transparente, no pegajosa y moldeable que da cuerpo al cabello.
Polyquaternium-28	Agente de fijación y acondicionamiento. Polímero catiónico que facilita el peinado en seco y húmedo, crea cuerpo; brinda buena retención del rizo, pero permite que el cabello sea maleable. Forma un film no pegajoso que además da brillo al cabello.
Polyquaternium- 69	Fijador con propiedades anti-frizz. Da apariencia brillante al cabello.
Vinylpyrrolidone/ Dimethylamino- ethylmethacrylate Copolymer	Formador de película y agente acondicionador. Brinda retención del rizo incluso a alta humedad, baja pegajosidad y suave sustentividad en el cabello. Ayuda a la peinabilidad en seco y húmedo, imparte suavidad, brillo, sedosidad y cuerpo al cabello.
Polyvinylpyrrolidone (PVP)	Formador de película resistente y brillante. Estabiliza emulsiones.
Polyimide-1	Formador de película y fijador. Incrementa el volumen, tiene buena retención del rizo y es un buen fijador.
Acrylates Copolymer	Ofrece buena fijación, muy resistente a la humedad, sin sensación pegajosa.

- Siliconas: las siliconas son polímeros que se caracterizan por tener en el *esqueleto* de su estructura los enlaces Si-O-Si-O y a los que pueden ser añadidos diversos grupos funcionales para dar origen a diversas siliconas con características particulares. [58]

La libre rotación de los enlaces Si-O y Si-C le permite a las moléculas adoptar la conformación de mínima energía en la interfase, haciendo que se esparzan a lo largo de toda la fibra y le den una sensación de acondicionamiento, además forman un film hidrofóbico alrededor de cada hebra que disminuye la fricción hebra-hebra y mejora la peinabilidad, previene el deslave de los tintes, le da un tacto sedoso y suave al cabello y alinea las fibras del cabello para darle una apariencia general más sana. Las siliconas mayoritariamente empleadas en los productos para cabello son las ciclometiconas, dimeticonas y gomas de silicón. [58, 59]

Las ciclometiconas son siliconas cíclicas volátiles que funcionan como acondicionadores temporales y ayudan a la peinabilidad en húmedo por lo que generalmente se incorporan en productos para desenredar. Los ejemplos más comunes de ciclometiconas son el ciclotetrasiloxano y el ciclopentasiloxano. [58]

Las dimeticonas (también conocidas como aceite de silicón, dimetilpolisiloxano o polidimetilsiloxano) conforman un grupo de siliconas que pueden encontrarse en un amplio rango de viscosidades y pesos moleculares. Se utilizan para mejorar la apariencia del cabello y dar acondicionamiento, forman una capa protectora alrededor del cabello que evita el deslave de los tintes. [58]

El dimeticonol o goma de silicón es una silicona muy similar a la dimeticona, generalmente se encuentra en mezclas de dimeticona (y) dimeticonol y ciclometicona (y) dimeticonol; éste último funciona como un sistema de acondicionador de dos pasos: primero la ciclometicona (generalmente, ciclopentasiloxano) ayuda a desenredar el cabello en húmedo mientras se evapora lentamente y posteriormente el dimeticonol, que es no volátil, actúa como un acondicionador en el cabello seco impartándole un tacto suave y sedoso. Estas mezclas se incorporan en productos para cabello muy dañado o en reparadores de puntas. [58, 59]

- Conservadores: se definen como cualquier sustancia química utilizada para prevenir la proliferación de microorganismos en un producto o materia prima.

Preservar la formulación de los cosméticos mantiene la calidad del producto, como por ejemplo: evitando un descenso en el pH, el mal olor, la separación de una emulsión, cambios de color o pérdida de viscosidad; además disminuye la probabilidad de irritación o infecciones tras su aplicación y/ o uso.

Lo más común es utilizar una mezcla de conservadores para lograr un efecto sinérgico y aumentar la seguridad del producto al usar varios conservadores,

pero a bajas concentraciones. La elección de los conservadores debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- De amplio espectro, es decir, actúe contra hongos, virus y bacterias.
- Eficaz a bajas concentraciones.
- Seguro para el uso humano.
- Efectivo en costo.
- Estable y efectivo a lo largo de toda la vida útil o de anaquel del producto.
- Compatible con los ingredientes del producto.
- Compatible con el pH del producto.
- Que tenga aceptación por parte del cliente.

Los conservadores se pueden dividir en: ésteres de parabenos, donadores de formaldehído, halogenados, alcoholes y ácidos orgánicos. (Tabla 4-6)

Tabla 4-6. Conservadores empleados en cosméticos.

	Ejemplos	Ventajas	Desventajas
Parabenos	Metilparabeno (INCI: Methylparaben),	Estables al calor y en un rango amplio de pH, muestran sinergia si se utilizan en combinación de conservadores de la misma categoría, muy seguros para el consumo humano.	Incompatibles con algunas proteínas, ligera actividad antibacteriana, baja solubilidad en agua, algunos surfactantes no iónicos pueden reducir su actividad.
	Etilparabeno (INCI: Ethylparaben),		
	Propilparabeno (INCI: Propylparaben)		
Donadores de formaldehído	DMDM hidantoína (INCI: DMDM Hydantoin)	Económico, soluble en agua, de amplio espectro, efectivo a bajas concentraciones, efectivo en un pH de 4 a 8, estable al calor.	Donador de formaldehído.
	Hidroximetilglicinato de sodio (INCI: Sodium Hydroxymethylglycinate)	Soluble en agua, actúa en un pH de 3.5 a 12, compatible con surfactantes iónicos y no iónicos, y con proteínas.	Donador de formaldehído, pobre actividad contra levaduras.
	Imidazolidinil urea (INCI: Imidazolidinyl Urea)	Soluble en agua, buena actividad antibacteriana, actúa en un pH de 4 a 9, baja donación de formaldehído.	Pobre actividad antifúngica, baja estabilidad con el calor, relativamente costoso.
	Diazolidinil urea (INCI: Diazolidinyl Urea)		
Alcoholes	Fenoxietanol (INCI: Phenoxyethanol)	Buena actividad antibacteriana, especialmente contra Pseudomonas, de baja toxicidad, compatible con proteínas y surfactantes no iónicos, produce sinergia en presencia de otros conservadores.	Si se utiliza como único conservador, se requieren grandes cantidades.
	Alcohol bencílico (INCI: Benzyl Alcohol)	Buena actividad contra bacterias gram positivas y mohos, de baja toxicidad, compatible con proteínas y surfactantes no iónicos, aumenta la eficacia de los parabenos.	Si se utiliza como único conservador, se requieren grandes cantidades.

Tabla 4-6. Conservadores empleados en cosméticos.

	Ejemplos	Ventajas	Desventajas
Ácidos orgánicos	Ácido benzoico (INCI: Benzoic Acid)	Efectivo contra levaduras y mohos, baja toxicidad, considerado un conservador natural, muy estable.	Para que sea efectivo el medio debe tener un pH < 5, débil actividad antibacteriana, se inactiva en presencia de surfactantes no iónicos.
Halogenados	Bronopol (INCI: 2-Bromo-2-Nitropropane-1,3-diol)	Excelente actividad antibacteriana, especialmente contra Pseudomonas, soluble en agua, compatible con proteínas y surfactantes no iónicos.	Pobre actividad antifúngica, pobre estabilidad si pH>8, asociado a la formación de nitrosaminas, leve donación de formaldehído.
	Yodopropinil butilcarbamato (INCI: Iodopropynyl Butylcarbamate)	Excelente actividad antifúngica, efectivo a muy bajas concentraciones de uso, compatible con proteínas y surfactantes no iónicos.	Pobre actividad antibacteriana, prácticamente insoluble en agua, uso restringido a ciertos productos.
	Metilcloroisotiazolinona (INCI: Methylchloroisothiazolinone) Metilisotiazolinona (INCI: Methylisothiazolinone)	De amplio espectro, muy efectivo a bajas concentraciones, compatible con surfactantes no iónicos.	Sensibilizantes cutáneos, baja estabilidad si pH > 8, inestables al calor, incompatibles con proteínas, sólo pueden emplearse en productos con enjuague.

- Aditivos cosméticos: además de los ingredientes anteriormente mencionados pueden adicionarse otros con fines funcionales, estéticos o de marketing, entre los que pueden figurar las fragancias, péptidos o proteínas y extractos vegetales, por mencionar algunos ejemplos. [47]

Las fragancias son mezclas complejas de aceites esenciales de origen natural o sintético en disolventes y/o cosolventes que además de brindarles más estabilidad, facilitan su incorporación al producto. Juegan un papel muy importante en los cosméticos pues son capaces de evocar momentos a través de la memoria olfativa y crean sensaciones positivas como frescura, limpieza y bienestar [45]. Las cremas para peinar están dirigidas en su mayoría al consumo femenino, por lo que frecuentemente se eligen fragancias con notas florales o frutales para perfumar el cabello.

Los péptidos y proteínas son ampliamente sustantivos para el cabello por contener grupos polares en su estructura, lo cual hace que se adhieran a la superficie del cabello por fuerzas de Van der Waals; sin embargo los de un peso menor a los 1,000 Da pueden penetrar en el cabello por difusión intercelular. Los hidrolizados de proteínas pueden ser de fuentes vegetales como el trigo o la soya, o de fuentes animales como la queratina. Si bien este último hidrolizado puede parecer más efectivo al ser un componente natural del cabello, la queratina en sí es una proteína irremplazable una vez que ya se dañó.

Los aceites vegetales se componen en su mayoría de ácidos grasos saturados e insaturados y su principal beneficio para el cabello recae en que son hidrófobos y así evitan el hinchamiento de la fibra por la humedad, además si los ácidos grasos son de bajo peso molecular pueden penetrar en las hebras y rellenar los huecos entre las escamas de la cutícula, evitando el rompimiento del cabello y las puntas abiertas. Algunos ejemplos son el aceite de coco, argán, aguacate y oliva. [62]

Para decidir el porcentaje de los aditivos que se manejará en la formulación, se deben considerar aspectos como el costo, la cantidad mínima para que sean funcionales (de acuerdo con la literatura o las sugerencias del proveedor), la estabilidad del producto y su desempeño durante la aplicación (por ejemplo, que la cantidad contenida de aceites vegetales no den un aspecto de suciedad en el cabello).

5 FORMULACIÓN DE UNA CREMA PARA PEINAR CON FILTRO UV

5.1 JUSTIFICACIÓN PARA LA PROPUESTA DE FORMULACIÓN

Para la propuesta de formulación de una crema para peinar con filtro UV, no fue posible tomar como tal un *benchmark* ya que actualmente las cremas que se comercializan en el mercado carecen de algún filtro solar o se añaden con el único fin de mantener la estabilidad del producto.

Pese a esto, se recopiló información de formulaciones comerciales con el fin de conocer los *claims*, obtener la lista de ingredientes y en un futuro, comparar el desempeño de peinabilidad y acondicionamiento de la formulación desarrollada contra alguna formulación comercial.

Si bien actualmente no existen cremas para peinar cuya función principal sea la de proteger el cabello de la radiación solar, se tomaron como referencia tres formulaciones comerciales cuyos *claims* pueden apoyar al desarrollo del producto aquí deseado. La primera de ellas contiene antioxidante, que como se mencionó anteriormente protege del daño por radiación y la segunda formulación está diseñada para disminuir el daño ya existente, cualidad que se busca una vez que el cabello ya fue expuesto a la radiación solar y al ambiente en general.

La lista completa *claims* de los productos se encuentra en la tabla 5-1, así como la lista de ingredientes de cada uno, que se muestran en las tablas 5-2 y 5-3.

Tabla 5-1. Claims asociados de algunas formulaciones comerciales, según la información declarada en las etiquetas.

Nombre de la formulación	Claims declarados en la etiqueta del producto
Sedal Keratina con antioxidante	<ul style="list-style-type: none"> • Con <i>keratina</i> y antioxidante • Repara y rejuvenece tu cabello • Deja tu cabello suave y brillante • Previene el <i>frizz</i> y las puntas abiertas • Actúa durante 24 horas
Garnier Fructis Borrador de daño	<ul style="list-style-type: none"> • Con proteína keraphyll y óleo de grosella. • Repara dos años de daño en cinco aplicaciones. • Sin parabenos.

Tabla 5-2. Ingredientes de las formulaciones comerciales de crema para peinar.

Función	Sedal Keratina con antioxidante	Garnier Fructis Borrador de daño
Vehículo	Aqua	Aqua
Quelante	Disodium EDTA	---
Regulador de pH	Lactic Acid	Citric Acid
Viscosante y/o estabilizante	Dimethylacrylamide/ Ethyltrimonium Chloride Methacrylate Copolymer	---
Tensoactivos (emulsificantes y co-emulsificantes)	Cetearyl alcohol, Stearamidopropyl Dimethylamine, Sodium Sulphate	Cetearyl alcohol, Trideceth-6
Acondicionador y/o antiestático	Paraffinum Liquidum,	Paraffinum Liquidum, Behentrimonium Chloride, Cetrimonium Chloride, Amodimethicone
Polímero de modelado	---	---
Emoliente	Dimethiconol, Cyclopentasiloxane, Dimethicone, Trimethylsiloxysilicate, Gluconolactone	Amodimethicone
Conservador	DMDM Hydantoin, Methylparaben	Benzyl Alcohol, Sodium Benzoate, Behentrimonium Chloride, Cetrimonium Chloride., Chlorhexidine Chloride
Aditivo	Ver tabla 5-3	

Tabla 5-3. Función de los aditivos de las cremas para peinar comerciales.

Tipo de aditivo	Sedal Keratina con antioxidante	Garnier Fructis Borador de daño
Fragancia y componentes de fragancia	Parfum, Limonene, Geraniol, Citronellol, Linalool, Coumarin, Hexyl Cinnamal. Benzyl Salicilate, Butylphenyl methylpropional	Eugenol, Hexyl Cinnamal, Parfum, Limonene, Geraniol, Citronellol, Linalool, Benzyl Salicilate, Alpha Isomethyl Ionone
Proteína	Hydrolized Keratin	Hydrolized Vegetable Protein PG-Propyl Silanetrol
Extracto y/o aceite vegetal (nombre común)	<i>Helianthus annus</i> seed oil (aceite de semilla de girasol)	<i>Camellia sinensis</i> leaf extract (extracto de hoja de té), <i>Saccharium officinarum</i> extract (extracto de caña de azúcar), <i>Citrus medica limonum</i> peel extract (Extracto de cáscara de limón), <i>Phyllanthus emblica</i> fruit extract (extracto de grosella), <i>Pyrus malus</i> extract (extracto de manzana),
Vitamina	Tocopherol Acetate (como antioxidante)	Pyridoxine Hydrochloride, Niacinamide
Otro (función)	Trehalose (regula la humedad de la fibra capilar), Glycerin (humectante)	Isopropyl Alcohol (reduce sensorial grasa), Glycerin (humectante)

5.1.1 Ingredientes en la propuesta de formulación

Tomando en cuenta el tipo de ingredientes que se requieren para formular una crema para peinar descritos en el capítulo 4.3.3, y las referencias comerciales, se propuso la formulación prototipo de una crema para peinar con filtro UV mostrada en la tabla 5-4.

Esta fórmula está compuesta de una porción acuosa (fase A) y una fase oleosa (fase B), así como ingredientes adicionales (fases C y D).

La justificación para seleccionar los ingredientes se menciona a continuación; así como los porcentajes de uso y el método de fabricación. Éstos últimos dos se definieron a partir experimentos desarrollados durante la estancia estudiantil de la sustentante. Como se puede observar, algunos porcentajes no son fijos, por lo que se recomienda variarlos hasta obtener una formulación estable y que cumpla con la viscosidad deseada por el formulador.

Tabla 5-4. Formulación prototipo de una crema para peinar con filtro UV

Fase	Nombre común (INCI)	Función [73]	Porcentaje (%)
A	Agua (Aqua)	Vehículo	cs
	EDTA disódico (Disodium EDTA)	Quelante	1.0
	Glicerina (Glycerin)	Humectante	0.1
	Hidroxietilcelulosa (Hydroxyethylcellulose)	Viscosante	0.3 a 1.0
B	Alcohol cetílico (Cetyl alcohol)	Co-emulsificantes	1.5
	Alcohol cetearílico (Cetearyl alcohol)		3.0
	Cuaternio- 70 (y) propilenglicol (Quaternium-70 (and) Propylene glycol)	Emulsificante, acondicionador y estabilizante	2.0 a 4.0
	DimetilPABAmidopropil laurdimonio tosilato (Dimethylpabamidopropyl Laurdimonium Tosylate)	Filtro UV, acondicionador	2.0
	Palmitato de etilhexilo (Ethylhexyl Palmitate)	Modificador sensorial (reduce la sensación pegajosa del producto)	1.5
	Aceite de argán (<i>Argania spinosa</i> kernel oil)	Aditivo protector del cabello	1.0
C	Diazolidinil urea (y) yodopropinil butilcarbamato (y) propilenglicol (Diazolidinyl Urea (and) Iodopropynyl Butylcarbamate (and) Propylene Glycol)	Conservador	0.5
D	Dimeticona 200/350 (Dimethicone)	Emolientes	1.5
	Dimeticona (y) dimeticonol (Dimethicone (and) Dimethiconol)		1.0
	Ciclopentasiloxano (Cyclopentasiloxane)		0.5

- Agua (INCI: Aqua): el agua funciona como vehículo, es decir, es el medio inerte en el cual los demás componentes se encuentran disueltos o dispersos. [41]

Químicamente es una molécula compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (figura 5-1), de naturaleza polar, por lo que muestra afinidad por otros compuestos polares.

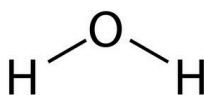


Figura 5-1. Estructura química del agua.

(Tomada de <https://www.colourbox.com/image/water-molecule-icon-and-chemical-formula-image-15943742>. 09 de mayo de 2018. Modificada por Espinoza C.)

- EDTA disódico (INCI: Disodium EDTA): el ácido etilendiaminotetraacético o EDTA (figura 5-2) funciona como un agente quelante [41] para reaccionar con los iones Mg^{2+} y Ca^{2+} que posiblemente contenga el agua, de lo contrario estos iones pueden acelerar la inestabilidad de las emulsiones o interactuar de manera negativa con otros ingredientes.

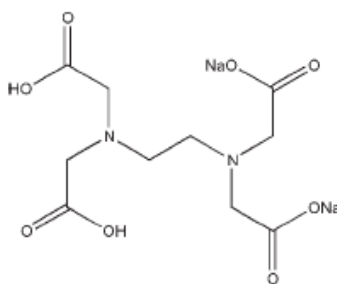


Figura 5-2. Estructura química del EDTA disódico.

(Tomada de *Handbook of pharmaceutical excipients*. Rowe R. 2009.)

- Glicerina (INCI: Glycerin): la glicerina es un alcohol con tres grupos hidroxilo (figura 5-3) ampliamente usado en las industrias cosmética y farmacéutica, y dependiendo del tipo de producto y concentración a la que se emplee, puede tener diferentes funciones como vehículo, cosolvente y humectante, entre otros.

En los productos cosméticos y en concreto, los cosméticos capilares la glicerina actúa como un agente humectante y acondicionador, favoreciendo la aplicación del producto sin afectar la cutícula. En algunos casos, también puede funcionar como plastificante para reducir la dureza y sensación *acartonada* que dan algunos polímeros de modelado. [63]

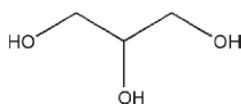


Figura 5-3. Estructura química de la glicerina.

(Tomada de Handbook of pharmaceutical excipients. Rowe R. 2009.)

- Hidroxietilcelulosa (INCI: Hydroxyethylcellulose): es un polímero no iónico derivado de la celulosa (figura 5-4) que en acondicionadores y cremas para peinar funciona como un viscosante, que dependiendo de su grado de sustitución, será su viscosidad y facilidad de dispersión en agua.

Es compatible con surfactantes tanto no iónicos como iónicos (catiónicos, aniónicos y anfotéricos), es estable en un rango amplio de pH y de temperaturas y exhibe un flujo pseudoplástico.

De acuerdo con la información brindada por el proveedor, la hidroxietilcelulosa que se empleó en estas formulaciones corresponde a un polímero para uso cosmético, de alta solubilidad en agua, que no forma grumos al momento de agregarse y que en solución acuosa al 1.0 % a 25°C tiene una viscosidad entre 3,000 y 5,000 cP.

La hidroxietilcelulosa se incorpora al agua de la siguiente manera:

- La materia prima se espolvorea en el agua, evitando la formación de aglomerados, y se agita a una velocidad vigorosa por unos 20 minutos a temperatura ambiente (aproximadamente 25°C) a un pH neutro. Esto se conoce como período de inhibición, en el cual la hidroxietilcelulosa se hidrata para dar como resultado una dispersión translúcida.
- Posteriormente ocurre la etapa de disolución, que se evidencia con el aumento de la viscosidad y la completa transparencia de la solución. Este paso se ve favorecido con el calentamiento, por lo que se recomienda agitar vigorosamente a una temperatura constante de 80°C por un lapso de 20 minutos.

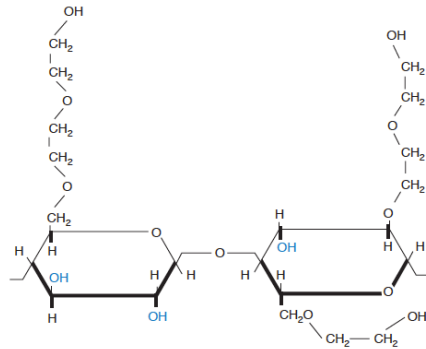


Figura 5-4. Estructura química de la hidroxietilcelulosa empleada en las formulaciones.

(Tomada de Natrosol Hydroxyethylcellulose: A nonionic water soluble polymer. Ashland Global Speciality Chemicals.)

- Alcohol cetílico (INCI: Cetyl alcohol): el alcohol cetílico corresponde al hexadecanol, sin embargo dependiendo de la pureza manejada por el fabricante, puede tratarse de una mezcla de alcoholes grasos sólidos compuesta aproximadamente por 90 % de hexadecanol y 10 % de alcoholes relacionados. (Figura 5-5). [54]

En concentraciones del 2 % al 5 % funciona como co-emulsificante [54] formando una monocapa que se adsorbe a los glóbulos y se acumula en la interfase para evitar la coalescencia (tabla 4-1). En esta barrera, los grupos hidroxilo se orienta hacia la fase acuosa y la cola hidrocarbonada se orienta hacia los glóbulos de la fase oleosa. [41]

Se presenta en forma de hojuelas cerosas de color blanco, por lo que para incorporarlo a una emulsión es necesario calentar para que se funda. Tiene un punto de fusión entre los 47 y 53°C.[54]

- Alcohol cetoestearílico (INCI: Cetearyl alcohol): el alcohol cetoestearílico o alcohol cetearílico es una mezcla de alcoholes grasos que contiene 50–70% de alcohol estearílico (octadecanol) y 20–30% de alcohol cetílico (hexadecanol). (Figura 5-5)

Ayuda a incrementar la viscosidad de la emulsión y funciona como un co-emulsificante.

Se presenta en forma de hojuelas cerosas de color blanco, por lo que para incorporarlo a una emulsión también es necesario calentar. Tiene un punto de fusión entre los 49 y 56°C. [54]



Figura 5-5. Estructura química del hexadecanol (izquierda) y octadecanol (derecha).

(Tomadas de *Handbook of pharmaceutical excipients*. Rowe R. 2009.)

- Cuaternio-70 (INCI: Quaternium-70 (and) propylene glycol): Es un compuesto cuaternario con dos cadenas alquílicas (figura 5-6) que funciona como un emulsificante en presencia de alcoholes grasos (en este caso, alcohol cetílico y alcohol cetosteárico) y como estabilizante porque aumenta notablemente la viscosidad del sistema.

Su naturaleza catiónica neutraliza las cargas del cabello y le ofrece los siguientes beneficios: aporta suavidad, evita el *frizz*, ofrece protección térmica (figura 5-7), previene la degradación del triptófano (figura 5-8) y favorece la peinabilidad tanto en húmedo como en seco (figura 5-9). [65]

En productos para cabello sin enjuague (cremas para peinar, mousses, lociones, entre otros) el cuaternio-70 puede emplearse en concentraciones del 0.5 % al 3.0 %, se agrega a la fase oleosa y puede calentarse de hasta 80 °C. [65]

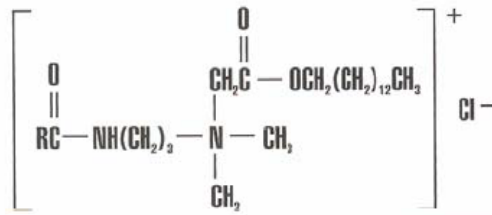


Figura 5-6. Estructura química del Quaternium-70.

(Tomada de Ceraphyl 70 Brochure. ISP Sutton Laboratories).



Figura 5-7. Protección térmica con Quaternium-70. Tras siete ciclos de peinado y secado con calor, se observó que el cabello sin proteger sufría un mayor levantamiento de la cutícula (izquierda), mientras que en el cabello tratado con Quaternium-70 al 1.0 % el levantamiento de la cutícula era menor (derecha).

(Tomada de Ceraphyl 70 Brochure. ISP Sutton Laboratories).

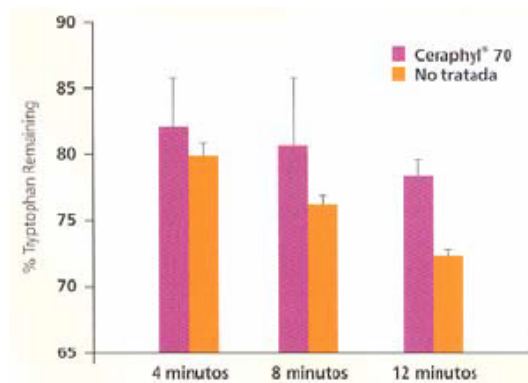


Figura 5-8. Protección contra la degradación del triptófano con Quaternium-70. En este estudio, las mechas se lavaron y trataron con una dispersión de Quaternium-70 al 1.0 %, se secaron con ayuda de una secadora de cabello a 132°C durante un minuto; se repitió este proceso hasta completar un total de 12 minutos y se cuantificó el triptófano remanente a diferentes intervalos. Se observó que Quaternium-70 protege el cabello contra la degradación del triptófano.

(Tomada de Ceraphyl 70 Brochure. ISP Sutton Laboratories)

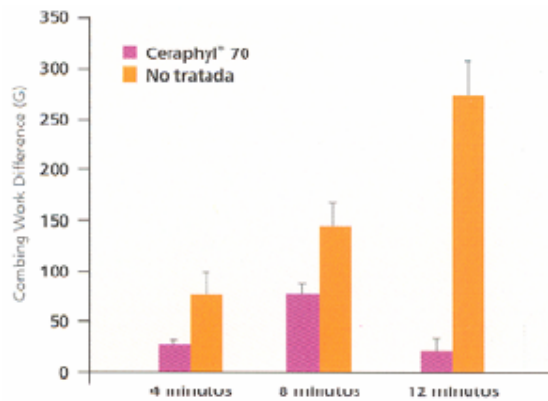


Figura 5-9. Favorecimiento de la peinabilidad en seco con Quaternium-70. Tras aplicar el procedimiento descrito en la figura 5-9, se evaluó la fuerza de peinado a diferentes intervalos (4, 8 y 12 minutos). Se observó que utilizando una formulación que contenía Quaternium-70 al 1.0 % se facilita considerablemente la peinabilidad del cabello.

(Tomada de Ceraphyl 70 Brochure. ISP Sutton Laboratories)

- Dimethylpabamidopropyl Laurdimonium Tosylate (INCI: Dimethylpabamidopropyl Laurdimonium Tosylate): es una sal cuaternaria de dialquilaminobenzamida (figura 5-10) no hidrolizable y no irritante que funciona como un filtro solar específico para el cabello.

Presenta las siguientes características: [67]

- Máximo de absorción en 280-330 nm (radiación UVB).
- Coeficiente de extinción molar cercano a $2700 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$: El coeficiente de extinción molar representa la protección de un filtro solar contra la radiación. A medida que el coeficiente aumenta, mayor es la protección que ofrece ya que el filtro es capaz de absorber mayor cantidad de radiación a una determinada longitud de onda, y por ende, es menor es la cantidad necesaria para ofrecer esta protección.
- Sustantividad de 6.6 mg de filtro solar/g de cabello: La sustentividad puede definirse como la adherencia de ingrediente o un cosmético debido a la afinidad de éste por el sustrato (piel o cabello), que se da gracias a interacciones químicas, electrostáticas o por adsorción [82]. El Dimethylpabamidopropyl Laurdimonium Tosylate tiene una alta sustentividad debido a la formación de puentes hidrógeno con la queratina del cabello.

Otros beneficios que ofrece este ingrediente son la disminución de la degradación del triptófano (figura 5-11), evita la ruptura de enlaces disulfuro (figura 5-12) y facilita la peinabilidad en húmedo, entre otros. (Figura 5-13)

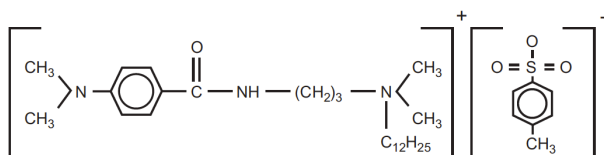


Figura 5-10. Estructura química del Dimethylpabamidopropyl Laurdimonium Tosylate.

(Tomada de Escalol HP Brochure. ISP Sutton Laboratories)

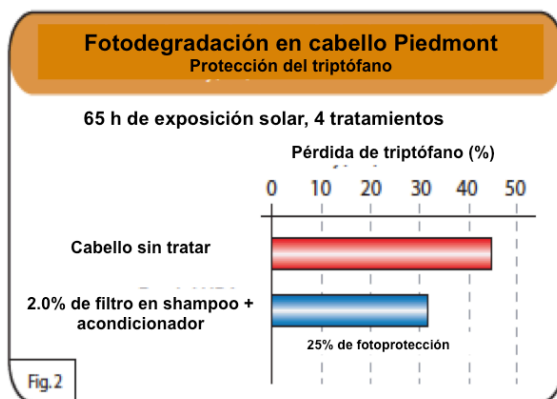


Figura 5-11. Disminución de la degradación del triptófano con Dimethylpabamidopropyl Laurdimonium Tosylate. Las mechas se sometieron a un tratamiento de lavado con shampoo y acondicionador que contenía 2.0 % del filtro y se expusieron 15h a la radiación; este ciclo se repitió cuatro veces hasta acumular 65 h de exposición. Se observó que el Dimethylpabamidopropyl Laurdimonium Tosylate disminuye la degradación del triptófano hasta en un 25 % comparado contra el cabello sin proteger.

(Tomada de Escalol HP Brochure. ISP Sutton Laboratories. Modificada por Espinoza C.)

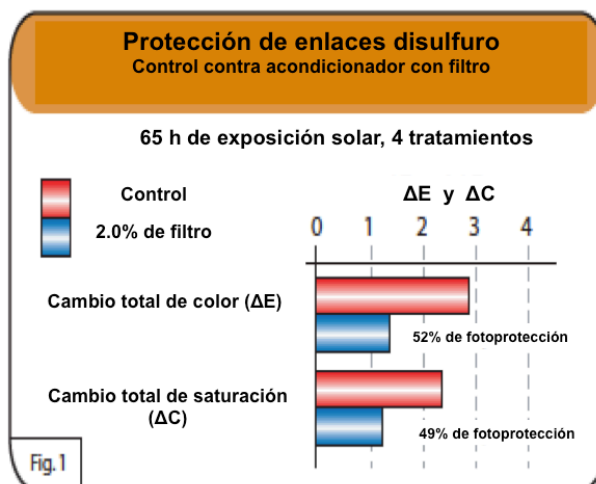


Figura 5-12. Disminución de la ruptura de puentes disulfuro con Dimethylpabamidopropyl Laurdimonium Tosylate.

Tras exponerse a la radiación solar, los puentes disulfuro del cabello se degradan a grupos sulfhidrilo, éstos se tiñen con mercurocromo y se cuantifica el daño con un colorímetro. El cabello tratado con Dimethylpabamidopropyl Laurdimonium Tosylate al 2 % muestra un menor cambio de color, lo que indica una menor proporción de grupos sulfhidrilos teñidos con mercurocromo, y por ende, un daño menor comparado contra el cabello sin proteger.

(Tomada de Escalol HP Brochure. ISP Sutton Laboratories. Modificada por Espinoza C.)

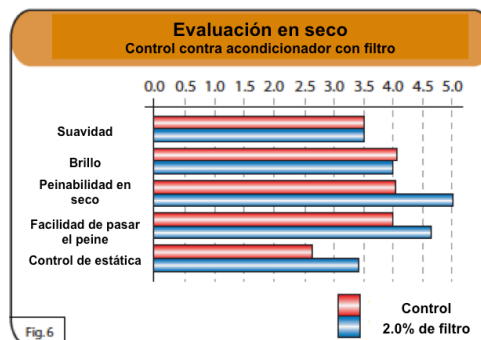
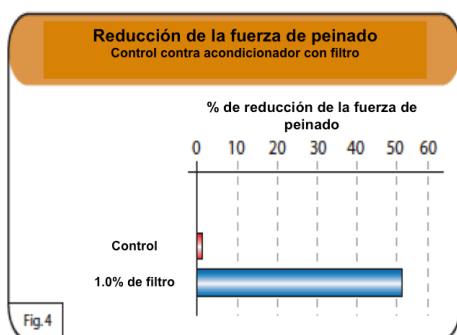


Figura 5-13. Beneficios en el cabello húmedo y seco con Dimethylpabamidopropyl Laurdimonium Tosylate. Utilizando un acondicionador con enjuague con el filtro al 1 % se disminuye drásticamente la fuerza de peinado en el cabello húmedo (izquierda) y seco, además, de disminuir la estática (derecha).

(Tomadas de Escalol HP Brochure. ISP Sutton Laboratories. Modificadas por Espinoza C.)

- Palmitato de etilhexilo (INCI: Ethylhexhyl Palmitate): es un éster (figura 5-14) de bajo peso molecular y baja viscosidad que se adiciona en algunas formulaciones, sobre todo si se trata de emulsiones, para reducir el sensorial

graso que pueden aportar otros ingredientes. Brinda un sensorial seco, de rápida absorción, elegante y sedoso.

Puede incorporarse en porcentajes del 1.0 % hasta el 10 %, y dependiendo de la formulación, puede incluso sustituir en su totalidad a las siliconas. [69]

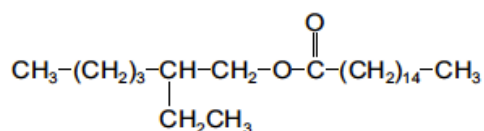


Figura 5-14. Estructura química del palmitato de etilhexilo

(Tomada de Ceraphyl SLK ester Brochure. Ashland Global Speciality Chemicals)

- Aceite de argán (INCI: *Argania spinosa* kernel oil): se compone de un 99% de acilglicérols, de los cuales la mayoría corresponden a los triacilglicérols, el resto corresponde a tocoferoles, carotenos, alcoholes triterpénicos, esteroides y xantofilas. Los ácidos grasos que componen los acilglicérols principalmente son el ácido oleico (43 – 49 %) y el ácido linoleico (29 – 36 %), ácido palmítico (11 – 15 %) y ácido esteárico (4 – 7 %). (Figura 5-15)

Estos ácidos grasos penetran en el cabello por tener una estructura molecular compacta, además al ser hidrófobos previenen el hinchamiento de la fibra y disminuyen la descamación de la cutícula. [70, 71]

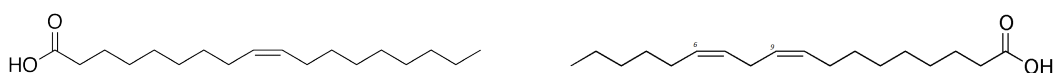


Figura 5-15. Estructura química del ácido oleico (izquierda) y ácido linoleico (derecha), principales ácidos grasos del aceite de argán.

(Tomadas de Handbook of pharmaceutical excipients. Rowe R. 2009)

- Diazolidinil urea (y) yodopropinil butilcarbamato (y) propilenglicol (INCI: Diazolidinyl Urea (and) Iodopropynyl Butylcarbamate (and) Propylene Glycol): La mezcla de este conservador comercial se compone de 36.4 % de diazolidinil urea y 0.4 % de yodopropinil butilcarbamato (IPBC) en propilenglicol. (Figura 5-16)

Protege contra un amplio espectro (hongos, levaduras y bacterias gram positivas y gram negativas), tiene una muy baja toxicidad y es muy efectivo a bajas concentraciones.

Funciona en un rango de pH de 3 a 8 y debe agregarse debajo de los 50°C, ya que de lo contrario se inactiva

En las emulsiones en general se utiliza en concentraciones del 0.25 % al 0.5 % [72]

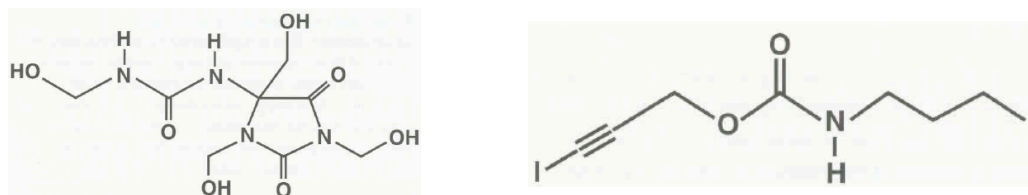


Figura 5-16. Estructura química de la diazolidinil urea (izquierda) y el yodopropinil butilcarbamato (derecha).

(Tomadas de Liquid Germall Plus Brochure. ISP Sutton Laboratories)

- Dimeticona 200/350 (INCI: Dimethicone): la dimeticona 200/350 (figura 5-17) es una silicona de mediana viscosidad que funciona como un acondicionador, forma una delgada película protectora alrededor de las hebras de cabello que previene el deslave de los tintes, el hinchamiento de las fibras y le da un tacto suave al cabello.

Pueden incorporarse hasta en un 10 % de la formulación, sin embargo al aumentar la cantidad, también aumenta la sensación grasosa, además del *build up* (acumulación de residuo catiónico que da la apariencia de suciedad).

[58]

- Dimeticona (y) dimeticonol (INCI: Dimethicone (and) Dimethiconol): es una mezcla de siliconas compuesta por dimeticonol (o goma de silicón) de alta viscosidad disperso en una dimeticona de baja viscosidad. (Figura 5-17)

Funciona como un acondicionador de larga duración que proporciona un tacto muy suave y sedoso en el cabello muy dañado; además ayuda a sellar las puntas abiertas y proporciona un brillo efecto *gloss*.

Es de alta sustentividad, por lo que se recomienda utilizarlo a bajos porcentajes para evitar el *build up*. [58]

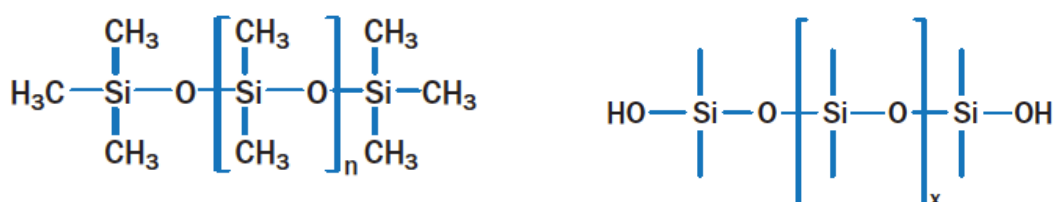


Figura 5-17. Estructura química de la dimeticona (izquierda) y el dimeticonol (derecha). La dimeticona también se conoce con el nombre de polidimetilsiloxano, dimetilpolisiloxano o aceite de silicón. [58]

(Tomada de *Selecting the perfect silicone for your formulation*. Kuan Lem T. 2014.)

- Ciclopentasiloxano (INCI: Cyclopentasyloxane): es una ciclometicona o silicona cíclica volátil (figura 5-18) que funciona como un acondicionador temporal, sobre todo en el cabello húmedo. Al aplicarse en el cabello permite su fácil desenredamiento, mientras se evapora lentamente.

Al ser volátil, debe adicionarse por debajo de los 50°C. [58]

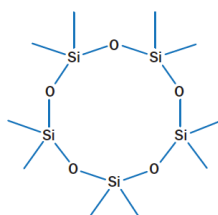


Figura 5-18. Estructura química del ciclopentasiloxano

(Tomada de *Selecting the perfect silicone for your formulation*. Kuan Lem T. 2014.)

5.2 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA FÓRMULA PROPUESTA

5.2.1 Materiales para la fabricación

La siguiente lista de materiales está adaptada a tamaños de lote entre 250 y 300 g, cantidades que usualmente se fabrican durante los experimentos exploratorios. Sin embargo para las etapas subsecuentes (la ejecución del protocolo de estabilidad o la evaluación del desempeño), es posible que se requiera fabricar un tamaño de lote mayor, con lo que la lista de materiales deberá ser adecuada a las necesidades.

- Vasos dosificadores
- 1 Vaso de precipitados de vidrio de 500 mL
- 1 Vaso de precipitados de vidrio de 250 mL
- Espátulas
- 2 termómetros
- agitador de vidrio
- 1 cronómetro
- Agitador IKA con propela de hélice
- 1 parrilla de calentamiento
- Balanza analítica

5.2.2 Procedimiento para la fabricación

En el vaso de precipitados se vierte el agua, EDTA y la glicerina uno a uno y con agitación hasta que se disuelvan. Posteriormente se adiciona la hidroxietilcelulosa con agitación vigorosa durante veinte minutos, se calienta hasta 80°C y se mantiene esta temperatura durante veinte minutos más o hasta que se forme una dispersión homogénea y transparente, todo sin dejar de agitar. Ésta es la fase acuosa o fase A.

En otro vaso, se colocan todos los ingredientes de la fase B (oleosa) y se funden hasta los 75°C.

Cuando la temperatura de la fase acuosa descienda a 75°C y ambas fases se encuentren a la misma temperatura, agregar sin dejar de agitar, los componentes oleosos a la fase acuosa.

Agitar a velocidad moderada aproximadamente cinco minutos hasta que se forme la emulsión. Detener la agitación y permitir que la emulsión se enfríe por sí sola. Cuando ésta se encuentre debajo de los 50°C, añadir el conservador, dimeticona, ciclopentasiloxano y dimeticonol, uno a uno y con agitación manual. Acondicionar.

6 PROPUESTA DE EVALUACIÓN DE UNA CREMA PARA PEINAR CON FILTRO UV

6.1 EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD

Para garantizar que el producto mantendrá sus características originales y establecer su período de vida útil, es necesario llevar a cabo pruebas de estabilidad, en las cuales el producto se somete a ciertas condiciones de almacenamiento con el fin de acelerar o provocar una posible inestabilidad o cambio indeseable.

En México no existe una normatividad obligatoria para realizar las pruebas de estabilidad de los productos cosméticos, sin embargo lo más usual es auxiliarse de los procedimientos descritos en la Norma Oficial Mexicana NOM-073-SSA1-2015 “Estabilidad de fármacos y medicamentos, así como de remedios herbolarios” o en este caso, en la Guía de Estabilidad de Productos Cosméticos emitida por la Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria (ANVISA).

Con base en esta guía se propone realizar durante los experimentos exploratorios una Prueba de estabilidad preliminar, que consistirá en someter el producto a nueve ciclos alternando calentamiento y refrigeración. Simultáneamente, el producto deberá someterse a una Prueba de estabilidad acelerada, en la cual las muestras se almacenarán en condiciones de calentamiento, refrigeración y temperatura ambiente durante tres meses.

Estas muestras deben comprender las formulaciones propuestas y un producto comercial que funcionará como referencia. Deben acondicionarse en frascos de vidrio llenados a 2/3 de su capacidad total, manteniendo un espacio vacío o *headspace* que permitirá el posible intercambio gaseoso entre la muestra y el aire.

En este caso al tratarse de una emulsión, los parámetros críticos en la estabilidad, seguridad y aceptación por parte del consumidor son las características organolépticas (apariencia, color y aroma), pH y viscosidad; mismos que deberán ser evaluados en los períodos establecidos a continuación, recordando que los frascos que contienen las muestras pueden ser analizados una sola vez, por lo que después de cada medición deben

desecharse y no pueden utilizarse nuevamente en la siguiente fecha de evaluación. [74]

6.1.1 Materiales para la evaluación de la estabilidad

- Frascos de vidrio con tapa de 250 mL
- Tubos para centrífuga
- Cronómetro
- 2 Termómetros
- Estufa
- Refrigerador
- Potenciómetro
- Centrífuga
- Viscosímetro rotatorio con agujas

6.1.2 Procedimiento para la evaluación de la estabilidad

Como prueba tentativa de estabilidad, centrifugar el producto a 3000 rpm por treinta minutos, si transcurrido este lapso existe alguna separación es necesario reformular, de lo contrario, proceder como se describe a continuación.

Acondicionar las muestras en los frascos con su respectivo *headspace* y almacenarlas a las siguientes condiciones:

- Estabilidad preliminar: 24 h a 5 ± 2 ° C, seguido de 24 h a 40 ± 2 ° C. Repetir hasta completar un total de nueve ciclos.

- Prueba de estabilidad acelerada:
 - Refrigeración a 5 ± 2 ° C, por tres meses.
 - Estufa a 40 ± 2 ° C, por tres meses.
 - Temperatura ambiente (temperatura habitual del laboratorio) con exposición a la luz solar directa, por tres meses.
 - Temperatura ambiente (temperatura habitual del laboratorio) sin exposición a la luz solar, por tres meses.

Para cada muestra se evaluarán las características organolépticas, pH y viscosidad como se describe a continuación.

Para el caso de la prueba de estabilidad preliminar, las muestras se examinarán cada ciclo, las demás se evaluarán a los siete, catorce, veintiún y treinta días, y a los dos y tres meses. Todas estas evaluaciones deben realizarse por duplicado, como mínimo.

- Evaluación de las características organolépticas:

Describir la apariencia, color y olor.

- Evaluación del pH:

El pH debe encontrarse entre 3.8 a 5.5, que corresponde al punto isoeléctrico del cabello y el pH de la piel, respectivamente.

Algunos autores realizan esta medición directamente sobre el producto terminado, ya que al ser una emulsión del tipo O/W, el valor de la medición corresponde al de la fase continua, que es acuosa; sin embargo otros autores miden el pH de una dispersión de 1 o 2 g de producto en 30 o 40 mL de agua destilada. [86]

Una vez elegido el método de medición del pH (directo o en dilución), éste debe mantenerse constante en todas las evaluaciones subsecuentes.

- Evaluación de la viscosidad [64]:

El número de aguja y velocidad de torque deben elegirse de acuerdo al producto y el porcentaje de confiabilidad de lectura en el equipo, sin embargo, lo más común para las cremas fluidas y acondicionadores es utilizar la aguja no. 6 a 20 rpm. El número de aguja y la velocidad de torque deben permanecer constantes en todas los ensayos consecuentes.

La formulación fabricada corresponde a un fluido pseudoplástico, por lo que debe seguirse el procedimiento que se describe a continuación para evitar variaciones:

La muestra debe colocarse en un baño de agua a 25°C por treinta minutos o hasta el equilibrio. Cerrar el frasco y agitarlo vigorosamente por diez segundos.

Inmediatamente introducir la aguja del viscosímetro y permitir la rotación a la velocidad establecida, tomar la lectura de la viscosidad a los tres minutos.

6.2 EVALUACIÓN DE LA PROTECCIÓN UV

Como se explicó en capítulos anteriores, existen diversos métodos para cuantificar el daño producido por la radiación solar en el cabello; sin embargo la mayoría de éstos utilizan equipos complejos o reactivos ajenos al área de desarrollo de productos cosméticos. Por este motivo se propone una metodología alterna para evaluar la protección contra UV a través de la identificación del cambio de color en el cabello, que de manera brevemente explicada, consistirá en evaluar el color del cabello antes y después de la irradiación con luz ultravioleta en mechadas estandarizadas a las cuales se les aplicó una crema para peinar con filtro solar, una crema para peinar sin filtro o ningún tipo de producto.

La razón por la cual la evaluación no se llevará a cabo con panelistas, se debe a que la percepción de colores al ojo humano es subjetiva y depende de varios factores, como experiencias previas vividas por el espectador, los alrededores que rodean el objeto observado e incluso condiciones fisiológicas como el daltonismo.

Para evitar estas variaciones se medirá de manera exacta este cambio de color utilizando el software Photoshop, en el que se trabajarán con los siguientes espacios de color:

- Espacio de color HSB

Este espacio define el color en función de sus tres conceptos perceptibles para el ojo humano: tono, saturación y brillo. (Figura 6-1)

- Tono (*H, Hue*). Corresponde al color como tal; por ejemplo: naranja, verde, amarillo. Toma valores entre 0 ° y 359 °.
- Saturación (*S, Saturation*). Representa la pureza del color. Toma valores entre 0 % y 100 %. A un porcentaje más alto el color es más puro, mientras que a porcentajes bajos el tono se observa más grisáceo y decolorado.

- Brillo (*B*, *Brightness*). Representa la dualidad oscuridad-luz y toma valores entre 0 % y 100 %. Un valor bajo indica una tendencia al color negro, mientras que un valor cercano a 100 indica una tendencia al color blanco. [75]

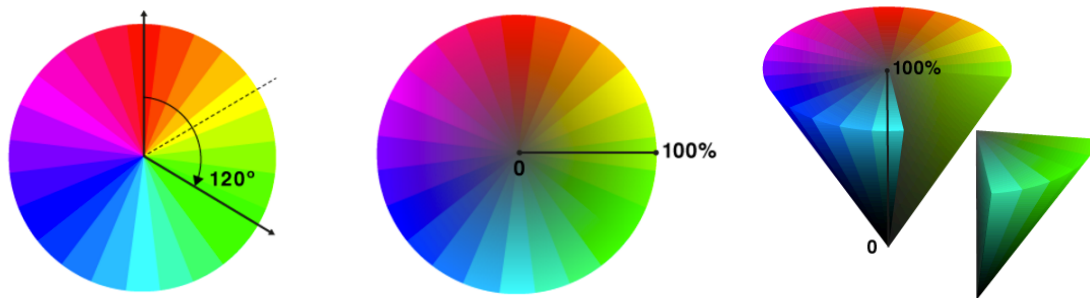


Figura 6-1. Espacio de color HSB. Comprende el tono (izquierda), saturación (centro) y brillo (derecha).

(Tomada de <http://proyectacolor.cl/aplicacion-del-color/modelos-de-color/modelo-hsb/>. 13 de agosto de 2018.)

- Espacio RGB

Tiene como fundamento la existencia de los colores primarios rojo, verde y azul percibidos por los conos de la retina del ojo humano, los cuales pueden superponerse para dar lugar a colores secundarios hasta llegar al blanco. (Figura 6-2).

Este modelo aplica para generar el color en dispositivos digitales como computadoras y televisiones. Desde el punto de vista digital, cada imagen está compuesta por una serie de puntos muy pequeños llamados píxeles, que pueden ser de color rojo, verde, azul o una mezcla de éstos:

- Color rojo (*R*, *Red*). Este parámetro toma valores del 0 al 255. El valor más bajo indica una ausencia de color rojo, mientras que el número más alto denota el color rojo más intenso que se puede cuantificar.
- Color verde (*G*, *Green*). Toma valores del 0 al 255. El valor más bajo indica una ausencia de color verde, mientras que el número más alto denota el color verde más intenso que se puede cuantificar.

- Color azul (*B, Blue*). Toma valores del 0 al 255. El valor más bajo indica una ausencia de color azul, mientras que el número más alto denota el color azul más intenso que se puede cuantificar.

A su vez, es posible identificar cada color existente a través de un código hexadecimal que se denota como #RRGGBB, donde cada letra toma un valor entre 0 y 9. Este código es único e irrepetible para cada color, por lo que pueden existir colores muy semejantes, pero jamás iguales. [76]

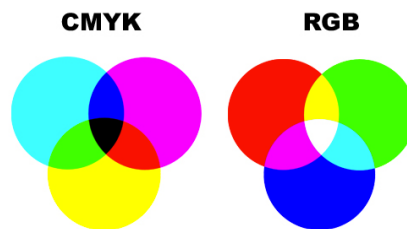


Figura 6-2. Espacio de color CMYK y RGB

(Tomada de <https://www.imprentaonline.net/CMYK.php>. 14 de agosto de 2018.)

- Espacio CMYK

Este espacio trabaja con los colores primarios cian, magenta, amarillo y negro (figura 6-2) y aplica para imágenes impresas en las cuales los tonos se componen de una mezcla de tintas de colores primarios. (Figura 6-3)

- Color cian (*C, Cyan*). Indica el porcentaje de tinta cian y toma valores de 0 a 100.
- Color magenta (*M, Magenta*). Indica el porcentaje de tinta magenta y toma valores de 0 a 100.
- Color amarillo (*Y, Yellow*) Indica el porcentaje de tinta amarilla y toma valores de 0 a 100.
- Color negro (*K, Key*). Indica el porcentaje de tinta cian y toma valores de 0 a 100. Si bien es cierto que en este espacio de color la combinación de las tres tintas primarias origina teóricamente al color negro, en la vida real es difícil conseguir un negro *absoluto*, por lo que se decidió incorporarlo de manera directa en el espacio de color. [77]

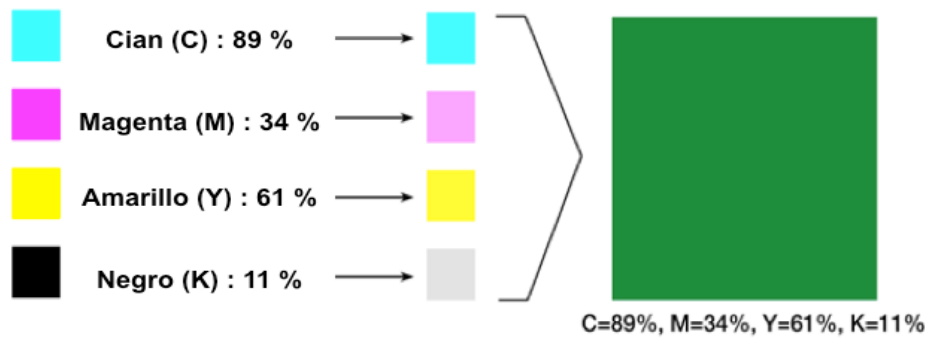


Figura 6-3. Obtención de un color en el espacio CMYK

(Tomada de <http://proyectacolor.cl/aplicacion-del-color/modelos-de-color/modelo-cmyk/>. 14 de agosto de 2018. Modificada por Espinoza C.)

- Sistema Pantone

Los colores observados en una pantalla pueden variar dependiendo de la marca del equipo o si ésta se encuentra o no calibrada, así pues un color visto a través de una pantalla raramente será exactamente el mismo una vez que lo estemos observando en físico (es decir, en una impresión o un producto).

Para cubrir esta necesidad nace el sistema Pantone, que permite identificar, comparar e igualar el color digital con el color impreso a través de las llamadas *pantoneas* o *pantonarios*. Estas pantoneas son muestrarios de color impresos en tarjetas que contienen la fórmula para igualar el color, ya sea utilizando valores en RGB o CMYK, o incluso en gramos, si se tratase de pigmentos. (Figura 6-4)

En este caso, se trabajará con el Pantone +CMYK coated, que es un guía de 2868 colores diferentes impresa sobre papel brillante que permitirá comparar las similitudes o diferencias de color entre dos muestras. [78, 79]



Figura 6-4. Pantonera. Las pantoneras permiten comparar colores (izquierda) e incluso igualarlos a través de sus valores en RGB o CMYK (derecha).

(Tomada de https://www.microgamma.com/pantone/CMYK_coated-uncoated_new.php. 15 de agosto de 2018).

6.2.1 Materiales para la evaluación de la protección UV

- Lámpara ultravioleta modelo UVP 302 nm (u otra con emisión en el intervalo UV)
- Balanza analítica
- Peine de dientes finos
- Cronómetro
- Toalla
- Secadora de cabello
- Solución de lauril éter sulfato de sodio (LESS) al 10 %
- Mechas de cabello virgen color castaño de (1 x 8) in (una por cada formulación a evaluar)
- Cámara de irradiación (caja de zapatos forrada en el interior con papel aluminio)
- Cámara fotográfica digital

6.2.2 Procedimiento para la evaluación de la protección UV

Para asegurar una irradiación más homogénea del cabello durante la evaluación, forrar el interior de la caja de cartón con papel aluminio, cuidando que éste quede lo más liso posible y con el lado brillante expuesto hacia fuera (es decir, visible).

Lavar las mechas con 1 mL de la solución de LESS durante un minuto y enjuagar con agua durante un minuto. Permitir que sequen a la intemperie y tomar una fotografía de su estado inicial (ver anexo 1).

Humedecer ligeramente la mecha y colocar 0.35 g de formulación distribuyéndola homogéneamente. Secar completamente con secadora.

Colocar las mechas en la cámara de irradiación y exponer a la lámpara UV durante un lapso de 8 h. Posteriormente repetir el lavado, aplicación del producto y secado para exponer nuevamente a la radiación. Repetir los pasos anteriores hasta acumular un tiempo de exposición determinado. Finalizada la exposición, registrar el aspecto final por medio de fotografías (ver anexo 1).

Evaluar el color entre el antes y después de acuerdo a lo descrito en el anexo 2.

- Anexo 1: Toma de fotografías

Con la cámara digital ajustada a la máxima resolución posible, tomar las fotografías del antes y después de la irradiación sobre un fondo contrastante, procurando que el color del cabello se vea lo más homogéneo posible (figura 6-5). Para este propósito, se recomienda el esquema de iluminación de la figura 6-6. El esquema de iluminación debe mantenerse constante para todas las fotografías y deben evitarse las fuentes de iluminación natural para reducir al máximo la variación.

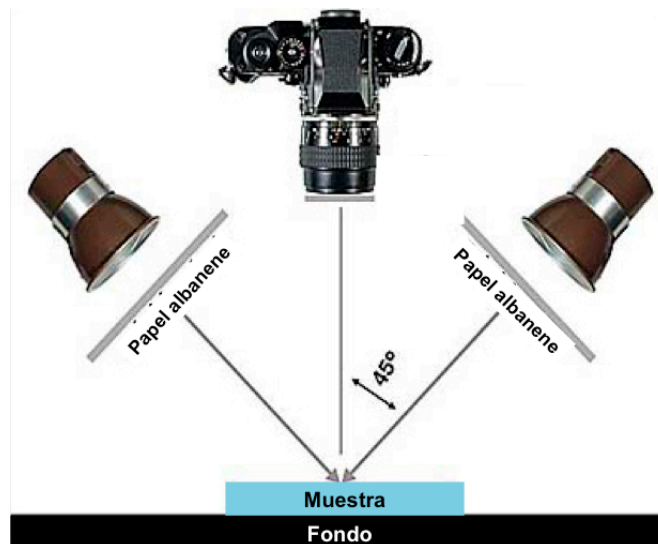


Figura 6-5. Esquema de iluminación para la toma de fotografías. La muestra debe colocarse sobre un fondo blanco y las lámparas o focos, cubiertos con papel albanene, deben colocarse en ángulo de 45° respecto a la cámara. La posición de los elementos debe ser siempre la misma.

(Tomada de <http://www.plantpath.cornell.edu/PhotoLab/PolarizedLighting.htm>. 14 de agosto de 2018. Modificada por Espinoza C.)

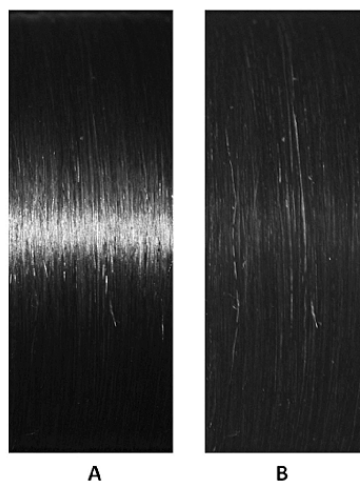


Figura 6-6. Ejemplo de cómo deben observarse las fotografías resultantes. Debe evitarse tomar una fotografía como la de la izquierda (A) en las que existan zonas de luz y sombra; por el contrario deben buscarse imágenes como la de la derecha (B) en la que el color sea lo más homogéneo posible.

(Tomada de <https://www.tursiops-biology.com/how-i-successfully-organized-my-very-own-brown-hair-colour-chart-shades-51528/beautiful-dark-brown-hair-color-chart-hair-pinterest-colour-6/>. 14 de agosto de 2018. Modificada por Espinoza C.)

- Anexo 2: Evaluación del color de las mechas

Utilizando algún software de edición de imágenes es posible establecer una descripción del color por medio de códigos irrepetibles y únicos, lo cual permitirá determinar si existe alguna diferencia entre el antes y el después que el cabello sea expuesto a la radiación y si el producto formulado con el filtro UV es un protector eficaz contra la radiación.

Una vez se las fotografías como se describe en el anexo 1, abrir las imágenes en Photoshop y seleccionar una sección de 101x101 píxeles, cuidando que la zona de muestreo sea la misma en todas las fotografías que se evalúen. En la pantalla, hacer doble click en el “color frontal” y aparecerá un recuadro como el de la figura 6-7. Registrar todos los valores numéricos para las comparaciones de diferencias de color entre las diversas muestras. En el mismo recuadro, se selecciona “biblioteca de colores” y a continuación se selecciona en el menú desplegable la opción “Pantone+CMYK coated”. El color que aparezca seleccionado en el recuadro negro es la aproximación más cercana al tono real del cabello. (Figura 6-8). Realizar el procedimiento.

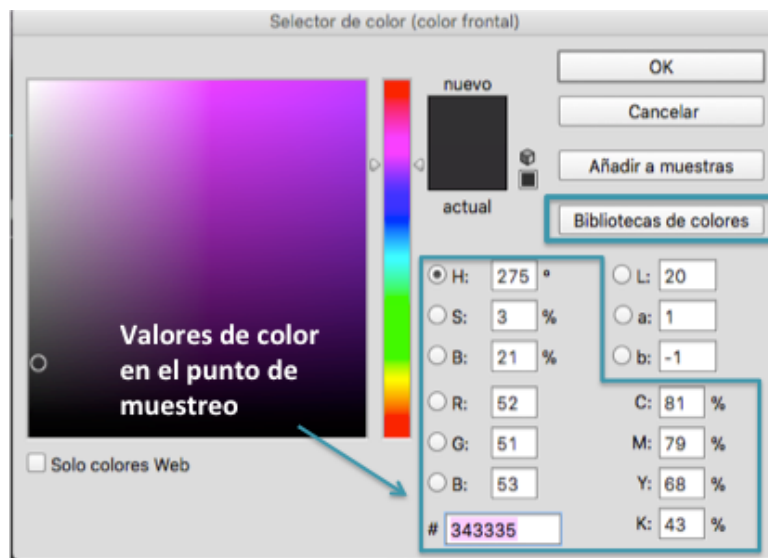


Figura 6-7. Valores del color seleccionado

(Figura creada por Espinoza C. 2018)



Figura 6-8. Equivalencia del color seleccionado en el Sistema Pantone

(Figura creada por Espinoza C. 2018)

6.3 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DURANTE LA APLICACIÓN

Una crema para peinar es un producto que cuenta con características tanto de tratamiento, como de estilizado. Por ello se busca formular un producto que le otorgue una fijación ligera al cabello a la vez que lo deje suave y manejable.

Esta evaluación también debe ejecutarse a la par de las pruebas de estabilidad y generalmente se lleva a cabo utilizando un equipo de panelistas entrenados que evalúa diversos productos en ciego para llegar a un promedio de resultados.

En el caso de una crema para peinar, lo más usual es comparar parámetros como la peinabilidad, la suavidad, la estática y la memoria de rizo.

6.3.1 Materiales para la evaluación del desempeño

- Mechas de cabello de (1 x 8) in (dos mechass por cada formulación a evaluar
- Solución de lauril éter sulfato de sodio (LESS) al 10 %
- Peine de dientes finos
- Toalla
- Secadora de cabello
- Pasadores

- Tubos de plástico para rizar el cabello de 5 cm de diámetro
- Procedimiento para la evaluación del desempeño durante la aplicación

6.3.2 Procedimiento para la evaluación del desempeño en la aplicación

La mecha se lava con 1 mL de LESS al 10 %, tallándola durante un minuto y enjuagándola con agua un minuto más. Se elimina el exceso de agua con una toalla y se colocan 0.35 g de la crema para peinar evaluada y se extiende el producto en todo el cabello. Se evalúan las dos primeras características de la tabla 6-1. Posteriormente se seca el cabello completamente con la secadora y se prosigue a realizar las pruebas restantes de la tabla 6-1.

Tabla 6-1. Evaluación de la aplicación del producto. [80]

Parámetro	Escala de Evaluación
Peinabilidad en húmedo Evaluar la facilidad de pasar el peine por el cabello húmedo.	5. Excelente (el peine no se detiene) 4. Muy bueno (el peine pasa fácilmente) 3. Bueno 2. Malo (dificultad para pasar el peine) 1. Muy malo (no se puede pasar el peine)
Suavidad en húmedo Deslizar los dedos por el cabello evaluando el acondicionamiento de toda la hebra, incluyendo las puntas.	5. Excelente (cabello sedoso y acondicionado) 4. Muy bueno 3. Bueno 2. Malo 1. Muy malo (cabello áspero y seco)
Peinabilidad en seco Evaluar la facilidad de pasar el peine por el cabello seco.	5. Excelente (el peine no se detiene) 4. Muy bueno (el peine pasa fácilmente) 3. Bueno 2. Malo (dificultad para pasar el peine) 1. Muy malo (no se puede pasar el peine)
Brillo Evaluar visualmente cuánto brillan las mechas.	5. Muy brillante 4. Brillante 3. Moderadamente brillante 2. Brillo ligero 1. Opaco
Suavidad en seco Deslizar los dedos por el cabello evaluando el acondicionamiento de toda la hebra, incluyendo las puntas.	5. Excelente (cabello sedoso y acondicionado) 4. Muy bueno 3. Bueno 2. Malo 1. Muy malo (cabello áspero y seco)

6.3.3 Procedimiento para la evaluación del estilizado

Se lava la mecha, se seca con toalla y se aplica producto como se describe en el paso anterior. Se sujeta la mecha por las puntas y comienza a enrollarse alrededor del tubo rizador, cuidando de formar un rizo lo más homogéneo y apretado posible y se asegura con pasadores. Se deja secar el cabello a la intemperie. Se evalúan las características descritas en la tabla 6-2.

Tabla 6-2. Evaluación del estilizado en cabello seco. [81]

Parámetro	Escala de Evaluación
Brillo Evaluar visualmente cuánto brillan las mechas.	5.Muy brillante 4.Brillante 3.Moderadamente brillante 2.Brillo ligero 1.Opaco
Residuo en el cabello Estirar suavemente la mecha con los dedos y evaluar visualmente el residuo en el frente y reverso.	5.Sin residuo 4.Residuo muy ligero 3.Residuo moderadamente visible 2.Residuo visible (apariencia polvosa del cabello) 1.Residuo muy visible (hojuelas en el cabello)
Dureza Comprimir el rizo entre los dedos y evaluar la dureza.	5.Muy duro 4.Duro 3.Moderadamente duro 2.Suave 1.Muy suave
Flexibilidad Sujetar la mecha por la base, colocar los dedos en el centro de el rizo y suavemente estirla por completo, entonces liberar.	5.Muy flexible (como resorte) 4.Flexible 3.Moderadamente flexible 2.Poco flexible 1.Nada flexible
Resistencia al peinar Sujetar la mecha por la base, peinar toda la mecha hacia abajo con el peine de dientes finos.	5.Sin resistencia al peinar (como cabello sin producto) 4.Ligeramente resistente al peinar 3.Moderadamente resistente al peinar 2. Resistente al peinar 1.Muy resistente al peinar
Residuo al peinar Observar el peine tras realizar la evaluación del paso anterior.	5.Sin residuo 4.Residuo muy ligero 3.Residuo moderadamente visible 2.Residuo visible (apariencia polvosa en el peine) 1.Residuo muy visible (hojuelas en el peine)

Tabla 6-2. Evaluación del estilizado en cabello seco. [81]

Parámetro	Escala de Evaluación
Memoria de rizo Peinar cinco veces la mecha con el peine de dientes finos. Remarcar el rizo y evaluarlo.	5.Rizo muy compacto (regresa a su forma original) 4.Rizo medianamente compacto 3.Ondulado (parece más onda que rizo) 2.Lacio 1.Muy lacio
Estática Peinar las mechas 3 veces con el peine de dientes finos y evaluar la estática.	5.Sin estática (no existe <i>flyaway</i>) 4.Estática muy ligera (poco <i>flyaway</i>) 3.Estática ligera 2.Estática considerable (mucho <i>flyaway</i>) 1.Mucha estática (toda la mecha tiene <i>flyaway</i> , el cabello es difícil de manipular tras la primera cepillada)

CONCLUSIONES

De las tres grandes secciones que conforman el cabello, la médula, el córtex y la cutícula, ésta última es la de mayor importancia desde el punto de vista cosmético pues es la estructura que recibe un mayor daño ambiental, por ser la parte más externa, y de ella depende el aspecto saludable del cabello, su brillo y suavidad.

A través de diversos estudios se ha encontrado una estrecha relación entre la radiación solar y el daño en el cabello, que lo afecta a nivel de la fibra, cutícula, proteínas y lípidos. Aunque los daños a cada una de estas estructuras se han estudiado como independientes, éstos trascienden y afectan a más de un componente, por lo que la alteración a sus propiedades (peinabilidad, brillo, fuerza y color) es el resultado del daño simultáneo a más de una estructura.

Existen diversas opciones de fotoprotección para el cabello y una de ellas es el uso de filtros solares. Aunque es posible incorporar los filtros solares para piel en un producto capilar, la funcionalidad y el desempeño se ven afectados, puesto que no existe una buena sustentividad a la fibra y el cabello quedaría con una apariencia grasa. El DimethylPABAamidopropyl Laurdimonium Tosylate es un filtro solar específico para cabello, que muestra una alta sustentividad a la hebra del cabello por la formación de puentes de hidrógeno con la queratina; y tiene un máximo de absorción entre 230 y 300 nm, por lo que también se evita la degradación del triptófano y la ruptura de enlaces disulfuro de los aminoácidos y proteínas; pues como se revisó en este trabajo, éstas absorben radiación entre los 254 y 400 nm.

Las cremas para peinar son emulsiones del tipo O/W, en las cuales el tipo de ingrediente incorporado es muy importante para su desempeño y funcionalidad; entre ellos deben figurar emulsificantes catiónicos que estabilicen la emulsión y alineen la fibra capilar, agentes acondicionadores lipofílicos y siliconas que impartan suavidad y faciliten la peinabilidad y en este caso en concreto, un filtro solar.

En este trabajo se propuso una formulación de crema para peinar con Quaternium-70 como emulsificante catiónico, Cetyl alcohol y Cetearyl alcohol como acondicionadores lipofílicos y co-emulsificantes; Dimethicone, Dimethiconol y Ciclopentasiloxane como siliconas acondicionadoras y DimethylPABAamidopropyl Laurdimonium Tosylate como filtro solar. Para establecer el método de fabricación de esta emulsión, se revisaron los parámetros críticos que influyen en la estabilidad de las mismas, tales como la temperatura de calentamiento, la velocidad de agitación y el orden de adición de los ingredientes.

Así mismo se propuso una metodología alternativa a la revisada en la bibliografía para evaluar el desempeño del producto contra la radiación UV, midiendo las diferencias en el color del cabello antes y después de ser expuesto a esta radiación, tras aplicar la crema para peinar con el filtro solar. Esta metodología es similar a la espectrofotometría por reflectancia difusa (Diffuse Reflectance Spectrofotometry, DSR) al basarse en el cambio del color del cabello, sin embargo la diferencia principal entre ambas, recae en el equipo necesario para realizar esta evaluación, pues mientras la DSR hace uso de equipos costosos y de difícil acceso, la metodología aquí propuesta utiliza equipos accesibles como una cámara fotográfica y el software Photoshop.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Buffoli, B., Rinaldi, F., Labanca, M., Sorbellini, E., Trink, A., Guanziroli, E., Rezzani, R. and Rodella, L. (2013). The human hair: from anatomy to physiology. *International Journal of Dermatology*, 53(3), pp.331-341.
2. Fernández, E., Barba, C., Alonso, C., Martí, M., Parra, J. and Coderch, L. (2012). Photodamage determination of human hair. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 106, pp.101-106.
3. Santos Nogueira, A. and Joeques, I. (2004). Hair color changes and protein damage caused by ultraviolet radiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 74(2-3), pp.109-117.
4. Draelos, Z. (2006). Sunscreens and Hair Photoprotection. *Dermatologic Clinics*, 24(1), pp.81-84.
5. Dario, M., Baby, A. and Velasco, M. (2015). Effects of solar radiation on hair and photoprotection. *Journal of Photochemistry and Photobiology: Biology*, 153, pp.240-246.
6. Richena, M. and Rezende, C. (2015). Effect of photodamage on the outermost cuticle layer of human hair. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 153, pp.296-304.
7. Nogueira, A., Richena, M., Dicelio, L. and Joeques, I. (2007). Photo yellowing of human hair. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 88(2-3), pp.119-125.
8. Robbins, C. (2002). *Chemical and physical behavior of human hair*. 4th ed. Clermont, Florida: Springer.
9. Nogueira, A., Dicelio, L. and Joeques, I. (2006). About photo-damage of human hair. *Photochem. Photobiol. Sci.*, 5(2), pp.165-169.
10. Lee, W. (2011). Integral hair lipid in human hair follicle. *Journal of Dermatological Science*, 64(3), pp.153-158.
11. Herrling, T., Jung, K. and Fuchs, J. (2008). The role of melanin as protector against free radicals in skin and its role as free radical indicator in hair. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 69(5), pp.1429-1435.

12. Fernández, E., Martínez-Teipel, B., Armengol, R., Barba, C. and Coderch, L. (2012). Efficacy of antioxidants in human hair. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 117, pp.146-156.
13. Swift, J., Chahal, S., Coulson, D., Challoner, N. (2014). Flexabrasion: A Method for Evaluating Hair Strength. *Cosmetics and Toiletries*, 129(5), pp.38-45.
14. Lowe, N. (2006). An Overview of Ultraviolet Radiation, Sunscreens, and Photo-Induced Dermatoses. *Dermatologic Clinics*, 24(1), pp.9-17.
15. Voet, D. y Voet, J. (2004). Bioquímica. Tercera edición. Montevideo: Editorial Médica Panamericana.
16. CANIPEC. (2016). *Curvas peligrosas, conoce tu tipo de cabello rizado*. [recurso en línea] Disponible en: <http://canipec.org.mx/belleza-y-bienestar/curvas-peligrosas-conoce-tipo-cabello-rizado/> [Acceso 19 Ene 2018].
17. Fedorkova, M., Smolina, N., Mikhalchik, E., Balabushevich, N., Ibragimova, G., Gadzhigoroeva, A., Dmitrieva, E. and Dobretsov, G. (2014). Effects of ultra violet radiation on the soluble proteins of human hair. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 140, pp.390-395.
18. Dario, M., Pahl, R., de Castro, J., de Lima, F., Kaneko, T., Pinto, C., Baby, A. and Velasco, M. (2013). Efficacy of Punica granatum L. hydroalcoholic extract on properties of dyed hair exposed to UVA radiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 120, pp.142-147.
19. Velasco, M., Dias, T., Freitas, A., Júnior, N., Pinto, C., Kaneko, T. and Baby, A. (2009). Hair fiber characteristics and methods to evaluate hair physical and mechanical properties. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 45(1), pp.153-162.
20. Bhushan, B. (2008). Nanoscale characterization of human hair and hair conditioners. *Progress in Materials Science*, 53(4), pp.585-710.
21. Matts, P. (2006). Solar Ultraviolet Radiation: Definitions and Terminology. *Dermatologic Clinics*, 24(1), pp.1-8.
22. BYK-Gardner GmbH. *Introducción al Brillo*. Brochure.

23. Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, Laboratorio de microscopía FE-SEM. Principios generales de la Microscopía Electrónica de Barrido (Scanning Electron Microscope, SEM). Cartel.
24. López, E., Solares, S. (2014). El microscopio de fuerza atómica: métodos y aplicaciones. *Revista UVG*. 28. pp.14-23.
25. Courage + Khazaka electronic GmbH. (2017). *Skin- Glossymeter GL 200*. Brochure.
26. Harris, D. and Balahura, R. (2007). Análisis químico cuantitativo. Tercera edición. Barcelona: Reverté.
27. Torrent, J. and Barrón, V. (2008). Diffuse Reflectance Spectroscopy. In: *Methods of Soil Analysis. Part 5. Mineralogical Methods..* Madison: Soil Science Society of America.
28. Weckhuysen B.M., Heidler R., Schoonheydt R.A. (2004) Electron Spin Resonance Spectroscopy. En: Karge H.G., Weitkamp J. (eds) *Characterization I. Molecular Sieves – Science and Technology*, vol 4. Springer, Berlin, Heidelberg.
29. Texturolab. (2017). *Analizadores de textura*. [recurso en línea] Disponible en: <http://texturolab.com/v2017/analizadores-de-textura/> [Acceso 4 Mar. 2018].
30. Trüeb, R. y Tobin, D. (2010). *Aging hair*. 1º ed. Nueva York: Springer.
31. Moreno Yáñez, J. (2017). *Propuesta de metodologías para la evaluación de desempeño de un producto reparador de puntas abiertas en mechas estandarizadas y panelistas*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México.
32. Solano Peralta, A. (n.d.). *Espectroscopía de Resonancia Paramagnética Electrónica*.
33. Iquimica.unam.mx. (2016). *Resonancia Paramagnética*. [Recurso en línea] Disponible en: <http://www.iquimica.unam.mx/labserv?id=179> [Acceso 12 Feb. 2018].
34. NOM-141-SSA1/ SCFI-2012, Etiquetado para productos cosméticos preenvasados. Etiquetado sanitario y comercial. Publicada en el Diario Oficial de la Federación de diecinueve de septiembre de 2012.

35. Gómez- Zorrilla Sanjuán, J. (2013). *Cómo elaborar un briefing de marketing*. [Recurso en línea] La Cultura del Marketing. Disponible en: <https://laculturadelmarketing.com/como-elaborar-un-briefing-de-marketing/> [Acceso 5 Feb. 2018].
36. CANIPEC. *Código COSMEP 2.0*.
37. CANIPEC. (2017). *Estadísticas - Sector del Cuidado Personal en México*. [Recurso en línea] Disponible en: <http://canipec.org.mx/estadisticas/> [Acceso 2 Feb. 2018].
38. NOM-089-SSA1-1994, Métodos para la determinación del contenido microbiano en productos de belleza. Publicada en el Diario Oficial de la Federación de veinticinco de septiembre de 1995.
39. Mundo Ejecutivo. (2014). *México cada vez más bello*. [Recurso en línea] Available at: <http://mundoejecutivo.com.mx/economia-negocios/2014/07/22/mexico-cada-vez-mas-bello> [Acceso 2 Feb. 2018].
40. Colipa, *Cosmetics Europe: Guidelines for the Evaluation of the Efficacy of Cosmetic Products*, Tercera edición, 2008.
41. Felton, L. (2012). *Remington Essentials of Pharmaceutics*. Londres: Pharmaceutical Press.
42. COFEPRIS. (2017). *Normas oficiales mexicanas para cosméticos*. [Recurso en línea] Disponible en: <http://www.cofepris.gob.mx/MJ/Paginas/Normas-Oficiales-Mexicanas.aspx>. [Acceso: 5 Feb 2018]
43. PROY-NOM-259-SSA1-2014, Buenas prácticas de fabricación en productos cosméticos.
44. Monteiro, V., Natal, A., Soledade, L. and Longo, E. (2003). Morphological analysis of polymers on hair fibers by SEM and AFM. *Materials Research*, [Recurso en línea] 6(4), pp.501-506. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392003000400013> [Acceso 28 Feb. 2018].
45. Migueles Pérez, L. (2015). *Propuesta de formulación de un gel capilar*. Trabajo monográfico de actualización de Licenciatura. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México.

46. Rieger M, Martin. 2013. Emulsions. En *Lachman/Lieberman's the Theory and Practice of Industrial Pharmacy*, 502-33. Estados Unidos: CBS Publishers.
47. Barel, A., Paye, M., Maibach, H. (2009). *Handbook of Cosmetic Science and Technology*. Tercera ed. Nueva York: Informa Healthcare.
48. Maibach, H., Sakamoto, K., Maibach, H. and Yamashita, Y. (2017). *Cosmetic Science and Technology: Theoretical Principles and Applications*. Primera ed. Elsevier.
49. Nielloud, F., Marti- Mestres, G. (2000). *Pharmaceutical Emulsions and Suspensions*. Segunda ed. Nueva York: Marcel Dekker, Inc.
50. Florence, A. and Attwood, D. (2006). *Physicochemical principles of pharmacy*. Cuarta ed. Londres: Pharmaceutical Press.
51. Marino, H. (2010). *Phase inversion temperature emulsification: from batch to continuous process*. Tesis para candidatura de Doctorado. Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Bath.
52. Centre of Industrial Rheology. (2018). *Rheology Testing of Hair Conditioners*. [Recurso en línea] Available at: <http://www.rheologylab.com/articles/cosmetic-personal-care/rheology-testing-conditioners/> [Acceso 25 May 2018].
53. Gavazzoni Dias, M., Pichler, J., Adriano, A., Cecato, P. and de Almeida, A. (2014). The shampoo pH can affect the hair: Myth or Reality?. *International Journal of Trichology*, 6(3), p.95.
54. Rowe, R., Sheskey, P. and Quinn, M. (2009). *Handbook of pharmaceutical excipients*. 6th ed.
55. WHO good manufacturing practices: water for pharmaceutical use. En WHO Expert Committee on Specifications for Pharmaceutical Preparations. Reporte 970. Génova, Organización Mundial de la Salud, 2005, Annex 3 (WHO Technical Report Series, No. 970).
56. Mahajan, P. (2016). Advancements in polymers used in hair care: review. *International Journal of Research in Cosmetic Science*, 6(1), pp.6-16.
57. Ashland Global Specialty Chemicals Inc. (2017). *Hair styling selection guide Brochure*.

58. Kuan Lem, T. and Houben, R. (2014). Selecting the perfect silicone for your formulation. *Personal Care*, pp.45- 48.
59. Urrutia, A. (2011) Silicone: The Basis of a Perfect Formulation for Hair Care. Ciudad de México: Dow Corning de México S.A. de C.V.
60. Clariant. (2009). *Preservatives for personal care*. Brochure.
61. Tadros, T. F. (2013). Emulsion Formation, Stability, and Rheology. En *Emulsion Formation and Stability*, T. F. Tadros (Ed.).
62. Gavazzoni Dias, M. (2015). Hair cosmetics: An overview. *International Journal of Trichology*, 7(1), p.2.
63. Millard, JW., Alvarez-Núñez, FA., Yalkowsky, SH. (2002). Solubilization by cosolvents: Establishing useful constants for the log-linear model. *International Journal of Pharmaceutics*, 245(1-2), pp. 153-166.
64. Ashland Global Specialty Chemicals Inc. *Natrosol Hydroxyethylcellulose: A nonionic water soluble polymer Brochure*.
65. ISP Sutton Laboratories. *Ceraphyl 70 Brochure*.
66. Deckner, G. (2018). *Lamellar Gel Network Technology | Prospector*. [Recurso en línea] Prospector Knowledge Center. Disponible: <https://knowledge.ulprospector.com/4712/pcc-lamellar-gel-network-technology-a-primer/> [Acceso 8 Jun. 2018].
67. ISP Sutton Laboratories (1995). *Quaternary salts of dialkylaminobenzamides*. Patente 5,427,773.
68. ISP Sutton Laboratories. (2004). *Escalol HP Brochure*.
69. Ashland Global Specialty Chemicals Inc. (2013). *Ceraphyl SLK ester Brochure*.
70. Guillaume, D., Charrouf Z. (2011). Argan oil. *Alternative Medicine Review*, 16(3), pp. 275-279.
71. Faria, P., Camargo, L., Carvalho, R., Paludetti, L., Velasco, M. and Gama, R. (2013). Hair Protective Effect of Argan Oil (*Argania spinosa* Kernel Oil) and Cupuassu Butter (*Theobroma grandiflorum* Seed Butter) Post Treatment with Hair Dye. *Journal of Cosmetics, Dermatological Sciences and Applications*, 3(3), pp.40-44.
72. ISP Sutton Laboratories. *Liquid Germall Plus Brochure*.

73. MakingCosmetics. (n.d.). *INCI list*. [Recurso en línea] Available at: <http://www.makingcosmetics.com/articles/inci-list.pdf> [Acceso 13 Feb. 2018].
74. ANVISA. (2005). *Guía de estabilidad de productos cosméticos*.
75. Proyectacolor. (2018). *Modelo CMYK*. [Recurso en línea] Available at: <http://proyectacolor.cl/aplicacion-del-color/modelos-de-color/modelo-hsb/> [Acceso 13 Ago. 2018].
76. Proyectacolor. (2018). *Modelo CMYK*. [Recurso en línea] Available at: <http://proyectacolor.cl/aplicacion-del-color/modelos-de-color/modelo-rgb/> [Acceso 14 Ago. 2018].
77. Proyectacolor. (2018). *Modelo CMYK*. [Recurso en línea] Available at: <http://proyectacolor.cl/aplicacion-del-color/modelos-de-color/modelo-cmyk/> [Acceso 14 Ago. 2018].
78. El Estudio. (2014). *¿Qué Pantone debo usar?*. [Recurso en línea] Available at: <http://elestudio.com/que-pantone-de-usar/> [Acceso 14 Ago. 2018].
79. Microgamma. (2018). *Combinaciones de colores CMYK Coated & Uncoated*. [Recurso en línea] Available at: https://www.microgamma.com/pantone/CMYK_coated-uncoated_new.php [Acceso 15 Ago. 2018].
80. Ashland Global Specialty Chemicals Inc. *Evaluación subjetiva en mechas, shampoo & acondicionador*. Guía interna.
81. Ashland Global Specialty Chemicals Inc. *Evaluación de características de styling*. Guía interna.
82. Van Abbe, N. (1974). The substantivity of cosmetic ingredients to the skin, hair and teeth. *Journal of the society of cosmetic chemists*, 25(1), pp.23-31.
83. M. Eccleston, G. (2002). Emulsions and microemulsions. In: J. Swarbrick and J. Boylan, ed., *Encyclopedia of Pharmaceutical Technology*. Segunda edición. Marcel Dekker, pp.1066-1085.
84. Myers, D. (2006). *Surfactant science and technology*. Tercera edición. Hoboken: Wiley- Interscience.
85. Rhein, L. and Rieger, M. (1997). *Surfactants in cosmetics*. Segunda

edición. Nueva York: Marcel Dekker.

86. Fernández Montes, E. (2003). Control de calidad, fórmulas dermatológicas. *Farmacia profesional*, 17, pp.70-75.
87. Aulton, M. and Taylor, K. (2018). *Aulton's pharmaceuticals: The design and manufacture of medicines*. Quinta edición. Edimburgo: Elsevier.