

Anhydrous Cosmetic Formulation: An Approach to Sustainable Production and Photoprotective Effectiveness

María Alejandra Rodríguez¹; Michelle Altuve¹; Albani Testi¹

¹Universidad Metropolitana, Venezuela, marodriguezded@unimet.edu.ve, michelle.altuve@correo.unimet.edu.ve, atesti@correo.unimet.edu.ve

Abstract— This research focuses on the development of a solid stick sunscreen designed to provide effective photoprotection through a practical application format. The methodology followed three main stages: (1) selection of UV filters and components using BASF's Sunscreen Simulator to estimate the theoretical Sun Protection Factor (SPF), fostering innovation in the cosmetic industry (SDG 9); (2) establishment of the formulation and manufacturing of the solid prototype; and (3) a comparative analysis of physicochemical and sensory properties between the formulated product and a commercial liquid sunscreen. Physicochemical characterization (pH, dropping point) and microbiological testing were conducted to ensure safety using the preservative Euxyl PE 9010. Furthermore, a sensory evaluation assessed texture, scent, color, application, and skin feel. Key results demonstrate that the synergy between physical filters (titanium dioxide and zinc oxide) and chemical filters (Uvinul A Plus, Uvinul MC 80, and Uvinul T 150) ensures broad-spectrum protection, contributing to public health (SDG 3). The formulated sunscreen exhibited a pH of 6.71, a dropping point of 76 °C, and a mesophilic aerobic count of 50 CFU/g, validating its stability and safety. Sensory analysis revealed a high preference for the prototype, with participants only suggesting a more intense aroma. The solid format eliminates the need for water in the formulation and extends shelf life, aligning with sustainable production practices (SDG 12). This study validates the efficacy and stability of the stick format as a viable, sustainable alternative to traditional liquid formulations.

Keywords—Sunscreen, Stick formulation, Sunscreen filters, Photoprotection, Sensory evaluation.

Formulación cosmética anhidra: Un enfoque hacia la producción sostenible y la eficiencia fotoprotectora

Maria Alejandra Rodríguez¹; Michelle Altuve¹; Albani Testi¹

¹Universidad Metropolitana, Venezuela, marodriguezded@unimet.edu.ve, michelle.altuve@correo.unimet.edu.ve, atesti@correo.unimet.edu.ve

Resumen– La investigación desarrolla un protector solar sólido en barra para ofrecer fotoprotección eficaz con aplicación práctica. Con este fin, (1) se seleccionaron los filtros solares y componentes de la formulación, empleando el software *Sunscreen Simulator* de BASF para estimar el factor de protección solar teórico (FPS), impulsando la innovación en la industria cosmética (ODS 9), así como la selección de un protector solar comercial; (2) se establece la formulación y se elabora el protector solar en barra; (3) se lleva a cabo un análisis comparativo de propiedades fisicoquímicas y sensoriales entre ambos productos (formulado-comercial), lo que implicó su caracterización fisicoquímica (pH, punto de goteo) y microbiológica para validar su seguridad, utilizando el conservante Euxyl PE 9010; así como la evaluación sensorial para determinar la aceptación del prototipo, evaluando textura, olor, color, aplicación y sensación en la piel. Como resultados destacan que la sinergia entre filtros físicos (dióxido de titanio y óxido de zinc), y filtros químicos (Uvinul A Plus, Uvinul MC 80 y Uvinul T 150), garantizan una protección solar de amplio espectro y reducen el impacto de la radiación UV, contribuyendo a la salud pública (ODS 3). El protector solar formulado se caracteriza por tener un pH de 6,71 y un punto de goteo de 76 °C, donde el contenido de aerobios mesófilos fue de 50 UFC/g, lo que valida su seguridad. En el análisis sensorial destaca una alta preferencia por el protector formulado, salvo la sugerencia de intensificar su aroma. Su formato sólido elimina la necesidad de agua en la formulación y prolonga la vida útil del producto, alineándose con prácticas de producción sostenibles (ODS 12). Este enfoque validó la estabilidad y eficacia del protector solar en barra en comparación con las formulaciones líquidas comerciales.

Palabras clave– Protector solar, Formulación en barra, Filtros solares, Fotoprotección, Evaluación sensorial.

I. INTRODUCCIÓN

El uso del protector solar es fundamental para preservar la salud cutánea, ya que su formulación incluye filtros solares capaces de mitigar los efectos dañinos de la radiación ultravioleta (UV). Los filtros físicos actúan reflejando y dispersando los rayos UV, mientras que los filtros químicos absorben la radiación, transformándola en energía térmica [1]. La sinergia entre ambos tipos de filtros optimiza la protección; donde la combinación entre los filtros físicos dióxido de titanio y óxido de zinc bloquea eficazmente los rayos UVA y UVB [2]. El filtro químico *Diethylamino hydroxybenzoylhexyl benzoate* (Uvinul A Plus) es un fotoestabilizador más eficaz y estable que otros, como la *Avobenzone*; este contribuye a una formulación segura previniendo la formación de radicales libres, reduciendo la posibilidad de irritación y otros efectos adversos en la piel [3].

Los protectores solares se elaboran en formatos como cremas, lociones, hidrogeles y barras. La presentación en barra, al ser anhidra, ofrece ventajas significativas, como mayor estabilidad química y menor riesgo de contaminación microbiológica [4].

El estudio evalúa la viabilidad de desarrollar un protector solar en barra que ofrezca una protección UV equivalente a las formulaciones líquidas considerando sus ventajas en estabilidad y practicidad.

Algunos antecedentes clave sobre la formulación de protectores solares sólidos, la eficacia de filtros, combinaciones sinérgicas y parámetros de calidad se resumen a continuación, lo que aporta un marco técnico y evidencia científica que sustenta el desarrollo del producto propuesto. Un marco teórico es fundamental para desarrollar productos y políticas de fotoprotección, ya que esta información es clave para crear formulaciones de protectores solares que cumplan con los estándares de seguridad y eficacia, además de educar a los consumidores sobre los riesgos y beneficios de su uso [5]. De igual forma, contar con una base sólida sobre la clasificación y mecanismos de acción de los filtros UV, es esencial para desarrollar formulaciones de protectores solares efectivas [1]. Es importante la selección adecuada de combinaciones de filtros UV que maximicen la protección solar y minimicen el daño cutáneo [6]. Una reducida actividad del agua en las formulaciones es crucial para inhibir el crecimiento microbiano, lo que, junto con la adición de agentes antimicrobianos, es esencial para preservar el producto, asegurando su estabilidad y eficacia a largo plazo [4]. Las propiedades que se pueden lograr en la formulación anhidra junto al uso de rellenos hidrofóbicos son fundamentales para la efectividad y aceptación del producto en el mercado [7]. El uso de las siliconas en formulaciones dermatológicas provee propiedades positivas; la dimeticona, mejora la aplicación y eficacia de los productos [8].

La piel, es la cubierta externa del cuerpo humano, uno de sus órganos más importantes y el más extenso, con una superficie aproximada de 2 m² y un peso entre 4 y 5 kg [9]. Su función principal es actuar como barrera frente a agentes nocivos como microorganismos, radiación ultravioleta (UV) y toxinas. Está compuesta por tres capas: epidermis (la más externa, con alta densidad celular y encargada de proteger tejidos internos), dermis (brinda resistencia y elasticidad) e hipodermis (que funciona como aislante térmico y reservorio energético).

Los protectores solares están diseñados para proteger la piel de la radiación UV emitida por el sol, compuesta principalmente por los tipos UVA y UVB. La radiación UVB es especialmente dañina por causar quemaduras solares (eritema) y daños directos en el ADN celular, aumentando el riesgo de cáncer de piel. Esta radiación es absorbida por cromóforos cutáneos, como el ADN y aminoácidos presentes en la epidermis, limitando su penetración a capas más profundas. En contraste, la radiación UVA es poco absorbida por estos cromóforos, logrando llegar hasta la dermis, donde afecta fibras de colágeno y elastina, causando envejecimiento prematuro caracterizado por atrofia cutánea, elastosis, arrugas profundas y telangiectasias. La exposición prolongada a ambos tipos de radiación, contribuye al fotoenvejecimiento y a la carcinogénesis, con efectos nocivos superpuestos [5].

El Factor de Protección Solar (FPS o SPF) es el parámetro que cuantifica el nivel de protección que un producto ofrece contra la radiación UVB, responsable de quemaduras solares y daño cutáneo agudo. Los filtros solares, componentes activos de estos productos, se clasifican en químicos y físicos, según su mecanismo de acción frente a la radiación UV. Los filtros químicos están formados por moléculas que absorben la radiación en rangos específicos del espectro electromagnético (UVA y UVB), mientras que los físicos la reflejan y dispersan, formando una barrera sobre la piel. La combinación de ambos tipos de filtros es una estrategia común en formulaciones comerciales, ya que proporciona una protección más amplia y eficaz [1]. La Tabla I presenta algunos filtros comúnmente utilizados en cosméticos fotoprotectores.

TABLA I
FILTROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Tipo de filtro	Rango de protección	Filtro	INCI/otros nombres	Aprobado por
Orgánico	UVA	Avobenzona	<i>Butyl Methoxydibenzoylmethane</i>	UE, FDA
	UVB	Octinoxato	<i>Ethylhexyl Methoxycinnamate</i>	UE, FDA
	UVB	Homosalato	<i>Homosalate</i>	UE, FDA
	UVA, UVB	Mexoryl SX	<i>Ácido tereftalilideno dicarboxilato de sulfónico</i>	UE
	UVB	Octisalato	<i>Ethylhexyl Salicylate</i>	UE, FDA
Inorgánico	UVB y UVA corto (320-340 nm)	Dióxido de titanio	TiO ₂	UE, FDA
	Amplio espectro	Óxido de zinc	ZnO	UE, FDA

Abreviaciones: UE, Unión Europea; FDA, Administración de Alimentos y Medicamentos; INCI, Nomenclatura Internacional de Ingredientes Cosméticos.

Las formulaciones anhidras han ganado relevancia en cosmética por sus múltiples ventajas, como una mayor estabilidad y menor riesgo de contaminación microbiana. Al prescindir de agua, estas fórmulas inhiben el crecimiento de microorganismos y favorecen una mejor dispersión de los

filtros solares (químicos y físicos) en la matriz del producto [4]. Estas se caracterizan por una alta concentración de componentes hidrofóbicos, como siliconas y ceras, que mejoran su resistencia al agua, aportan propiedades emolientes y estructurantes, lo que favorece una aplicación uniforme y mayor adhesión a la piel. Esta combinación no sólo garantiza protección UV, sino también una experiencia sensorial agradable y un desempeño eficaz en distintas condiciones ambientales.

Por lo que, en función a lo planteado, el estudio busca desarrollar una formulación de protector solar sólido en barra que ofrezca alta protección a los rayos UV y sea versátil en su aplicación, alineado a los ODS 3 (Salud y Bienestar), ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y ODS 12 (Producción y Consumo Responsables).

II. METODOLOGÍA

A. Selección de los componentes de la formulación

La selección de filtros solares se soportó en una revisión bibliográfica considerando aspectos como capacidad de absorción y reflexión de radiación UVA/UVB, fotoestabilidad y compatibilidad cosmética. Se priorizaron filtros disponibles en el mercado nacional, con buena accesibilidad y costo razonable. Se estableció un Factor de Protección Solar (FPS) objetivo de 30 [10, 11]; se realizó su estimación teórica mediante el simulador de la plataforma BASF, herramienta de acceso abierto basada en la norma [12], que permitió analizar combinaciones óptimas y evaluar la viabilidad de la formulación.

La selección de los componentes adicionales se realizó mediante un modelo híbrido de evaluación en dos fases.

Fase 1: Ponderación de criterios mediante el método Analytic Hierarchy Process (AHP)

Se aplicó, con el fin de asignar pesos relativos a los criterios de evaluación: compatibilidad, beneficios dermatológicos, disponibilidad local, perfil de seguridad y costo. Se estructuraron comparaciones por pares mediante una escala estándar del 1 (igual importancia) al 9 (importancia absoluta); el principio de reciprocidad: si un criterio A es k veces más importante que B, entonces B tiene un valor relativo de 1/k respecto a A. Las prioridades se determinaron mediante normalización matricial y se validó la consistencia interna del modelo, verificando que el Índice de Consistencia fuera inferior a 0,10 [13, 14].

Evaluación de componentes mediante el método Weighted Sum Model (WSM).

Se empleó para evaluar cada componente según su funcionalidad dentro del sistema (emoliente, humectante, estabilizante y antioxidante). Cada componente recibió una calificación de 1 (desempeño deficiente) a 5 (excelente) para cada uno de los criterios definidos previamente. El puntaje final de cada alternativa se calculó mediante una suma ponderada, integrando los pesos derivados del AHP con las calificaciones específicas [15].

B. *Elaboración de la formulación del protector solar en barra (PS), y selección del protector solar comercial (PL)*

Definidos los filtros solares, el FPS objetivo y los componentes de la formulación, se establecieron los rangos de concentración permitidos conforme a normativas regulatorias internacionales y referencias técnicas [16] de modo de garantizar la seguridad del producto final.

Para estructurar la formulación del protector solar en barra, se revisó la formulación propuesta por [17] y la de productos comerciales con características similares disponibles en el mercado, de modo de establecer los parámetros iniciales que permitieron la adaptación de la formulación.

Se realizó un ensayo preliminar con una fórmula base sin filtros solares para validar el protocolo técnico, optimizando tiempos de mezcla, orden de incorporación y parámetros críticos (consistencia, homogeneidad y estabilidad post-enfriamiento), a través del ajuste de variables como la temperatura y el método de mezcla de modo de obtener una dispersión uniforme y garantizar la integridad del producto final.

Se realizaron pruebas mediante un proceso iterativo que permite ajustar progresivamente los componentes para alcanzar la consistencia y estabilidad deseadas del producto luego de envasado. El método empleado incluyó las siguientes etapas:

1. Preparación del baño María hasta alcanzar 75-80 °C, siguiendo las especificaciones técnicas para formulaciones sólidas [17].

2. Adición de componentes, incorporando la Fase A (fase oleosa), añadiendo los sólidos en orden decreciente del punto de fusión. Luego se añade la Fase B (filtros solares). Se deja enfriar hasta alcanzar los 65 °C para integrar la Fase C (componentes termosensibles) y la Fase D (agregados), con agitación suave durante 2-3 minutos.

3. Envasado. La mezcla se transfirió a un molde previamente esterilizado con alcohol y se dejó solidificar a temperatura ambiente.

Para la evaluación comparativa del protector elaborado (PS), se analizaron los productos disponibles en el mercado venezolano, considerando accesibilidad, factor de protección, filtros empleados, trayectoria comercial y costo.

C. *Caracterización de los protectores solares, formulado (PS) y comercial (PL)*

Pruebas fisicoquímicas aplicadas al protector solar formulado

a) pH: Se prepararon tres diluciones del protector solar en barra (1:10, 1:100 y 1:1000) en agua destilada, para realizar la medida con un pHmetro previamente calibrado.

b) Determinación del punto de goteo: Se adaptó la norma [18] para productos labiales, dada la similitud en consistencia y comportamiento termoplástico. Se fundieron tres muestras de 5 g en un baño térmico de glicerina a 85 °C. Tres termómetros, se introdujeron en la muestra fundida, sumergiendo el bulbo hasta la mitad, dejando solidificar la muestra. Se registró el punto de

solidificación como la temperatura en que la muestra perdió fluidez. Tras solidificar, las muestras en el termómetro se refrigeraron a 15 °C bajo el punto de solidificación y luego se transfirieron a tubos de ensayo. Los tubos se sumergieron en agua destilada a 50 °C y la temperatura se incrementó aproximadamente 1 °C/min. Al aproximarse el punto de goteo, se redujo la tasa a 0,5 °C/min. Se registró el punto de goteo como la temperatura en la que la primera gota fundida se desprendió del termómetro. El procedimiento se realizó por triplicado para asegurar reproducibilidad y confiabilidad, y cualquier variación superior a 1°C entre lecturas se consideró error experimental.

c) Estabilidad bajo estrés térmico: Se realizaron tres estudios de estabilidad, siguiendo la guía de estabilidad [19]. En cada ensayo, muestras de 2 g se expusieron a 40 °C (estufa) para evaluar textura y separación de fases, y a 4 °C (nevera) para analizar cristalización y estabilidad estructural. En los ciclos térmicos, las muestras alternaron entre ambas temperaturas y ambiente cada 24 horas, durante un período de dos semanas, asegurando reproducibilidad del método y una evaluación integral de la estabilidad térmica del producto.

d) Resistencia al agua: Se adaptó el procedimiento establecido por [20], incorporando criterios de la norma [12] relacionados con la aplicación del producto.

Una muestra de 24 mg se aplicó sobre un área de 12 cm² del antebrazo, dejando absorber por 15 min. Posteriormente, la zona tratada se sumergió en agua a 24 °C por 10 min, se secó al aire por 15 min, sin frotar ni utilizar toalla y se repitió un segundo ciclo.

Como control, se aplicó 24 mg en un área independiente de 12 cm², sin inmersión previa. Ambas zonas se expusieron a luz solar por 20 min, permitiendo evaluar su estabilidad en condiciones reales de uso.

Si bien la guía [20] recomienda al menos 10 participantes, por razones logísticas y de disponibilidad, el protocolo se ajustó, llevándose a cabo en dos personas como estudio preliminar comparativo. El procedimiento fue documentado con registros fotográficos, facilitando el análisis visual del desempeño del producto.

Evaluación del FPS in vivo

Se realizó un estudio exploratorio adaptado de la norma [12] para comparar el FPS del Protector sólido formulado (PS) y del Protector líquido comercial (PL). El protocolo fue aprobado por el Comité de Bioética CIBI-CENABI. Participaron 12 voluntarios. Se aplicaron 2 mg/cm² de cada producto en áreas delimitadas del antebrazo (una zona sin tratar como control), y se expusieron a radiación solar natural durante 30 min. Se registraron imágenes y se evaluaron visualmente los cambios.

Pruebas microbiológicas aplicadas al protector solar formulado

a) Aerobios mesófilos: Se siguen los parámetros establecidos en la norma [21], asegurando la evaluación de la carga microbiana y la calidad microbiológica del producto. Se pesó 1 g de muestra y se diluyó en agua destilada en

proporciones 1:10, 1:100 y 1:1000, garantizando su homogeneidad. Las diluciones seriadas se realizaron para permitir la cuantificación precisa de unidades formadoras de colonias (UFC) dentro del rango contable. Luego, 1 mL de cada dilución fue colocado en Placas Petrifilm 3M, distribuyendo la muestra de manera uniforme con un dispersor. Las placas fueron incubadas durante 72 horas a 32,5 °C ($\pm 2,5$ °C), permitiendo la cuantificación de microorganismos presentes. La carga microbiana se expresó en unidades formadoras de colonias por gramo de muestra (UFC/g), utilizando la (1).

$$UFC/g = \frac{\text{Colonias contadas} \times \text{Factor de dilución}}{\text{Volumen sembrado}} \quad (1)$$

Donde, Colonias contadas = número de UFC contadas en la placa, Factor de dilución = inverso de la dilución empleada. Volumen sembrado = volumen de muestra diluida colocada en la placa (mL)

Caracterización del producto comercial (PL)

El producto PL se caracterizó con pruebas similares a las del PS, incluyendo pH y estabilidad bajo estrés. Se realizaron pruebas adicionales para complementar el análisis y facilitar la comparación entre ambos productos.

a) Prueba centrífuga: La estabilidad física de la emulsión del PL se determinó mediante una prueba de centrifugación [22]. Se dispensaron 5 mL de muestra en un tubo de centrifuga y se sometieron a 1500 rpm durante 20 min a temperatura ambiente. Al finalizar el proceso, se examinó la muestra para detectar separación de fases, considerando la emulsión inestable si presentaba división de fases y estable si mantenía su estructura uniforme.

b) Resistencia al agua: La evaluación del PL siguió la metodología empleada para el PS, con la diferencia de que este producto fue analizado únicamente después de la inmersión, ya que su etiquetado no declara resistencia al agua.

Este enfoque permitió contrastar su desempeño con el PS, cuya formulación anhidra y componentes hidrofóbicos teóricamente favorecen la resistencia al agua. Al comparar ambos productos tras la exposición al agua, se buscó determinar el impacto de la inmersión en su estabilidad y validar su comportamiento en condiciones reales de uso.

Análisis de aceptación sensorial. Se realizó para evaluar la percepción y preferencia de los consumidores hacia ambos protectores solares: la formulación sólida (PS) y la líquida (PL). La prueba se llevó a cabo en un espacio acondicionado, con la participación de 24 evaluadores sin entrenamiento previo.

A la mitad de los evaluadores se les entregó la muestra PS con fragancia y a la otra mitad la misma muestra sin fragancia, con el fin de analizar si el aroma influía en la percepción general del producto. Los participantes evaluaron ambas formulaciones mediante una escala hedónica considerando aroma, textura, facilidad de aplicación y sensación en la piel. Las preferencias se registraron mediante una encuesta estructurada en *Google Forms*.

III. RESULTADOS

A. Selección de los componentes de la formulación

Para la formulación del PS, se seleccionaron filtros físicos y químicos que garanticen protección de amplio espectro y estabilidad. Los filtros físicos seleccionados fueron dióxido de titanio (TiO₂) y óxido de zinc (ZnO), por su sinergia en la absorción y reflexión de la radiación UVA/UVB y su disponibilidad en el mercado.

La incorporación de filtros químicos presentó desafíos logísticos debido a costos elevados y comercialización en volúmenes industriales; sin embargo, se estableció una colaboración con BIOFINA C.A., lo que permitió incluir Uvinul A Plus B (35% *diethylamino hidroxybenzoylhexil benzoato* y 65% *ethylhexil metoxicinamato*) y Uvinul T 150 (*ethylhexil triazona*), adquiridos en BASF.

El análisis con el simulador de BASF confirmó la compatibilidad y distribución óptima de estos filtros en la formulación. El Uvinul A Plus B actúa como fotoestabilizador, protegiendo a otros filtros de la degradación por radiación UV [6]; mientras que Uvinul T 150 refuerza la protección en el espectro UVB. En la Tabla II, se presentan los filtros seleccionados.

TABLA II
FILTROS SELECCIONADOS PARA LA INVESTIGACIÓN

Tipo de filtro	Rango de protección	Filtro	INCI/otros nombres	Aprobado por
Orgánico	UVA	Uvinul A Plus	<i>Diethylamino hydroxybenzoylhexyl benzoate</i>	UE
	UVB	Uvinul MC 80 (Octinoxato)	<i>Ethylhexylmethoxy cinnamate, octyl methoxy-cinnamate</i>	UE, FDA
		Uvinul T150	<i>Ethylhexyl triazone, octyltriazone</i>	UE
Inorgánico	UVB y UVA corta (320-340 nm)	Dióxido de titanio	TiO	UE, FDA
	De amplio espectro	Óxido de zinc	ZnO	UE, FDA

Abreviaciones: UE, Unión Europea; FDA, Administración de Alimentos y Medicamentos; INCI, Nomenclatura Internacional de Ingredientes Cosméticos.

Ponderación de criterios mediante AHP

Se determinaron los pesos relativos de los criterios de evaluación, con un índice de consistencia de 0,02; este valor, al ser inferior al umbral aceptable de 0,10, indica que la matriz resultante es consistente y que los juicios emitidos son coherentes. La Tabla III muestra la matriz de comparación por pares y los valores obtenidos tras la aplicación del método AHP.

TABLA III
DETERMINACIÓN DE LA JERARQUÍA DE CRITERIOS EN LA MATRIZ AHP

	Compatibilidad	Beneficios para la piel	Seguridad	Disponibilidad	Costo	Prioridades
Compatibilidad	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	0,28
Beneficios para la piel	0,50	1,00	0,50	0,67	1,50	0,15
Seguridad	1,00	2,00	1,00	2,00	1,50	0,27

Disponibilidad	0,50	1,50	0,50	1,00	1,00	0,16
Costo	0,50	0,67	0,67	1,00	1,00	0,14

Componentes seleccionados mediante WSM

En la segunda fase, los resultados permitieron identificar los compuestos con mejor desempeño global, resaltando aquellos que lograron un equilibrio adecuado entre funcionalidad y cumplimiento de los criterios establecidos.

La calificación integral evidenció una diferenciación clara entre los componentes, facilitando la selección de los más adecuados para la formulación; en la Tabla IV se presentan las puntuaciones obtenidas por los compuestos seleccionados.

TABLA IV
PUNTUACIONES FINALES DE LOS COMPONENTES SEGÚN EL MODELO AHP-WSM

Componente	Función principal	Puntuación Total
Vitamina E	Antioxidante	4,9
Aceite de ricino hidrogenado	Emoliente	4,3
Alcohol cetílico	Emoliente / Estabilizante	4,2
Dimeticona	Emoliente / Estabilizante	4,1
Manteca de karité	Emoliente / Humectante	4,8
Cera de carnauba	Estabilizante	4,1
Glicerina	Humectante	5,0

La aplicación de los modelos AHP y WSM permitió identificar componentes clave con puntuaciones $\geq 4,0$, optimizando eficacia, estabilidad y aceptación sensorial.

La vitamina E, se seleccionó por su potente acción antioxidante que protege la piel del daño oxidativo inducido por la radiación UV. Al neutralizar radicales libres generados durante la exposición solar, previene el fotoenvejecimiento prematuro y protege las fibras de colágeno, además mejora la hidratación, textura y tono cutáneo [23]. La glicerina fue elegida por su capacidad humectante y plastificante, mejorando la textura y aplicación sin afectar la estabilidad estructural [24].

Entre los emolientes, la manteca de karité destacó por su compatibilidad, seguridad y beneficios para piel seca o sensible, gracias a su composición rica en ácidos grasos, propiedades antiinflamatorias y antioxidantes [25]. El aceite de ricino hidrogenado complementa con excelente disponibilidad y ventaja económica. Los emolientes no solo aportan beneficios sensoriales y dermatológicos, sino que mejoran la eficiencia fotoprotectora al favorecer la solubilidad y estabilidad de los filtros solares, ampliando la cobertura en el rango UVA [6].

El alcohol cetílico y la cera de carnauba, fueron seleccionados como agentes estructurantes por su contribución a la dureza, estabilidad térmica y consistencia sólida, esenciales para la resistencia del producto. La dimeticona por su alta compatibilidad y perfil de seguridad, forma una barrera oclusiva que retiene la humedad y proporciona una textura sedosa, ideal para productos destinados a pieles sensibles o propensas al acné.

Se enfatiza la importancia de incorporar emolientes, antioxidantes y agentes oclusivos en formulaciones cosméticas para optimizar la experiencia del usuario y proteger la barrera cutánea [4, 8]. La incorporación de polímeros y agentes estructurantes asegura dureza y resistencia al agua, características fundamentales para un protector solar eficaz y duradero [7].

Los conservantes inhiben el desarrollo de los microorganismos en productos cosméticos [26]. Los conservantes comunes como el benzoato de sodio y el sorbato de potasio, efectivos en medios ácidos, no son adecuados para formulaciones anhidras, ya que requieren fase acuosa para activarse y su eficacia disminuye en pH neutro a ligeramente ácido, característico de protectores solares, comprometiendo la estabilidad microbiológica [22]. Por ello, se exploraron alternativas compatibles.

Gracias a la colaboración de Representaciones I.V. Gemaquin, C.A., se facilitó el acceso a Euxyl PE 9010 (*Phenoxyethanol* y *Ethylhexylglycerin*), un conservante de amplio espectro antimicrobiano, que combina *Phenoxyethanol* (88,5–91,5%) y *Ethylhexylglycerin* (8,5–11,5%) estabilizado con alfa-tocoferol sintético.

Ensayos preliminares indican que, a dosis de 0,5–1,0 %, Euxyl PE 9010 mantiene la estabilidad microbiológica sin afectar la eficacia de los filtros solares ni las propiedades sensoriales. Su alta estabilidad frente a variaciones de temperatura y pH garantiza su desempeño conforme a los estándares regulatorios, según lo indicado en su ficha técnica.

B. Elaboración de la formulación del protector solar en barra (PS), y selección del protector solar comercial (PL)

La formulación inicial del PS se estructuró en cuatro fases indicadas en la Tabla V.

TABLA V
FORMULACIÓN BASE DEL PROTECTOR SOLAR EN BARRA

Fase	Componente	Función principal	Concentración (%)
A: componentes en fase oleosa	Manteca de karité	Emoliente	6,50
	Aceite de ricino hidrogenado	Emoliente	15,00
	Alcohol cetílico	Estabilizante	6,00
	Cera de carnauba	Estabilizante	12,00
B: filtros solares físicos	Dióxido de titanio	Filtro UVB	6,00
	Óxido de zinc	Filtro UVB	6,00
B: filtros solares químicos	Uvinul T-150	Filtro UVB	3,50
	Uvinul A Plus B	Filtro UVA-UVB	8,00
C: aditivos termosensibles	Dimeticona	Emoliente	32,00
	Vitamina E	Antioxidante	3,00

El simulador BASF estimó un FPS teórico de 30, considerado preliminar, ya que no refleja con precisión la distribución real de los filtros ni sus interacciones. Por ello, se requiere validación experimental para confirmar su efectividad en condiciones reales (FPS *in vivo*). Durante el desarrollo del

PS, se realizaron seis iteraciones con el objetivo de optimizar su estabilidad, aplicabilidad y las propiedades sensoriales.

Muestra 1: La alta concentración de filtros físicos causó una coloración blanca intensa, lo que dificulta la distribución homogénea sobre la piel.

Muestra 2: Se ajustaron componentes de la fase oleosa: se redujo el aceite de ricino hidrogenado y se aumentaron la manteca de karité y cera de carnauba para mejorar la textura. Adicionalmente se disminuyeron las concentraciones de los filtros físicos y se aumentó la vitamina E con el fin de estabilizar la fase oleosa.

Muestras 3, 4 y 5: Se redujo progresivamente la manteca de karité de modo de disminuir la sensación grasosa y se incrementaron las cantidades de alcohol cetílico y cera de carnauba para reforzar la estructura. Con el fin de mantener el equilibrio fotoprotector tras la disminución de los filtros físicos, se incrementó la proporción de Uvinul A Plus B.

Muestra 6: Se incorporó glicerina en la fase C como plastificante a fin de mejorar la facilidad de la aplicación. Además, se añadió una quinta fase de agregados finales, donde se incorporaron Euxyl PE 9010 para garantizar la estabilidad microbiológica y esencia de coco playa para optimizar la percepción sensorial sin comprometer la integridad de la formulación; en la Tabla VI se detalla la formulación final del producto.

TABLA VI
FORMULACIÓN FINAL DEL PROTECTOR SOLAR EN BARRA

Fase	Componente	Función principal	Concentración (%)
A: componentes en fase oleosa	Manteca de karité	Emoliente	5,88
	Aceite de ricino hidrogenado	Emoliente	17,64
	Alcohol cetílico	Estabilizante	9,80
	Cera de carnauba	Estabilizante	14,70
B: filtros solares físicos	Dióxido de titanio	Filtro UVB	2,94
	Óxido de zinc	Filtro UVB	2,94
B: filtros solares químicos	Uvinul T-150	Filtro UVB	4,41
	Uvinul A Plus B	Filtro UVA-UVB	12,74
C: aditivos termosensibles	Dimeticona	Emoliente	19,60
	Vitamina E	Antioxidante	3,92
	Glicerina	Humectante	3,43
D: agregados	Euxyl PE 9010	Conservante	1,00
	Esencia de coco playa	Fragancia	1,00

Como producto comercial de referencia (PL) fue seleccionado un protector solar líquido de la marca Brucen, con FPS 30, por su equivalencia funcional con el protector solar sólido formulado (PS) en cuanto a factor de protección solar, naturaleza de filtros solares y composición.

C. Caracterización de los protectores solares, formulado y comercial

Los resultados obtenidos para el PS y el PL con relación a su caracterización fisicoquímica se presentan en la Tabla VII.

TABLA VII

CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL PS Y PL

Parámetro	Protector formulado (PS)	Protector comercial (PL)
pH	6,71 ± 0,08	7,58 ± 0,07
Punto de goteo (°C)	76,33 ± 0,58	NA
Prueba centrífuga	NA	Sin separación de fases

Ambas formulaciones cumplen con los estándares de calidad y seguridad establecidos para productos cosméticos.

El rango de pH aceptable para protectores solares es de 5,0 a 8,5, y tanto el PS como el PL se encuentran dentro de estos parámetros [27]. El PS, con un pH de 6,71, presenta ventajas importantes frente al PL, ya que un pH neutro ligeramente ácido favorece la estabilidad química y eficacia de los filtros químicos, preservando su capacidad fotoprotectora [28]. En contraste, el PL mostró un pH de 7,58, cercano al límite superior que, según [29], puede comprometer la barrera cutánea y favorecer la proliferación bacteriana [29]. Esta diferencia sugiere una ventaja del PS desde el punto de vista dermatológico.

El punto de goteo del PS confirmó su resistencia térmica y estabilidad estructural, ubicándose dentro del rango teórico de 60 - 81°C establecido en la norma [18], lo cual garantiza que el producto mantenga su forma sin presentar deformaciones en condiciones ambientales normales.

La prueba de centrifugación evidenció que la emulsión del PL es estable, sin evidencia de separación de fases bajo las condiciones evaluadas.

Pruebas de estabilidad térmica

Los resultados de las pruebas de estabilidad para ambos productos (PS y PL), se presentan a continuación en la Tabla VIII.

TABLA VIII
ESTABILIDAD MEDIANTE ESTRÉS TÉRMICO DEL PRODUCTO FORMULADO (BARRA) Y DEL PRODUCTO COMERCIAL (LÍQUIDO)

Condición de prueba	Parámetro	Protector formulado (PS)	Protector comercial (PL)
Frio (4°C)	Color	Mantiene su tonalidad original	Mantiene su tonalidad original
	Olor	Sin cambios detectables	Sin cambios detectables
	Homogeneidad	Estructura intacta, sin cambios perceptibles	Mantiene su estabilidad estructural, aunque se observa una separación parcial con presencia leve de partículas blancas concentradas en el borde
Calor (40°C)	Color	Mantiene su tonalidad original	La tonalidad original se mantiene, pero la muestra pierde su brillo característico y adquiere un aspecto opaco. Se observan burbujas dispersas y la presencia de pequeñas partículas en la emulsión, incluyendo una partícula verde localizada en un costado de la muestra
	Olor	Sin cambios detectables	Sin cambios detectables

	Homogeneidad	Estructura intacta, sin cambios perceptibles	La estructura muestra signos de alteración, con la aparición de burbujas y partículas, pero sin una separación evidente de fases
Ciclos térmicos (rotación cada 24 h)	Color	Mantiene su tonalidad original	Mantiene su tonalidad original
	Olor	Sin cambios detectables	Sin cambios detectables
	Homogeneidad	Sin cambios detectables	Sin cambios detectables

A 4°C, ambos productos (PS y PL) conservaron su tonalidad y olor sin alteraciones visibles. No obstante, la emulsión líquida presentó separación parcial con partículas blancas en los bordes, lo que sugiere reorganización de fases o cristalización de ciertos componentes; registró una pérdida de masa del 25%, posiblemente por cambios estructurales. En contraste, la barra permaneció intacta.

A 40°C, el PS mantuvo su estructura sin alteraciones, mientras que el PL presentó pérdida de brillo, formación de burbujas y partículas dispersas, reflejando baja estabilidad térmica. La reducción de masa alcanzó el 60%, atribuida a la evaporación de la fase acuosa por falta de cierre hermético. Se observó además una partícula verde, posiblemente asociada a segregación o precipitación de componentes, sin descartar la posibilidad de contaminación externa debido a las condiciones de almacenamiento abiertas. La mayor estabilidad térmica del PS frente al PL es consistente con las ventajas atribuidas a las formulaciones anhidras [4].

En la prueba de ciclos térmicos, ambos productos se conservaron en envases herméticos, manteniendo su estabilidad en color, olor y homogeneidad; sin embargo, el PL presentó una leve pérdida de masa (5%), evidenciando cierta susceptibilidad a variaciones térmicas prolongadas.

Análisis microbiológico aplicado al protector solar elaborado

Este análisis confirmó la estabilidad del PS frente a la contaminación microbiana. No se evaluó el PL, ya que, al estar disponible en el mercado, garantiza el cumplimiento de los estándares regulatorios, por lo que su análisis no aportaría información adicional. Durante la incubación no se observaron fenómenos que pudieran afectar la precisión del conteo, como la licuefacción, que ocurre cuando el gel se vuelve líquido y dificulta la enumeración de colonias. El recuento microbiológico se estimó a partir de la dilución 1:10, que mostró el mayor número de colonias (5 UFC), lo que equivale a 50 UFC/g. Este valor está dentro del límite establecido en la norma [30] ($\leq 1 \times 10^5$ UFC/g), lo que indica que el PS conservó su estabilidad microbiológica durante el periodo evaluado.

Evaluación comparativa de propiedades funcionales y sensoriales

Se evaluaron el rendimiento fotoprotector y la aceptación sensorial de ambos productos, mediante pruebas de resistencia

al agua, FPS *in vivo* y percepción del usuario, proporcionando información sobre su desempeño en condiciones reales de uso.

Resistencia al agua

Se realizó una prueba preliminar de este parámetro dado que el foco principal es la validación físico-química de la formulación anhidra. En esta prueba, el PS mantuvo su estructura y cobertura tras los ciclos de inmersión, sin pérdida visible sobre la piel; en cambio, el PL mostró una disminución progresiva en la adhesión desde la primera inmersión, resultado coherente con el hecho de que no está etiquetado como resistente al agua, sugiriendo la ausencia de componentes que otorgan esta propiedad.

Tras la exposición solar, el cambio de color fue más notorio en la piel con mayor pigmentación, especialmente en el área tratada con el PS y sometida a dos inmersiones. En el resto de las zonas no se observaron variaciones significativas, posiblemente debido a la baja radiación solar o al tiempo limitado de exposición durante el estudio.

La formulación anhidra del PS representa una ventaja funcional, ya que mantiene su integridad y adherencia en ambientes húmedos, ofreciendo protección continua. En contraste, el PL requiere aplicación con mayor anticipación para permitir una mejor absorción y re-aplicaciones frecuentes para mantener su eficacia. **No obstante, la prueba de resistencia al agua se realizó con un tamaño de muestra reducido (n=2), por debajo del mínimo recomendado por las directrices internacionales (n≥10) [20], por lo que estos resultados son preliminares y no generalizables.**

FPS in vivo

Las características de los participantes en el estudio exploratorio adaptado de la norma [12] se presentan en la Tabla IX.

TABLA IX
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA DEL ESTUDIO FPS IN VIVO

Categoría		Datos del estudio
Nro. de participantes		12
Edad (rango)		19-56
Sexo	Femenino	8 (67%)
	Masculino	14 (33%)
Tono de piel (fototipo)	Tipo I	4 (33%)
	Tipo II	5 (42%)
	Tipo III	3 (24%)
Método de evaluación		Observación visual

La comparación de la respuesta cutánea post-exposición (ver Tabla X) evidenció que el PS (zona A) redujo la pigmentación en relación con la zona sin protección (zona C) y tuvo un desempeño fotoprotector comparable al del PL, cumpliendo con los estándares esperados para un FPS 30.

Se encontraron variaciones en la respuesta cutánea, principalmente asociadas al fototipo y la uniformidad en la aplicación, factores que afectan la absorción y distribución del

filtro UV. En general, la zona de control (zona C) presentó mayor pigmentación (enrojecimiento) que las áreas tratadas (zona A y zona B), siendo esta diferencia más marcada en sujetos de fototipo II (42%) que en los de fototipos I (33%) y III (24%).

A pesar de las limitaciones, este análisis confirmó que los resultados obtenidos demostraron que el PS (zona A) proporciona una fotoprotección equivalente al PL (FPS 30) (Zona B).

TABLA X
VARIACIÓN EN LA PIGMENTACIÓN POST-EXPOSICIÓN SOLAR, SEGÚN EL FOTOTIPO.

Fototipo	Post-exposición
I	
II	
III	

Aceptación sensorial

Las características relevantes del panel sensorial no entrenado que participó en el análisis sensorial se aprecian en la Tabla XI.

El perfil del panel sensorial reveló que el 45,8% utiliza protector solar de forma regular, el 37,5% ocasionalmente y el 16,6% rara vez o nunca. Además, el 66,7% se define con conocimientos básicos sobre protectores solares, el 20,8% con un nivel avanzado y el 12,5% sin conocimientos previos.

TABLA XI
CARACTERÍSTICAS DEL PANEL SENSORIAL

Categoría		Datos del estudio
Nro. de participantes		24
Edad (rango)		18 - 24 (54,2%)
		25 - 34 (16,7%)
		> 45 (29,2%)
Sexo	Femenino	14 (58,3%)
	Masculino	10 (41,7%)
Método de evaluación		Encuesta en línea (Google Form)

En la evaluación sensorial, el PS recibió puntuaciones más favorables que el PL. Los evaluadores calificaron predominantemente con 5 (muy agradable) el olor y la sensación en la piel, y con 4 (agradable) la textura y la facilidad de aplicación. En contraste, el PL obtuvo un promedio de 3 (neutral) en olor, textura y sensación en la piel, y de 2

(desagradable) en la facilidad de aplicación. El 91,7% de los evaluadores expresó preferencia por el PS. El 100% de los participantes afirmó que el formato influye en su decisión de compra y recomendarían el PS.

Los comentarios enfatizaron que la facilidad de aplicación es la característica más sobresaliente, seguida de la excelente sensación en la piel sin dejar efecto blanquecino, aspectos ideales para deportistas y para el uso cotidiano. Tampoco se observaron diferencias significativas entre los participantes que evaluaron la muestra del PS con fragancia y los que recibieron la muestra sin aroma; los usuarios en general sugieren ajustar la intensidad del aroma, aspecto que fue considerado en la formulación final. Es preciso indicar que esta evaluación sensorial se basó en un panel de consumidores (n=24) y no incluyó un análisis estadístico avanzado, lo que supone una limitación metodológica del estudio.

Estimación del impacto

Mediante un balance de masa, se cuantificó el impacto ambiental en términos de ahorro hídrico. Al contrastar la formulación líquida (PL) (~70% agua) con el prototipo anhidro desarrollado (PS), se determinó que la eliminación de la fase acuosa permite un ahorro de 1 tonelada de agua por cada 12000 unidades fabricadas anualmente. Esta reducción de la huella hídrica representa una ventaja competitiva en términos de eco-eficiencia industrial, cumpliendo con las metas de producción sostenible del ODS 12, específicamente en la meta de reducir considerablemente la generación de desechos y el uso ineficiente de recursos naturales mediante la innovación en el diseño de productos.

Por otra parte el PS contribuye a la reducción de emisiones de CO₂ por transporte, ya que al ser un producto sólido, es más denso y no requiere envases plásticos voluminosos, permitiendo un embalaje primario de cartón biodegradable o envases reutilizables, lo que reduce el volumen de carga.

Diseño de la imagen y etiqueta del protector solar

Se eligió el nombre *Caribbean Sunscreen* para reflejar la inspiración en el estilo de vida tropical y la intensa exposición solar propia de la región caribeña. Este nombre representa un producto diseñado para ofrecer una protección eficaz, al mismo tiempo que refleja frescura y bienestar, características que buscamos transmitir en nuestra formulación sólida.

El diseño de las etiquetas del producto se elaboró conforme a las especificaciones de la norma [31] y [32], garantizando así que la información requerida se presente correctamente en el envase (ver Fig.1).



Fig. 1. Imagen del diseño del prototipo. a) Presentaciones. b) Etiqueta

IV. CONCLUSIONES

La selección adecuada de filtros físicos (dióxido de titanio y óxido de zinc) y químicos (Uvinul A Plus B, Uvinul T-150) es fundamental para garantizar protección UV de amplio espectro, donde la simulación BASF permitió una estimación preliminar del FPS teórico (30), sujeto a validación experimental. El modelo híbrido AHP-WSM permitió identificar componentes que favorecen la estabilidad térmica, la compatibilidad cosmética y los beneficios dermatológicos, asegurando la funcionalidad de la formulación. Las distintas iteraciones en el desarrollo del producto permitieron mejorar su estabilidad, ajustando la proporción de emolientes y filtros solares para optimizar su textura y desempeño. Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, confirmaron la estabilidad del producto, cumpliendo con los estándares de calidad y seguridad establecidos. La evaluación sensorial evidenció una alta aceptación del protector solar en barra, destacando su textura, facilidad de aplicación y sensación en la piel, lo que junto con su estabilidad y fotoprotección comprobada, refuerzan su viabilidad como alternativa a las formulaciones líquidas disponibles en el mercado. Se sugiere que el siguiente paso sea la validación en una planta piloto para verificar su escalabilidad.

AGRADECIMIENTO

A la Farmaceuta Luisana Arocha, de la Facultad de Farmacia de la Universidad Central de Venezuela, por el apoyo técnico a lo largo del estudio.

REFERENCIAS

- [1] Nieradko-Iwanicka, B., & Wysokińska, K. (2022). Chemical and physical UV filters. *Polish Journal of Public Health*, 132(1), 48-51. https://www.researchgate.net/publication/366944250_Chemical_and_physical_UV_filters
- [2] Syalsabilla et al. (2023). The effect of compositional optical analysis of zno/tio2 composites in a sunscreen product. *Pillar of physics*. 16(2), 169-179. <https://www.doi.org/10.24036/14929171074>
- [3] Sonh et al. (2021). Photokinetics of oil soluble 1,3,5-Triazine UV filters in combination with Butyl Methoxydibenzoylmethane or with Diethylamino Hydroxybenzoyl Hexyl Benzoate. *Journal of Photochemistry and Photobiology*. 8, 1-9. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666469021000580?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=8e29a27b1e40a563
- [4] Ballamwar et al. (2020). A Review: The hurdle technology- Self-preservation technology in cosmetics. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 10(8), 820-827. A Review: The hurdle technology- Self-preservation technology in cosmetics
- [5] Salih et al. (2024). Sunscreens: A narrative review. *Skin Health and Disease*, 4(6):e432. <https://doi.org/10.1002/ski2.432>
- [6] Sohn et al. (2020). Effect of emollients on UV filter absorbance and sunscreen efficiency. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111818>
- [7] Salomao et al. (2020). Anhydrous sunscreen composition, process of manufacturing the anhydrous sunscreen composition and use of the anhydrous sunscreen composition. *Patente Internacional No. WO2020198817A1*. Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). <https://patentimages.storage.googleapis.com/71/4f/71/7d060e4c755fdb/WO2020198817A1.pdf>
- [8] Bains y Kaur (2023). Silicone in Dermatology: An Update. *Journal of Cutaneous and Aesthetic Surgery*, 16(1). <https://jcasonline.com/view-pdf/?article=5c67a23708ec4fc4cf01d133f45eccb7B7xnUB09R9E=>
- [9] García y Alonso. (2021). Anatomía y fisiología de la piel. *Pediatría Integral*, XXIV(3), 156.e1–156.e13. https://pediatriaintegral.es/wp-content/uploads/2021/xxv03/07/n3-156e1-13_RB_JesusGarcia.pdf
- [10] American Academy of Dermatology. (2013). Protector solar: Cómo aplicar. <https://www.aad.org/public/diseases/skin-cancer/espanol/como-aplicar-protector-solar>
- [11] Food and Drug Administration. (2024). Protectores solares: Cómo ayudar a proteger su piel del sol. <https://www.fda.gov/drugs/understanding-over-counter-medicines/protectores-solares-como-ayudar-protector-su-piel-del-sol>
- [12] International Organization for Standardization. (2019). ISO 24444. Cosmetics — Sun protection test methods — In vivo determination of the sun protection factor (SPF). <https://cdn.standards.itech.ai/samples/72250/8748909469d4461dadf0d6d435c65e1e/ISO-24444-2019.pdf>
- [13] Mandolini et al. (2018). An analytic hierarchy method for anticipating the selection of the supplying strategy at the design stage. *Dyna*, 94(2), 161-167. <https://doi.org/10.6036/8891>
- [14] Saaty, T., y Vargas, L. (2012). Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process (2, 175). Springer Science & Business Media. <https://slims.ikipgribojonegoro.ac.id/repository/Models-Methods-Concepts-Applications-of-the-Analytic-Hierarchy-Process.pdf>
- [15] Amin, M. y Dwitayanti, Y. (2022). The Best Academic Administration Personnel Selection Model Using the Weighted Sum Model (WSM). *Atlantis Highlights in Engineering*, 9. <http://dx.doi.org/10.2991/ahe.k.220205.057>
- [16] Camero, L. y Orejarena, L. (2008). Formulación magistral en la formulación (2da).
- [17] BASF (s.f.). Sensitive Zones Sun Care Stick SPF 50+. BASF We create chemistry. *Sunscreen Simulator*
- [18] COVENIN 3646. (2000). Norma Venezolana. Maquillaje para labios, ojos y cejas. Métodos de ensayo.
- [19] Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. (2018). Recomendaciones para el desarrollo de estudios de estabilidad de productos cosméticos. Programa Safe +. [https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-02/ONUDI_Gu%C3%ADa%20de%20Estabilidad_FINAL%20\(003\).pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-02/ONUDI_Gu%C3%ADa%20de%20Estabilidad_FINAL%20(003).pdf)
- [20] Cosmetics Europe. (2005). Guidelines for evaluating sun product water resistance.
- [21] International Organization for Standardization (2017). ISO 21149. Cosmetics — Microbiology — Enumeration and detection of aerobic mesophilic bacteria <https://cdn.standards.itech.ai/samples/72240/07cfaf1d8a11450890e9acaf60bdfb70/ISO-21149-2017.pdf>
- [22] Calderón, A. y Maurette, C. (2022). Propuesta para la producción de un protector solar humectante con componentes naturales [Trabajo de grado, Universidad Metropolitana]. Biblioteca Pedro Grases. [https://unimet.ent.sirsi.net/client/es_ES/default/search/detailnonmodal/ent:\\$002f\\$002fSD_ILS\\$002f\\$002fSD_ILS:132834/one](https://unimet.ent.sirsi.net/client/es_ES/default/search/detailnonmodal/ent:$002f$002fSD_ILS$002f$002fSD_ILS:132834/one)
- [23] Sales et al. (2021). Vitamin E in Human Skin: Functionality and Topical Products. *IntechOpen*. 10.5772/intechopen.98336
- [24] Thakur et al. (2021). A Comprehensive Review On Plasticizing Agent. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 8(6). <https://www.jetir.org/papers/JETIR2106010.pdf>
- [25] Maanikuu y Peker. (2017). Medicinal and Nutritional Benefits from the Shea Tree- (Vitellaria Paradoxa). *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 7 (22). <https://core.ac.uk/download/pdf/234662463.pdf>
- [26] Diario Oficial de la Unión Europea. (2009). Reglamento (ce) n° 1223/2009 del parlamento europeo y del consejo. <https://www.boe.es/doue/2009/342/L00059-00209.pdf>
- [27] Comisión Venezolana de Normas Industriales. (1999). Protectores solares, Aceleradores de Bronceado y Autobronceadores. COVENIN 3462.

- [28] Wong, N. y Dessent, C. (2022). Illuminating the Effect of the Local Environment on the Performance of Organic Sunscreens: Insights From Laser Spectroscopy of Isolated Molecules and Complexes. *Frontiers in Chemistry*, 9. <https://www.frontiersin.org/journals/chemistry/articles/10.3389/fchem.2021.812098/full>
- [29] Proksch, E. (2018). pH in nature, humans and skin. *The Journal of Dermatology*, 45, 1044–1052. <https://www.onksws.com/wp-content/uploads/2020/04/2018-J-DERM-pH-in-nature-humans-and-skin.pdf>
- [30] International Organization for Standardization. (2014). ISO 17516. Cosmetics — Microbiology — Microbiological limits. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/59938/82e3f2f654274a41b1a610b9eced8ce/ISO-17516-2014.pdf>
- [31] International Organization for Standardization. (2006). ISO 22715. Cosmetics — Packaging and labelling. Published (Edition 1, 2006). <https://www.iso.org/standard/36436.html#lifecycle>
- [32] MERCOSUR/GMC/RES. N°26/02 Reglamento Técnico MERCOSUR sobre protectores solares en cosméticos. https://normas.mercosur.int/simfiles/normativas/13076_RES_026-2002_ES_RTM_Protec-Solares%20_Acta%202_02.pdf