

TRABAJO DE GRADO
Opción Proyecto de Grado

Shampoo sólido ecológico: una aplicación de los principios de química verde

Corporación Universitaria Remington
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental

Angie Vanesa Gaspar Moreno
Ana María Borda Arcia
Antoni Manuel Guerra Camargo

Tutor: Libia Julio Galvis

Cotutor: Lilibeth López León

Proyecto de grado

2026

Agradecimientos

Agradecemos a nuestra Alma Mater, la Corporación Universitaria Remington, por facilitar sus instalaciones de laboratorio, equipos y herramientas, recursos indispensables para el desarrollo y ejecución del presente proyecto de investigación en el campo de la química verde.

En especial, se reconoce la valiosa orientación académica de la Doctora Libia Liliana Julio Galvis y de la Magíster Lilibeth López León, quienes, con dedicación, compromiso y profesionalismo, aportaron sus conocimientos, tiempo y acompañamiento constante. Su guía, motivación y apoyo fueron esenciales para el fortalecimiento conceptual, metodológico y práctico de esta investigación.

Finalmente, se agradece a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron al desarrollo de este proyecto.

Tabla de contenido

Resumen.....	6
Palabras clave.....	6
Introducción	7
Marco teorico	9
Planteamiento del problema y justificación.....	13
Objetivos.....	15
Metodología	16
Resultados y Discusión.....	21
Conclusiones.....	28
Referencias.....	30

Listado de tablas

<i>Tabla 1.</i> Materiales utilizados en la elaboración del shampoo sólido natural.	17
<i>Tabla 2.</i> Altura de espuma (cm) en función del tiempo mediante método de agitación mecánica.	23

Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Preparación de la formulación piloto de shampoo sólido.....	21
<i>Figura 2.</i> Shampoo sólido después de 48 horas de secado y verificación de pH.	22
<i>Figura 3.</i> Evaluación de la capacidad espumante.....	23
<i>Figura 4.</i> Evaluación sensibilidad cutánea en voluntarios	24
<i>Figura 5.</i> Materias primas empleadas en la elaboración del shampoo sólido ecológico..	25

Resumen

El uso de shampoos líquidos convencionales se asocia con la generación de envases plásticos de un solo uso y el empleo de tensioactivos sintéticos que pueden contribuir a impactos ambientales, especialmente en ecosistemas acuáticos. En respuesta a esta problemática, el presente trabajo tuvo como objetivo elaborar un shampoo sólido ecológico a partir de tensioactivos suaves y extractos botánicos comerciales de romero, ortiga y sábila, incorporando criterios de química verde y educación ambiental. La metodología consistió en la elaboración de una formulación piloto en laboratorio académico y la evaluación de propiedades básicas, incluyendo medición de pH, determinación de la capacidad espumante y un ensayo exploratorio de sensibilidad cutánea en diez voluntarios. Asimismo, se realizó un análisis cualitativo de su contribución a la reducción de envases plásticos frente a shampoos convencionales. Los resultados evidenciaron un pH compatible con el cuero cabelludo, formación de espuma funcional y ausencia de reacciones adversas inmediatas en los participantes evaluados. Desde el enfoque ambiental, el formato sólido elimina el uso de envases plásticos rígidos individuales, constituyéndose en una alternativa preventiva frente a la generación de residuos. En conjunto, el proyecto demuestra que es posible integrar principios de química verde en el diseño de productos de higiene capilar en un contexto formativo de Ingeniería Ambiental, promoviendo el rediseño sostenible como estrategia de educación ambiental aplicada.

Palabras clave

Shampoo ecológico, Química verde, Tensioactivos suaves, Sostenibilidad, Biodegradabilidad, Innovación.

Introducción

La industria cosmética ha experimentado un crecimiento sostenido en las últimas décadas, impulsado por la demanda de productos de cuidado personal y la constante innovación en formulaciones. No obstante, este dinamismo también plantea desafíos ambientales asociados a la generación de residuos sólidos, al uso intensivo de envases plásticos y a la incorporación de ingredientes sintéticos que pueden tener efectos adversos sobre los ecosistemas acuáticos (Bom et al., 2019, National Geographic, 2018). En particular, los shampoos líquidos convencionales combinan una elevada proporción de agua con empaques individuales de plástico, lo que incrementa su huella material a lo largo del ciclo de vida del producto.

La sostenibilidad en el sector cosmético requiere ser abordada desde la etapa de diseño hasta la fase postconsumo, considerando el análisis integral del ciclo de vida del producto (Martins & Marto, 2023). Este enfoque permite identificar oportunidades para reducir impactos ambientales no solo en la disposición final, sino también en la selección de materias primas, en la formulación y en el tipo de empaque utilizado. En países como Colombia, donde la gestión de residuos plásticos continúa representando un reto estructural, el rediseño de productos cotidianos constituye una estrategia preventiva relevante desde la ingeniería ambiental.

En este contexto, la química verde ofrece un marco conceptual orientado al diseño de productos y procesos que minimicen riesgos para la salud humana y el ambiente. De acuerdo con Anastas y Warner (1998), este enfoque promueve la reducción de residuos, el uso de materias primas de origen renovable y la disminución de sustancias

potencialmente peligrosas, planteando una transformación en la manera de concebir la producción química. Aplicada al ámbito cosmético, la química verde permite replantear formulaciones tradicionales mediante la sustitución de ciertos tensioactivos convencionales por alternativas más suaves y la reconsideración del formato del producto.

Una de las alternativas exploradas en los últimos años corresponde a los shampoos sólidos, los cuales eliminan la fase acuosa predominante en productos líquidos y reducen la necesidad de envases plásticos rígidos. Este tipo de formulaciones puede contribuir a disminuir la generación de residuos asociados al consumo de productos de higiene personal y se enmarca dentro de estrategias de sostenibilidad en cosméticos (Bom et al., 2019; Martins & Marto, 2023).

Desde la perspectiva de la Ingeniería Ambiental, el rediseño de productos de uso cotidiano constituye una herramienta preventiva que complementa las estrategias tradicionales de tratamiento y gestión de residuos. En coherencia con este enfoque, el presente trabajo se desarrolló en un contexto formativo universitario con el propósito de elaborar un shampoo sólido ecológico empleando tensioactivos suaves y extractos botánicos comerciales, integrando principios de química verde y promoviendo la reflexión sobre consumo responsable y reducción de residuos.

De esta manera, el proyecto no se limita a la formulación de un producto de higiene capilar, sino que busca evidenciar cómo los principios de sostenibilidad pueden incorporarse en experiencias académicas aplicadas, fortaleciendo la educación ambiental

y la comprensión del diseño sostenible como estrategia de intervención desde la ingeniería.

Marco teórico

La química verde como base para diseñar cosméticos sostenibles

La química verde constituye el marco conceptual que orienta el diseño de productos y procesos químicos con menor impacto ambiental y sanitario. Anastas y Warner (1998) definen este enfoque como “el diseño de productos y procesos químicos que reducen o eliminan el uso y la generación de sustancias peligrosas”, estableciendo doce principios que actúan como criterios técnicos de sostenibilidad.

Los principios fomentan la prevención de residuos, el uso de materias primas renovables, el diseño de productos biodegradables y la reducción de la toxicidad de las formulaciones químicas. En la ingeniería ambiental, la química verde actúa como una herramienta importante para atacar los problemas del consumo masivo de productos de cuidado personal. En ese sentido, la química verde permite actuar desde la fuente y no solo en la etapa de tratamiento de residuos (Anastas & Warner, 1998).

En este sentido, el desarrollo de un shampoo sólido ecológico representa una aplicación directa de dichos principios, al replantear tanto la formulación química como el sistema de empaque y el consumo de recursos.

Sostenibilidad en la industria cosmética

Por otra parte, la sostenibilidad en la industria cosmética se ha tratado mucho desde el punto de vista ambiental, social y económico. Bom et al. (2019) indican que el sector

cosmético tiene retos importantes con el uso de ingredientes sintéticos, con el consumo de agua y con la generación de residuos plásticos. Eso ha impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles. En su trabajo los autores indican que la sostenibilidad en cosmética no se trata solo del origen natural de los ingredientes. La sostenibilidad en cosmética tiene que mirar todo el ciclo de vida del producto, desde la selección de materias primas hasta la fase postconsumo. La sostenibilidad en cosmética está alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y con el enfoque de producción más limpia que promueve la ingeniería ambiental (Bom et al., 2019).

Impacto ambiental de los shampoos convencionales

Los shampoos líquidos convencionales tienen mucho impacto ambiental. Ese impacto se debe a que los shampoos llevan mucha agua, usan tensioactivos sintéticos y, sumado a ello, los shampoos vienen en envases de plástico de un solo uso. Además, muchos ingredientes de los cosméticos pueden quedarse en el agua y pueden causar toxicidad en el ambiente acuático. Eso ocurre sobre todo cuando los sistemas de tratamiento de aguas residuales no eliminan esos ingredientes (Desalegn Wirtu, 2024; Corazza et al., 2009). Desde esta perspectiva, el uso cotidiano de shampoos representa una fuente difusa de contaminación química, cuya mitigación requiere soluciones preventivas orientadas al rediseño del producto. Este enfoque justifica la necesidad de alternativas como los shampoos sólidos, que reducen simultáneamente la carga química vertida y la generación de residuos sólidos.

Tensioactivos que se degradan y que son de origen biológico en las formulaciones cosméticas

Los tensioactivos son esenciales en la formulación de los shampoos porque hacen que el producto limpie bien. Romero et al. (2025) indican que los tensioactivos biobasados, obtenidos a partir de materias primas renovables, son más biodegradables y menos tóxicos que los sulfatos convencionales. Este estudio indica que compuestos como los alkyl polyglucosides (APGs) y otros derivados de azúcares y aceites vegetales muestran que los perfiles ecotoxicológicos presentan menos efectos nocivos y que se pueden mezclar con formulaciones de productos de belleza que no dañan el medio ambiente (Romero Vega & Gallo Stampino, 2025). Los tensioactivos hacen lo que la química que cuida el medio ambiente propone: usar menos derivados del petróleo y permitir que el medio ambiente los descomponga. Por otro lado, desde el punto de vista fisicoquímico, estos compuestos conservan propiedades interfaciales necesarias para la remoción de suciedad y formación de espuma (Rosen & Kunjappu, 2012).

Los shampoos sólidos y la cosmética sin agua

Los shampoos sólidos son productos de higiene capilar formulados con una cantidad mínima o nula de agua en comparación con los shampoos líquidos convencionales. Generalmente se presentan en forma de barra compacta y contienen tensioactivos, aceites, extractos vegetales y otros ingredientes funcionales que permiten la limpieza y el cuidado del cabello. Debido a su naturaleza concentrada, requieren menores cantidades de conservantes y constituyen una alternativa innovadora dentro de las tendencias actuales de cosmética sostenible (Gamboa-Lázaro et al., 2025).

Una de sus principales ventajas radica en la reducción o eliminación de envases plásticos rígidos, así como en la disminución del volumen y peso del producto durante su almacenamiento y transporte. Estas características contribuyen a reducir los impactos ambientales asociados al empaque y la distribución (Martins & Marto, 2023).

En este contexto, los shampoos sólidos forman parte de la denominada cosmética sin agua (*waterless cosmetics*), una tendencia orientada a minimizar el consumo de agua y promover productos con una menor huella ambiental. Diversos estudios señalan que este tipo de formulaciones favorece la reducción de residuos plásticos y constituye una alternativa coherente con los principios de la química verde y la sostenibilidad en la industria cosmética (Bom et al., 2019; Martins & Marto, 2023).

Cosmética herbal como complemento sostenible

Finalmente, la cosmética de hierbas ofrece una alternativa para reducir la dependencia de los ingredientes que se hacen en laboratorio. Mubassir et al. (2025) indican que los shampoos de hierbas usan extractos de plantas, que irritan menos y se llevan mejor con el medio ambiente cuando se hacen con criterios de la ciencia. Los autores indican que la sostenibilidad de los productos depende del origen de las materias primas, de los métodos de extracción y de la estabilidad de la formulación; es primordial evaluar los aspectos con el enfoque de ingeniería y no solo de venta.

Enfoque de ciclo de vida en productos cosméticos

El análisis de ciclo de vida (LCA) permite evaluar los impactos ambientales de los productos cosméticos. En tal sentido, Martins & Marto (2023) indican que los LCA simplificados sirven para comparar las alternativas tecnológicas y para ayudar a decidir

los diseños con menor impacto ambiental. En el contexto, aplicar un LCA a un shampoo sólido que cuida el medio ambiente y muestra las ventajas para el medio ambiente frente a las formulaciones que se usan habitualmente, refuerza el carácter del proyecto en cuanto a la técnica y al medio ambiente.

Planteamiento del problema y justificación

Los shampoos líquidos forman parte de los productos de cuidado personal más utilizados. Sin embargo, su consumo está asociado al uso continuo de envases plásticos individuales y a formulaciones con un alto contenido de agua, aspectos que generan preocupaciones ambientales relacionadas con el consumo de recursos y la generación de residuos (Bom et al., 2019; Martins & Marto, 2023).

La gestión de los residuos plásticos constituye uno de los retos ambientales más relevantes en la actualidad. De acuerdo con Borrelle et al. (2020), la cantidad de plástico acumulada en el ambiente continuará aumentando si no se fortalecen las estrategias orientadas a reducir su generación desde la fuente.

En Colombia, se generan aproximadamente 11 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos al año, de las cuales cerca del 10,8 % corresponde a materiales plásticos.

Además, durante 2020 se estimó una generación cercana a 1,74 millones de toneladas de residuos plásticos, equivalentes a aproximadamente el 12 % del flujo total de residuos, mientras que la tasa nacional de reciclaje se situó alrededor del 17 % (Ferronato et al., 2023). Estas cifras reflejan la necesidad de promover alternativas que contribuyan a disminuir la generación de residuos desde el diseño mismo de los productos (Cubas et al., 2022).

Frente a este panorama, la sostenibilidad ha adquirido una importancia creciente dentro de la industria cosmética. Actualmente, además de la eficacia de los productos, se consideran aspectos relacionados con la selección de materias primas, el tipo de empaque y los impactos asociados a su ciclo de vida (Martins & Marto, 2023).

En este contexto, la química verde proporciona criterios orientados a prevenir residuos, reducir el uso de sustancias potencialmente peligrosas y favorecer materias primas de origen renovable (Anastas & Warner, 1998). Estos principios han impulsado el desarrollo de alternativas más sostenibles dentro del sector cosmético.

Entre ellas se encuentran los shampoos sólidos, cuya formulación requiere menores cantidades de agua y puede disminuir la dependencia de envases plásticos rígidos. Por esta razón, estos productos han despertado interés como parte de las tendencias actuales de cosmética sostenible y cosmética sin agua (Bom et al., 2019; Rocca et al., 2023; Martins & Marto, 2023).

Desde la Ingeniería Ambiental, el análisis de este tipo de alternativas permite relacionar conceptos de prevención de residuos, sostenibilidad y diseño de productos. Bajo esta perspectiva, el presente trabajo plantea la elaboración de un shampoo sólido ecológico a partir de tensioactivos suaves y extractos botánicos, incorporando principios básicos de química verde y promoviendo la reflexión sobre la reducción del uso de envases plásticos.

Objetivos

Objetivo General

Elaborar un shampoo sólido ecológico a partir de tensioactivos suaves y extractos botánicos locales, incorporando criterios de química verde y educación ambiental para promover la reducción del uso de envases plásticos.

Objetivos específicos

- Desarrollar la formulación piloto del shampoo sólido empleando extractos botánicos locales (romero, ortiga y sábila) y tensioactivos suaves (SCI y decyl glucoside), bajo criterios básicos de estabilidad y coherencia con los principios de la química verde.
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas y funcionales básicas del shampoo sólido mediante la medición de pH con tirillas indicadoras, la comparación cualitativa de la capacidad espumante frente a un shampoo comercial y una prueba de sensibilidad cutánea en voluntarios.
- Analizar la contribución del shampoo sólido a la reducción del uso de envases plásticos y a la aplicación práctica de los principios de la química verde en el contexto formativo de la ingeniería ambiental.

Metodología

Enfoque metodológico

El presente trabajo se desarrolló bajo un enfoque aplicado-formativo, orientado al diseño de un producto sostenible desde los principios de la química verde en el contexto de la formación en Ingeniería Ambiental.

Metodológicamente, el estudio se estructuró en tres fases principales. La primera correspondió a la elaboración de una formulación piloto de shampoo sólido ecológico; la segunda estuvo orientada a la evaluación de propiedades fisicoquímicas y funcionales básicas del producto desarrollado; y la tercera consistió en el análisis cualitativo de su contribución ambiental y educativa en el contexto de la formación en Ingeniería Ambiental. El alcance experimental fue de carácter exploratorio, acorde con los recursos y condiciones disponibles en el laboratorio académico.

Fase I: Elaboración del shampoo sólido ecológico

Selección de materias primas

Las materias primas fueron seleccionadas considerando criterios de funcionalidad cosmética, sostenibilidad y coherencia con los principios de la química verde, priorizando el uso de insumos de origen renovable y de menor impacto ambiental. El Sodium Cocoyl Isethionate (SCI) fue seleccionado como tensioactivo principal debido a su capacidad de limpieza suave, adecuada formación de espuma y menor potencial irritante en comparación con tensioactivos sulfatados convencionales. Por su parte, el Decyl Glucoside fue incorporado como tensioactivo secundario por su origen renovable, alta

biodegradabilidad y compatibilidad con formulaciones destinadas al cuidado de pieles sensibles, características que favorecen el desarrollo de productos con menor impacto ambiental (Romero Vega & Gallo Stampino, 2025).

De igual forma, se seleccionaron extractos comerciales de romero (*Rosmarinus officinalis*), ortiga (*Urtica dioica*) y sábila (*Aloe vera*) debido a su amplio uso en formulaciones capilares y a las propiedades comúnmente asociadas a estos ingredientes. El romero se relaciona con la estimulación del cuero cabelludo, la ortiga con el fortalecimiento capilar y la sábila con efectos hidratantes y calmantes. La incorporación de estos extractos permitió complementar la formulación con ingredientes de origen vegetal, en concordancia con el enfoque sostenible y formativo del proyecto

Elaboración de la formulación piloto

La formulación piloto fue diseñada considerando criterios de funcionalidad cosmética y coherencia con los principios de la química verde. Para ello, se integraron tensioactivos suaves, extractos botánicos y otros ingredientes con funciones específicas dentro del producto. La formulación se estableció para la elaboración de una barra de shampoo sólido de 100 g, cuya distribución porcentual y funcional de materias primas se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Materiales utilizados en la elaboración del shampoo sólido natural.

Ingredientes	%	Cantidad (g)	Función
Sodium Cocoyl Isethionate (SCI)	55	55	Tensioactivo principal, limpieza suave
Decyl Glucoside	12	12	Tensioactivo secundario, suaviza la espuma
Manteca de karité	6	6	Nutre y repara el cabello

Aceite de coco	4	4	Hidratante, aporta firmeza
Aceite de ricino	3	3	Fortalece la fibra capilar
Aceite de jojoba	4	4	Regula el sebo y suaviza
Extracto de romero	3	3	Estimula el crecimiento capilar
Extracto de ortiga	3	3	Fortalece raíces, reduce caída
Extracto de aloe vera	4	4	Hidrata y calma el cuero cabelludo
Arcilla blanca (caolín)	3	3	Limpieza suave, aporta textura firme
Aceite esencial de romero	0.5	0.5	Estimulante capilar, aroma herbal
Aceite esencial de menta	0.5	0.5	Refrescante, activa circulación
Colorante natural vegetal-pirulina	0.5	0.5	Tono verde natural
Total: 100 g			

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, la mezcla fue moldeada manualmente y sometida a un proceso de secado a temperatura ambiente con el fin de favorecer su compactación y estabilidad física.

Fase II: Evaluación de propiedades básicas

Dado el carácter formativo del proyecto, se realizaron ensayos básicos orientados a verificar la viabilidad funcional del producto.

Determinación de pH

El pH del shampoo sólido se evaluó mediante tirillas indicadoras universales, preparando previamente una solución diluida del producto en agua destilada.

El rango de pH se comparó con valores reportados como compatibles con el cuero cabelludo (aproximadamente 4,5–6,5).

Evaluación de capacidad espumante

Para la evaluación de la capacidad espumante se preparó una solución del shampoo sólido en agua destilada a una concentración del 1 %. En cada ensayo se utilizaron 10 mL de solución contenidos en tubos de ensayo de 16 × 150 mm. Posteriormente, las muestras fueron sometidas a agitación mecánica durante cinco segundos, manteniendo constantes las condiciones de operación. Inmediatamente después de la agitación, los tubos fueron colocados en posición vertical para registrar la altura inicial de la espuma (H_0), definida como la distancia entre la superficie del líquido y el límite superior de la espuma.

Con el fin de evaluar la estabilidad de la espuma, se registraron mediciones a los 1, 5 y 10 minutos posteriores a la agitación. Cada ensayo se realizó por triplicado ($n = 3$) y el procedimiento fue repetido utilizando un shampoo comercial como control comparativo. Esta metodología permitió evaluar tanto la formación inicial de espuma como su estabilidad en el tiempo.

Ensayo de sensibilidad cutánea

Con el fin de evaluar la compatibilidad cutánea básica del shampoo sólido elaborado, se realizó un ensayo exploratorio de irritación dérmica en diez (10) voluntarios adultos. La evaluación se efectuó mediante la aplicación controlada del producto en una zona delimitada del antebrazo y el posterior registro de posibles reacciones visibles como enrojecimiento, picor o resequedad.

Los participantes firmaron consentimiento informado previo a la realización del ensayo, garantizando el carácter voluntario y académico de la actividad.

El formato de registro utilizado, que incluye las condiciones del ensayo, procedimiento detallado, escala de interpretación y consentimiento informado, se presenta en el **Anexo 1** Ensayo de sensibilidad cutánea.

Fase III: Análisis ambiental y educativo

Análisis cualitativo de reducción de envases plásticos

Para el análisis comparativo se consideraron aspectos relacionados con la eliminación del recipiente plástico individual, el potencial de reducción de residuos sólidos postconsumo y la disminución del volumen requerido para el transporte del producto. El análisis tuvo un carácter descriptivo-comparativo y no incluyó modelación cuantitativa del ciclo de vida.

Aplicación de principios de química verde

Se realizó una revisión reflexiva de la formulación desarrollada a la luz de diversos principios de la química verde, entre ellos la prevención de residuos, el uso de materias primas renovables, el diseño de productos menos tóxicos y la reducción de derivados petroquímicos. Este análisis permitió identificar el nivel de coherencia existente entre la formulación propuesta y los fundamentos conceptuales de la química verde.

Enfoque en educación ambiental

El proyecto se desarrolló también como una experiencia formativa que permitió relacionar contenidos de química verde y sostenibilidad con una situación práctica de diseño de productos. De esta manera, se favoreció la reflexión sobre el consumo

responsable, la generación de residuos y el papel de la prevención en la gestión ambiental.

Resultados y Discusión

Elaboración del shampoo sólido

La formulación piloto se obtuvo a partir de la combinación de SCI, decyl glucoside y extractos botánicos de romero, ortiga y sábila. Tras el moldeo y el secado a temperatura ambiente, se obtuvo una barra con apariencia homogénea y adecuada cohesión física para su manipulación. Durante la observación visual no se identificaron indicios de separación de componentes ni acumulaciones superficiales de material. La Figura 1 ilustra una de las etapas desarrolladas durante la preparación de la formulación.



Figura 1. Preparación de la formulación piloto de shampoo sólido

Determinación de pH

La evaluación mediante tirillas indicadoras mostró un valor de pH ubicado entre 5 y 6, intervalo considerado compatible con las condiciones fisiológicas del cuero cabelludo. Valores dentro de este rango favorecen el mantenimiento de la barrera cutánea y contribuyen a preservar la estructura de la fibra capilar (Dias, 2015). De igual manera, el resultado obtenido sugiere que la formulación presenta un comportamiento acorde con el empleo de tensioactivos suaves en lugar de sulfatos convencionales.

Asimismo, el resultado indica que la formulación no presenta carácter alcalino agresivo, lo cual es coherente con la ausencia de sulfatos tradicionales en su composición.



Figura 2. Shampoo sólido después de 48 horas de secado y verificación de pH.

Evaluación de la capacidad espumante

La capacidad espumante se evaluó mediante el método de agitación mecánica, registrando la altura inicial de espuma (H_0) y su estabilidad hasta los 10 minutos. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Altura de espuma (cm) en función del tiempo mediante método de agitación mecánica.

Muestra	H ₀ (cm)	H ₁ (cm)	H ₅ (cm)	H ₁₀ (cm)
Shampoo sólido (R1)	13.0	11,7	12.1	11.5
Shampoo sólido (R2)	12.7	12.0	11.8	11.4
Shampoo sólido (R3)	12,2	12,6	11.5	11.3
Promedio	12.6	12.1	11.8	11.4
Shampoo comercial (Prom.)	15.0	14.5	14.5	14.2

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. Evaluación de la capacidad espumante

El shampoo sólido presentó formación inicial de espuma adecuada tras 5 segundos de agitación, evidenciada por valores de H₀ comparables en proporción al control comercial. Sin embargo, se observó una ligera disminución en la estabilidad temporal respecto al shampoo convencional.

La reducción progresiva de la altura de espuma es un comportamiento esperado en formulaciones con tensioactivos suaves y sin sulfatos tradicionales, los cuales suelen generar mayor volumen y persistencia espumante (Dias, 2015; Rosen & Kunjappu, 2012).

La diferencia observada en la formación de espuma puede estar relacionada con los ingredientes empleados en la formulación. En particular, el uso de tensioactivos suaves como SCI y decyl glucoside tiende a producir volúmenes de espuma menores que los reportados para algunos shampoos comerciales. A pesar de ello, el comportamiento registrado durante los ensayos fue suficiente para evidenciar la funcionalidad básica del producto y resulta coherente con la selección de materias primas realizada durante su desarrollo.

Ensayo de sensibilidad cutánea

Se realizó una prueba exploratoria de compatibilidad cutánea en diez (10) voluntarios adultos, aplicando una pequeña cantidad del shampoo sólido diluido al 1% sobre un área delimitada del antebrazo durante 15 minutos, siguiendo el procedimiento descrito en la sección metodológica.



Figura 4. Evaluación sensibilidad cutánea en voluntarios

En los participantes evaluados no se registraron reacciones adversas visibles, tales como enrojecimiento, inflamación o resequedad, ni se reportaron sensaciones de ardor o picazón durante el periodo de observación. En todos los casos, el nivel máximo de irritación

correspondió a 0 (sin cambios visibles), según la escala establecida. Estos resultados sugieren que, bajo las condiciones exploratorias del ensayo, la formulación no presentó efectos irritantes inmediatos.

No obstante, se reconoce que el procedimiento realizado no sustituye estudios dermatológicos clínicos estandarizados requeridos para validación comercial (Basketter et al., 2008).

Análisis ambiental cualitativo

Finalmente, se realizó un análisis comparativo cualitativo entre el shampoo sólido desarrollado y un shampoo líquido comercial envasado en un recipiente plástico.

El shampoo sólido presenta ventajas potenciales en términos de:

- Eliminación de envase plástico rígido individual.
- Reducción de residuos sólidos postconsumo.
- Disminución del volumen de transporte debido a la ausencia de agua añadida.

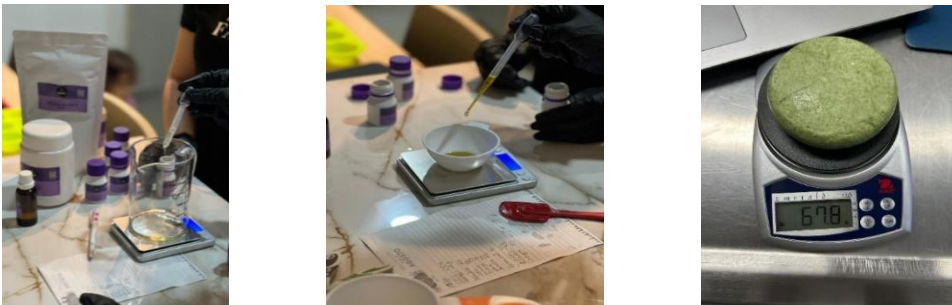


Figura 5. Materias primas empleadas en la elaboración del shampoo sólido ecológico.

La comparación realizada permitió identificar algunas diferencias entre el shampoo sólido elaborado y un shampoo líquido comercial convencional. Entre los aspectos observados se destacan la eliminación del envase plástico individual y la reducción de agua incorporada

en la formulación, características que pueden contribuir a disminuir la generación de residuos asociados al producto.

Aunque el alcance del estudio no incluyó una evaluación cuantitativa de impactos ambientales, los resultados obtenidos permiten reconocer elementos coherentes con estrategias de prevención en la fuente y uso eficiente de recursos. En este sentido, la experiencia puso de manifiesto cómo modificaciones relativamente simples en el diseño de un producto pueden relacionarse con alternativas orientadas a la sostenibilidad.

Desde la perspectiva de la Ingeniería Ambiental, este ejercicio permitió analizar la relación existente entre la formulación de productos de uso cotidiano y algunos de los desafíos asociados a la gestión de residuos, mostrando la importancia de incorporar criterios ambientales desde etapas tempranas de diseño.

Reflexión formativa

La elaboración del shampoo sólido permitió integrar conocimientos de química verde, formulación de productos y sostenibilidad abordados durante la formación en ingeniería ambiental. A lo largo del desarrollo de la formulación, fue posible reconocer que la selección de materias primas no responde únicamente a criterios funcionales, sino que también implica considerar la generación de residuos, el uso eficiente de recursos y los posibles impactos ambientales asociados al producto final.

La comparación entre el shampoo sólido elaborado y un shampoo líquido comercial favoreció la comprensión de cómo decisiones de diseño aparentemente simples, como el tipo de empaque utilizado o la incorporación de agua en la formulación, pueden influir de manera significativa en el desempeño ambiental de un producto de uso cotidiano.

Asimismo, esta comparación permitió identificar la prevención como una estrategia que debe incorporarse desde las etapas tempranas del diseño, y no limitarse únicamente a la gestión posterior de residuos generados.

Más allá de la obtención de la formulación piloto, la experiencia contribuyó a fortalecer la relación entre los contenidos teóricos y su aplicación práctica. En este sentido, permitió ampliar la comprensión del papel de la ingeniería ambiental en el desarrollo de alternativas sostenibles, capaces de responder a necesidades actuales sin perder de vista la responsabilidad técnica, ambiental y social que implica el diseño de productos

Conclusiones

La formulación piloto desarrollada permitió obtener un shampoo sólido a partir de tensioactivos suaves y extractos botánicos de romero, ortiga y sábila, en concordancia con los principios de la química verde considerados durante el proyecto. La barra obtenida presentó estabilidad física y características adecuadas para su manipulación, evidenciando la viabilidad de este tipo de formulaciones en un contexto académico.

La evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales mostró valores de pH entre 5 y 6, compatibles con las condiciones fisiológicas del cuero cabelludo, así como una capacidad espumante suficiente para cumplir su función de limpieza. Aunque el volumen de espuma fue inferior al registrado para el shampoo comercial de referencia, este comportamiento resulta coherente con el empleo de tensioactivos más suaves dentro de la formulación. De igual manera, la prueba exploratoria de sensibilidad cutánea no evidenció reacciones adversas visibles ni molestias reportadas por los voluntarios durante el periodo de observación

Por otra parte, el análisis ambiental realizado permitió reconocer que el formato sólido representa una alternativa con potencial para disminuir el uso de envases plásticos individuales asociados a los shampoos líquidos convencionales. Esta característica refuerza la importancia del diseño de productos como estrategia preventiva frente a la generación de residuos, en concordancia con los principios de sostenibilidad y producción más limpia promovidos desde la ingeniería ambiental.

Finalmente, el desarrollo del proyecto trascendió la obtención de un producto cosmético al convertirse en un ejercicio práctico de aplicación de la química verde. La experiencia

favoreció la integración de conocimientos relacionados con sostenibilidad, prevención de la contaminación y diseño ambientalmente responsable, fortaleciendo la comprensión del papel que pueden desempeñar los futuros ingenieros ambientales en la búsqueda de soluciones innovadoras a problemáticas asociadas al consumo y la generación de residuos.

Referencias

- Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press.
- Basketter, D., Darlenski, R., & Fluhr, J. W. (2008). Skin irritation and sensitization: mechanisms and new approaches for risk assessment. *Skin pharmacology and physiology*, 21(4), 191–202. <https://doi.org/10.1159/000135635>
- Bom, S., Jorge, J., Ribeiro, H. M., & Marto, J. (2019). Sustainability in the cosmetics industry: An overview. *Journal of Cleaner Production*, 225, 270–290. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.255>
- Borrelle, S. B., Ringma, J., Law, K. L., Monnahan, C. C., Lebreton, L., McGivern, A., Murphy, E., Jambeck, J., Leonard, G. H., Hilleary, M. A., Eriksen, M., Possingham, H. P., De Frond, H., Gerber, L. R., Polidoro, B., Tahir, A., Bernard, M., Mallos, N., Barnes, M., & Rochman, C. M. (2020). Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science*, 369(6510), 1515–1518. <https://doi.org/10.1126/science.aba3656>
- Cubas, A. L. V., Machado, A. A. S., Pinto da Costa, J., Campos, D., Rocha-Santos, T., & Duarte, A. C. (2022). Plastics and microplastic in the cosmetic industry: Aggregating sustainable actions aimed at alignment and interaction with UN Sustainable Development Goals. *Polymers*, 14(21), 4576. <https://doi.org/10.3390/polym14214576>
- Desalegn Wirtu, Y. (2024). A review of environmental and health effects of synthetic cosmetics. *Frontiers in Environmental Science*. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1402893>

- Dias, M. F. R. G. (2015). Hair cosmetics: An overview. *International Journal of Trichology*, 7(1), 2–15. <https://doi.org/10.4103/0974-7753.153450>
- Ferronato, N., Torretta, V., Ragazzi, M., Rada, E. C., Portillo, M. A. G., Cioca, L. I., & Badea, A. (2023). A review of plastic waste circular actions in seven developing countries to achieve sustainable development goals. *Waste Management & Research*. <https://doi.org/10.1177/0734242X231188664>
- Gamboa-Lázaro, D. Y., Ruiz-Díaz, J. A., Alva-Angulo, L. J., & Bravo-Huivín, E. K. (2025). Project management for the design of a biodegradable solid shampoo “Vegan Blooms”. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*. <https://doi.org/10.18687/LEIRD2025.1.1.686>
- Martins, A. M., & Marto, J. (2023). A sustainable life cycle for cosmetics: From design and development to post-use phase. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 35, 101178. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101178>
- Mubassir, N. A., Ahmad, K. M., Begum, N., & Rani, S. (2025). A comprehensive review of herbal shampoos: Composition, benefits, and market trends. *International Journal of Modern Pharmaceutical Research*, 9(11). <https://doi.org/10.5281/zenodo.17491449>
- National Geographic. (2018). 4 razones para cambiar las botellas de champú por barras. <https://www.nationalgeographicla.com/planeta-o-plastico/2018/08/4-razones-para-cambiar-las-botellas-de-champu-por-barras>
- Rocca, R., Acerbi, F., Fumagalli, L., & Taisch, M. (2023). Sustainability paradigm in the cosmetics industry: State of the art. *Cleaner Waste Systems*, 3, 100077. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100057>

Romero Vega, G., & Gallo Stampino, P. (2025). Bio-based surfactants and biosurfactants: An overview and main characteristics. *Molecules*, 30, 863.

<https://doi.org/10.3390/molecules30040863>

Rosen, M. J., & Kunjappu, J. T. (2012). *Surfactants and interfacial phenomena*. Wiley.

<https://doi.org/10.1002/9781118228920>

Anexo 1
ENSAYO DE SENSIBILIDAD CUTÁNEA
 Evaluación de compatibilidad cutánea de productos naturales

1. Datos del producto

Código o nombre de la muestra:	
Tipo de producto (jabón, shampoo, etc.):	
Concentración o dilución (%):	
Fecha del ensayo:	

2. Datos del participante o modelo biológico

Nombre o código del participante:	
Edad (si aplica):	
Área de aplicación (antebrazo, mano, etc.):	
Condiciones previas de la piel:	

3. Condiciones del ensayo

Tiempo de exposición (min):	
Temperatura ambiente (°C):	
Control utilizado (agua, jabón neutro, etc.):	
pH antes / después:	

4. Registro de observaciones

Tiempo (min)	Enrojecimiento	Picor	Resequedad	Nivel de irritación (0-3)

5. Escala de interpretación

0	Sin cambios visibles	No irritante
1	Enrojecimiento o picor leve	Irritación leve
2	Enrojecimiento moderado, reversible	Irritación moderada
3	Enrojecimiento marcado o inflamación	Irritante

6. Consentimiento informado

Declaro que he sido informado(a) sobre la naturaleza del ensayo de irritación dérmica y autorizo voluntariamente la aplicación del producto en una zona limitada de mi piel para fines académicos y de investigación.

Firma del participante: _____ Fecha: _____
Firma del evaluador: _____

PROCEDIMIENTO:

1. Preparación del área de prueba:

- Seleccionar 2–3 voluntarios (con consentimiento informado).
- Lavar un área del antebrazo con agua y jabón neutro, secar suavemente.

2. Aplicación:

- Impregnar una gasa con **0.5 mL** de la solución del jabón/shampoo diluido al 1%.
- Colocar sobre el antebrazo (3×3 cm) durante **15 minutos**.
- En otro punto, aplicar **agua destilada (control negativo)**.
- Opcional: usar un **control positivo** (jabón convencional).

3. Evaluación:

- Retirar los parches y observar la zona a **0, 30 y 60 min**.
- Registrar si hay **enrojecimiento, picor, resequedad o inflamación**.
- Medir **pH superficial** con papel indicador húmedo o pH-metro de superficie.

4. Interpretación:

- **Sin reacción ni cambio de pH:** producto no irritante.
- **Leve enrojecimiento reversible:** irritación leve.
- **Enrojecimiento persistente o escozor:** irritante potencial (reformulación necesaria).