Agroecología Global
Revista Electrónica de Ciencias del Agro y Mar
Año VII. Vol. 7. N°12. Enero – Junio. 2025
Hecho el depósito legal: FA2019000051
FUNDACIÓN KOINONIA (F.K).
Santa Ana de Coro, Venezuela.

https://doi.org/10.35381/a.g.v6i11.4344

Propuesta de champú sólido sostenible con propiedades antioxidantes con extracto de hibiscus sabdariffa

Development of a sustainable solid shampoo with antioxidant properties using hibiscus sabdariffa extract

Nancy Narcisa Rodríguez-Almeida
nn.rodrigueza@uea.edu.ec
Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza
Ecuador
https://orcid.org/0009-0000-8843-920X

Ruth Dayra Dahua-Gualinga
rd.dahuag@uea.edu.ec
Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza
Ecuador
https://orcid.org/0009-0009-3472-6540

Fanny Noemi Rivera-Rojas
fn.riverar@uea.edu.ec
Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza
Ecuador
https://orcid.org/0009-0003-7371-1268

Jannys Lizeth Rivera-Barreto
jl.riverab@uea.edu.ec
Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza
Ecuador
https://orcid.org/0009-0009-2172-0529

Recibido: 13 de octubre 2024
Revisado: 8 de noviembre 2024
Aprobado: 9 de diciembre 2024
Publicado: 01 de enero 2025

RESUMEN

Este estudio investiga el desarrollo de un champú sólido formulado con base de champú y extracto acuoso de Jamaica, evaluando su actividad antioxidante mediante el método FRAP. Se analizaron diez formulaciones con diferentes proporciones de estos componentes. Los resultados mostraron que las formulaciones con mayor porcentaje de extracto, específicamente las formulaciones 2 y 8 (75% base y 25% extracto), presentaron las actividades antioxidantes más elevadas, alcanzando 5,39 y 5,42 eq. Trolox/g, respectivamente. En contraste, las formulaciones compuestas únicamente por base de champú carecieron de actividad antioxidante, subrayando la importancia del extracto de Jamaica para mejorar estas propiedades. La ecuación del modelo ajustado indicó que la actividad antioxidante está influenciada por las proporciones de los ingredientes y su interacción. La formulación óptima identificada consiste en un 75% de base de champú y un 25% de extracto de Jamaica, lo que potencializa significativamente las propiedades antioxidantes del champú sólido desarrollado.

Descriptores: Hibiscus sabdariffa; flor de jamaica; champú sólido; cosméticos; sostenible. (Tesauro AGROVOC).

ABSTRACT

This study investigates the development of a solid shampoo formulated with a shampoo base and aqueous extract of Jamaica, evaluating its antioxidant activity using the FRAP method. Ten formulations with different proportions of these components were analyzed. The results showed that the formulations with a higher percentage of extract, specifically formulations 2 and 8 (75% base and 25% extract), exhibited the highest antioxidant activities, reaching 5.39 and 5.42 eq. Trolox/g, respectively. In contrast, the formulations composed solely of the shampoo base lacked antioxidant activity, highlighting the importance of the Jamaica extract in enhancing these properties. The equation of the adjusted model indicated that antioxidant activity is influenced by the proportions of the ingredients and their interaction. The identified optimal formulation consists of 75% shampoo base and 25% Jamaica extract, significantly enhancing the antioxidant properties of the developed solid shampoo.

Descriptors: Hibiscus sabdariffa; jamaica flower; solid shampoo; cosmetics; sustainable. (AGROVOC Thesaurus).

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los productos cosméticos, la cantidad de agua representa más del 65% del volumen total de la fórmula. Por ejemplo, una crema habitual contiene entre un 60% y un 80% de agua, y un champú hasta un 95%. Los envases plásticos utilizados en la industria cosmética causan contaminación y contribuyen en las emisiones globales de gases de efecto invernadero y la liberación de esos gases se da en todas las etapas del ciclo de vida del plástico (Brito et al., 2023; Mieles Giler et al., 2024).

En la actualidad los consumidores son cada vez más conscientes de las cuestiones medioambientales y tratan de utilizar productos sostenibles y amigables con el medio ambiente. Por tanto, las empresas cosméticas deben superar las expectativas de los consumidores y desarrollar productos sostenibles (López Sánchez et al., 2024). Hoy en día, existe una enorme demanda de cosméticos sólidos. Debido a su formulación anhidra, el uso de agua se reduce, así como la cantidad de envases, que suelen estar hechos de papel biodegradable, evitando el uso de plástico (Pudaruth et al., 2015).

La Jamaica es parte de la familia de las malváceas, su origen se encuentra en los países tropicales de Asia, especialmente en India y Malasia, desde donde se extendió a diversas naciones africanas con climas tropicales y subtropicales, así como a Centro y Sudamérica (Rojas & Saavedra Mera, 2022). Esta planta tiene múltiples aplicaciones, su fibra se utiliza para fabricar cordones y otros productos similares, en lugar de cáñamo o yute. Las hojas se pueden consumir en ensaladas, ya sea solas o combinadas con otras verduras, y también se emplean como alimento para ganado y aves. Las flores de Jamaica o cálices deshidratados de Jamaica se utilizan para obtener extractos concentrados, que son comúnmente empleados en la producción de bebidas (Galicia Flores, 2008).

Los extractos de Jamaica se consideran alimentos funcionales que poseen compuestos biológicamente activos, a nivel industrial, estos extractos se utilizan en la fabricación de tintes, saborizantes para alimentos, productos cosméticos y farmacéuticos. La flor de Jamaica es usada para elaborar jaleas, mermeladas y harina para galletas; en diversas áreas como la farmacéutica y cosmetología es valorada por sus propiedades

antioxidantes y humectantes, siendo incorporada en cremas y tratamientos para el cuidado de la piel debido a los componentes como vitamina (C y E) ácidos polifenólicos, flavonoides y antocianinas que tienen actividad antioxidante (Cid Ortega, 2012).

El tamizaje fitoquímico mediante el cual se determina el contenido de componentes polifenólicos y contenido mineral son análisis in vitro que evalúan el potencial de compuestos bioactivos tales como polifenoles, flavonoides, ácido ascórbico, entre muchos otros; los cuales le otorgan actividad antioxidante y otros beneficios (Caicedo Aldaz & Herrera Sánchez, 2022). Para aislar compuestos bioactivos se usan diferentes métodos de extracción basados en disolventes y tiempos prolongados de extracción, por ello, se requiere nuevas alternativas para optimizar el proceso de extracción, incrementando el rendimiento y calidad de los extractos (Dahua Gualinga et al., 2024).

Dentro de los métodos alternativos está el uso de microondas, fluidos supercríticos y ultrasonidos. La extracción asistida por ultrasonido (EAU) es una opción para la extracción de compuestos bioactivos en las plantas, y presenta ventajas como: alta eficiencia, bajo consumo de disolventes y requerimiento energético bajo (Chemat et al., 2017). Por lo anteriormente expuesto, el objetivo de esta investigación consiste en el análisis y la innovación en la fabricación de cosméticos sostenibles, desarrollando un champú solido antioxidante con extracto de *hibiscus sabdariffa*.

MÉTODO

Las flores de Jamaica para la investigación fueron adquiridas en el mercado local de la ciudad de Puyo, Pastaza. Para el proceso de secado de *Hibiscus sabdariffa* se siguió la metodología de Khalid et al. (2021). En el proceso se separaron las flores frescas y se secaron en un horno con aire recirculado a temperatura de 50 °C durante tres días.

A continuación, para obtener el extracto acuoso de Jamaica, se siguió el procedimiento indicado por Ramón & Gil Garzón (2021). Se pesaron 20 g de la muestra triturada y se añadió a un balón con 200 ml de agua destilada. Este se sometió a una extracción asistida

por ultrasonido usando un baño ultrasónico a 50 °C durante 60 minutos y con una frecuencia de 75 kHz. Para terminar, el extracto se filtró mediante papel Whatman No. 4.

Diseño experimental

Para el diseño experimental de la investigación se utilizó el software Statgraphics v. 19 para evaluar la significancia de los factores de estudio sobre la respuesta experimental y seleccionar la formulación con actividad antioxidante de champú sólido (Tabla 1).

Tabla 1.
Diseño experimental de mezclas propuesto por Statgraphics versión 19.

Formulación	Base de champú (%)	Extracto acuoso de Jamaica (%)	Actividad antioxidante (eq. Trolox/100 g)
1	88	12	
2	75	25	
3	81	19	
4	100	0	
5	88	12	
6	94	6	
7	100	0	
8	88	12	
9	75	25	
10	100	0	

Elaboración: Los autores.

Elaboración del champú solido

Para el desarrollo de la base de champú sólido se siguió la metodología descrita por Brito et al. (2023) con las modificaciones pertinentes en correspondencia con el estudio. En la tabla 2 se muestra la formulación de la base de champú sólido propuesta. A partir del análisis se realizaron 10 formulaciones del champú sólido añadiéndole las cantidades del extracto acuoso de Jamaica descritos en la tabla 1.

Tabla 2.
Formulación de la base de champú sólido.

Ingrediente	Función	% p/p
SCI	Tensoactivo	65
Cera de abeja	Consistencia	14
Lanolina	Hidratación	5
Aceite vegetal	Hidratación	16

Elaboración: Los autores.

Actividad antioxidante de las formulaciones

Primeramente se obtienen los extractos a partir de la metodología descrita por Rivera Barreto & Rodríguez Almeida (2024) donde se preparó una solución de agua y acetona en una proporción de 70/30. Luego, se añadieron 6 mL de esta solución a 1 g de champú sólido, agitando la mezcla en un vórtex durante 45 minutos. Posteriormente, las muestras se centrifugaron en una centrífuga a 5000 rpm por 20 minutos. Finalmente, los sobrenadantes se filtraron en matraces volumétricos de 10 mL y se realizaron de inmediato los análisis de actividad antioxidante.

A continuación se determinó de la actividad antioxidante por el método FRAP (Quispe Romero et al., 2014). Se incorporaron 1000 ml del extracto en un matraz aforado de 10 ml, al cual se añadieron 5 ml de la solución FRAP recién preparada. Después de agregar el reactivo, se completó el volumen del matraz con agua destilada hasta alcanzar los 10 ml y se dejó reposar a una temperatura de 37°C durante 30 minutos. Se registraron las lecturas a 593 nm en un espectrofotómetro. Los resultados en gramos equivalentes a Trolox/ g de materia seca (g eq. Trólox/ g (MS)) para ellos se empleó la ecuación 1.

$$C = A/0.1879 \qquad [1]$$

donde:

A: absorbancia leída en las muestras.

C: concentración de las muestras (mgL^{-1})

Por último, se desarrollaron los análisis fisicoquímicos siguientes:

- Determinación del pH y conductividad: se desarrollaron según las directrices de Al Badi & Khan (2014).
- Medición de altura de la espuma del champú: la evaluación de la espuma se llevó a cabo utilizando el método estándar de Lunkenheimer & Malysa (2003).
- Prueba de suciedad: Para evaluar la capacidad de limpieza de los champús sólidos, se realizó una prueba con tinta china siguiendo un método estándar ligeramente modificado a partir de los estudios de Rodríguez Ruiz et al. (2016) y Czerwiec et al. (2023).

RESULTADOS

Los resultados muestran que la mayoría de los metabolitos analizados son más abundantes en el extracto acuoso que en el alcohólico. En el extracto acuoso, se detectaron altas concentraciones de saponinas, flavonoides, fenoles, taninos, azúcares reductores, y aminoácidos y quinonas, mientras que; en el alcohólico, la presencia fue moderada para flavonoides y fenoles, y baja para azúcares reductores y aminoácidos. No se encontraron alcaloides en ninguno de los extractos.

La tabla 3 presenta un análisis de diversas formulaciones de champú, donde se observa que todas las muestras generan espuma y tienen una textura suave. La mayoría de las formulaciones tienen una consistencia firme, mientras que algunas son muy firmes. En términos de composición, las formulaciones varían en el porcentaje de base de champú y extracto de Jamaica, pero todas muestran ausencia de irritabilidad. Los colores de los champús van desde diferentes tonos de morado y blanco. En general, todos los champús analizados son eficaces y no irritantes.

El extracto de *Hibiscus sabdariffa* presenta un color distintivo gracias a la presencia de antocianinas, que son compuestos fenólicos responsables de producir tonalidades que varían entre el rojo y el púrpura (Salazar González et al., 2012).

Tabla 3.
Pruebas fisicoquímicas de las diferentes formulaciones de champú sólido.

Muestra	Base de champú (%	E. de Jamaica (%)	Suciedad	Consistencia	Irritabilidad	Color	Textura
1	88	12	Espuma	Firme	Ausencia	Morado claro	Suave
2	75	25	Espuma	Firme	Ausencia	Morado fuerte	Suave
3	81	19	Espuma	Firme	Ausencia	Morado medio	Suave
4	100	0	Espuma	Muy firme	Ausencia	Blanco	Suave
5	88	12	Espuma	Firme	Ausencia	Morado medio	Suave
6	94	6	Espuma	Muy firme	Ausencia	Morado medio	Suave
7	100	0	Espuma	Muy firme	Ausencia	Blanco	Suave
8	88	12	Espuma	Firme	Ausencia	Morado claro	Suave
9	75	25	Espuma	Firme	Ausencia	Morado fuerte	Suave
10	100	0	Espuma	Muy firme	Ausencia	Blanco	Suave

Elaboración: Los autores.

En la Tabla 3 se observa que las formulaciones con una concentración más alta de este extracto (25%), el color tiende a ser más intenso (morado oscuro), mientras que en las formulaciones con concentraciones más bajas (6-12%), el color es más tenue. Aquellas formulaciones sin extracto carecen de pigmentación y son blancas.

Otras características analizadas son la consistencia y la capacidad de generar espuma pues son aspectos fundamentales en los productos de cuidado personal, ya que influyen directamente en la percepción de limpieza y en la experiencia sensorial del usuario. En las formulaciones que contienen un 100% de base de champú, se observa una mayor firmeza en la consistencia, atribuida a la alta concentración de tensioactivos sólidos, como el SCI, sin interferencias de otros ingredientes, como el extracto de Jamaica.

La ausencia de irritación en todas las formulaciones es un resultado favorable, especialmente en aquellas que incluyen extracto de Jamaica. Los polifenoles presentes en esta planta tienen efectos antioxidantes y antiinflamatorios, lo que puede contribuir a reducir la irritación cutánea. Aunque este estudio no evaluó exhaustivamente la irritabilidad de la piel, los resultados coinciden con investigaciones previas que sugieren

que el extracto de Jamaica puede mejorar la tolerancia cutánea en productos cosméticos (Albán et al., 2018).

A continuación, el análisis del pH presentado en la tabla 4 es fundamental, ya que el pH del champú juega un papel crucial en la estabilización del cuero cabelludo y en la minimización de la irritación ocular.

Tabla 4.
Análisis del pH, conductividad y espuma.

Muestra	Base de champú (%)	Extracto acuoso de Jamaica (%)	pH	Conductividad ($\mu S/cm$)	Espuma (cm)
1	88	12	5,95	7,70	14,7
2	75	25	5,78	6,71	17,5
3	81	19	5,87	6,87	16
4	100	0	6,21	6,95	12,5
5	88	12	5,98	7,74	14,5
6	94	6	6,03	7,51	14,0
7	100	0	6,19	6,98	12,0
8	88	12	5,92	7,75	14,6
9	75	25	5,75	6,68	17,7
10	100	0	6,23	6,99	12,8

Elaboración: Los autores.

Las formulaciones de los champús indican que la inclusión del extracto de Jamaica influye en diversas propiedades del producto. El pH de las formulaciones oscila entre 5.75 y 6.23, manteniéndose dentro del rango recomendado para productos cosméticos que no causan irritación en el cuero cabelludo (Abu Jdayil & Mohameed, 2004; Solarte Rodríguez & Benavides González, 2021). Este equilibrio de pH es esencial y favorece una buena tolerancia cutánea. Investigaciones anteriores destacan las propiedades antiinflamatorias y antioxidantes del extracto de Jamaica en la piel (Gubitosa et al., 2019).

Con respecto a la conductividad obtenida en las formulaciones con mayor concentración de extracto de Jamaica (25%) muestran una reducción en la conductividad, lo que podría deberse a la disminución de iones libres en la mezcla debido a la presencia de

compuestos bioactivos del extracto. Estos compuestos parecen interactuar con los tensioactivos presentes en la base del champú, lo que afecta las interacciones iónicas, como se ha documentado en estudios sobre surfactantes y extractos naturales en cosméticos. La conductividad varía de 6,68 a 7,75, sugiriendo diferencias en la capacidad de conducción eléctrica.

Por último, la formación de espuma en las formulaciones varía claramente según la cantidad de extracto de Jamaica utilizado. Las formulaciones que contienen un 25% de este extracto generan más espuma, alcanzando una altura de 17,7 cm. Este fenómeno se relaciona con la presencia de saponinas, compuestos conocidos por sus propiedades espumantes, tal como se ha documentado en estudios sobre su aplicación en productos de limpieza y cosméticos. Sin embargo, las formulaciones sin extracto presentan una espuma más firme, lo que sugiere que, aunque el extracto no influye en la estabilidad de la espuma, sí contribuye a aumentar su volumen. En consecuencia, las formulaciones con mayor concentración de extracto de Jamaica tienden a producir más espuma debido a las saponinas, que actúan como agentes espumantes naturales (Martins Freitas, 2013).

Tabla 5.
Actividad antioxidante por el método de FRAP

Muestra	Base de champoo (%)	Extracto acuoso de Jamaica (%)	Actividad antioxidante FRAP (eq. Trolox mg/g)
1	88	12	3,56
2	75	25	5,39
3	81	19	4,50
4	100	0	0,00
5	88	12	3,58
6	94	6	2,47
7	100	0	0,00
8	88	12	3,54
9	75	25	5,42
10	100	0	0,00

Elaboración: Los autores.

La formulación de champús sólidos con distintas concentraciones de extracto acuoso de Jamaica ha demostrado tener un efecto significativo en la actividad antioxidante de los productos. La tabla 5, muestra diez fórmulas diferentes, variando la proporción entre la base del champú y el extracto de Jamaica. La actividad antioxidante se midió utilizando el ensayo FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*), expresada en equivalentes de Trolox (mg/g).

Diseño experimental de mezclas

El análisis de diez formulaciones de champú muestra que la actividad antioxidante, medida mediante el método FRAP, varía significativamente según la proporción de base de champoo y extracto acuoso de Jamaica. Las formulaciones con un mayor porcentaje de extracto, como la número 2 (75% base y 25% extracto) y la número 9 (75% base y 25% extracto), presentan las mayores actividades antioxidantes, alcanzando valores de 5,39 y 5,42 eq. Trolox/g, respectivamente. En contraste, las formulaciones que contienen 100% de base de champoo sin extracto (números 4, 9 y 10) muestran una actividad antioxidante nula, destacando la importancia del extracto de Jamaica en la mejora de estas propiedades.

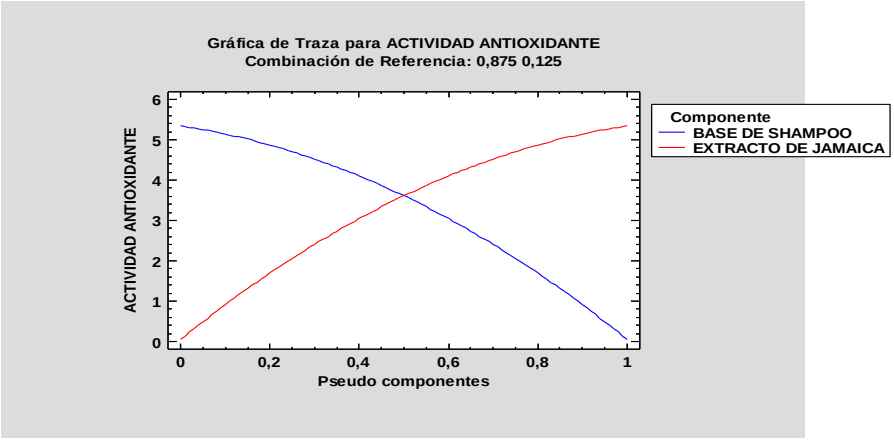

Figura 1. Traza para la actividad antioxidante.
Elaboración: Los autores.

La figura 1 muestra la relación entre la proporción de la base de champú y el extracto de Jamaica, con una combinación de referencia de 0,875 y 0,125, respectivamente. En el eje vertical se representa la actividad antioxidante, mientras que el eje horizontal indica la proporción de los componentes, que varía de 0 a 1. Se observa que a medida que aumenta la proporción del extracto de Jamaica (línea roja), la actividad antioxidante también aumenta, alcanzando un máximo cercano a 6.

Por otro lado, la actividad antioxidante de la base de champú (línea azul) disminuye a medida que se incrementa la proporción del extracto, indicando que la base por sí sola tiene una actividad antioxidante mucho menor. Este análisis resalta la importancia del extracto de Jamaica en la formulación del champú, sugiriendo que una mayor inclusión de este componente podría potenciar significativamente las propiedades antioxidantes del producto.

Se aplica el modelo cuadrático (Tabla 6) por su simplicidad y porque es menos probable que sufra de sobreajuste. Además, ser más robusto al aplicar los resultados a diferentes situaciones. El modelo cuadrático es más simple, fácil de interpretar, con menos parámetros y facilita la comprensión de la relación entre las variables.

Tabla 6.
Resultados del modelo completo.

Modelo	ES	R-Cuadrada	R-Cuadrada Ajd.
Lineal	0,493065	95,35	94,77
Cuadrático	0,183246	99,44	99,28
Cúbico	0,0694981	99,93	99,90

Elaboración: Los autores.

La tabla 7 muestra un análisis de varianza para el modelo cuadrático actualmente seleccionado. Dado que el valor-P para este modelo es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre la actividad antioxidante y los componentes, con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 7.
ANOVA para la actividad antioxidante del champú sólido.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo Cuadrático	41,5688	2	20,7844	618,97	0,0000
Error total	0,235054	7	0,0335791		
Total (corr.)	41,8038	9			

Elaboración: Los autores.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99,4377% de la variabilidad en la actividad antioxidante. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99,2771%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,183246.

A continuación en la tabla 8 se muestran los resultados de los valores para el ajuste del modelo para la actividad antioxidante.

Tabla 8.
Cuadrático resultados de ajustes del Modelo para la actividad antioxidante.

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
BCH: Base de champú	0,0593939	0,103365		
EJ: Extracto de jamaica	5,34135	0,125136		
BCH*EJ	3,64202	0,510385	7,13583	0,0002

Elaboración: Los autores.

A partir del análisis se propone la ecuación del modelo ajustado siguiente:

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE = 0,0593939*BCH+5,34135*EJ + 3,64202*BCH*EJ

La ecuación describe cómo la actividad antioxidante se ve afectada por la cantidad de base de champú y extracto de Jamaica, así como por su interacción. Esto sugiere que la formulación de estos componentes debe considerarse cuidadosamente para maximizar la actividad antioxidante del producto. La inclusión del término de interacción es crucial, ya que indica que no se puede evaluar el efecto de cada componente por separado; su combinación tiene un impacto significativo en la efectividad del producto.

DISCUSIÓN

Los resultados de la evaluación fitoquímica de los extractos acuoso y alcohólico revelan diferencias notables en la presencia de metabolitos, lo que sugiere que la elección del solvente tiene un impacto significativo en la solubilidad y extracción de compuestos bioactivos. Las saponinas fueron detectadas en cantidades considerables en el extracto acuoso, pero ausentes en el extracto alcohólico y son relativos a la actividad antioxidante. Esto puede indicar que las saponinas, que son conocidas por sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, son más solubles en agua, lo que refuerza la idea de que los métodos de extracción deben ser seleccionados cuidadosamente para maximizar la recuperación de metabolitos específicos (Khalili et al., 2022).

Por otro lado, la consistencia en la recuperación de flavonoides resalta su potencial como ingredientes funcionales que pueden contribuir a la calidad nutricional y a la salud del consumidor. Esto es relevante para aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica, donde los flavonoides pueden ser utilizados como aditivos naturales que mejoran la calidad nutricional y funcional de los productos (Cabrera & Mach, 2012).

Finalmente, la ausencia de alcaloides en ambos tipos de extractos indica que estos compuestos pueden no ser representativos de la muestra analizada o que su extracción requiere específicas que no se lograron en este estudio (Czerwiec et al., 2023). La presencia de quinonas en el extracto acuoso y su menor cantidad en el alcohólico sugiere

que estos metabolitos podrían tener propiedades específicas que aún necesitan ser investigadas. En conjunto, estos resultados subrayan la importancia de realizar un análisis exhaustivo de los métodos de extracción y su impacto en la recuperación de metabolitos bioactivos, lo que puede influir en futuras investigaciones y aplicaciones prácticas (Martínez Martínez, 2012).

El desarrollo de champú sólido resalta la influencia significativa de la proporción de base de champú y extracto acuoso de Jamaica en la actividad antioxidante, evaluada a través del método FRAP. Los datos indican que las formulaciones con mayor porcentaje de extracto, especialmente las formulaciones 2 y 9 (75% base y 25% extracto), mostraron las actividades antioxidantes más elevadas, alcanzando valores de 5,39 y 5,42 eq. Trolox/g, respectivamente. Esto contrasta notablemente con las formulaciones que contenían 100% de base, las cuales carecían de actividad antioxidante, evidenciando la necesidad del extracto de *Jamaica* para mejorar estas propiedades (Kuskoski et al., 2004).

El gráfico de traza (Figura 1) sobre la actividad antioxidante confirma que, al aumentar la proporción de extracto de jamaica, la actividad antioxidante también se incrementa, llegando a un máximo cercano a 6 eq. Trolox/g, mientras que la base de champú muestra una disminución en su actividad antioxidante al incrementar la proporción del extracto. Este hallazgo resalta la función crucial del extracto en la formulación, sugiriendo que su mayor inclusión podría potenciar significativamente las propiedades del producto (Al Badi & Khan, 2014).

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) y las estadísticas de ajuste del modelo cuadrático corroboran que existe una relación estadísticamente significativa entre la actividad antioxidante y los componentes del champú (valor-P < 0,05). El modelo cuadrático, aunque se ajusta bien a los datos (R-cuadrada = 99,44), sugiere que la complejidad excesiva de un modelo cúbico podría conducir a un sobreajuste, lo cual limita su aplicabilidad a otros conjuntos de datos. Por tanto, el modelo cuadrático es preferible,

ya que es más sencillo y facilita la interpretación de las relaciones entre variables (Leyva Jiménez et al., 2022).

Además, la ecuación del modelo ajustado indica que la actividad antioxidante está influenciada por las cantidades de base de champú y extracto de Jamaica, así como por su interacción, lo que implica que la formulación de estos componentes debe ser cuidadosamente considerada para maximizar la efectividad del producto. Los resultados estimados, junto con los intervalos de confianza del 95%, confirman la validez de los ajustes del modelo, y sugieren que una formulación óptima sería aquella con un 75% de base de champú y un 25% de extracto de Jamaica, lo que maximiza la actividad antioxidante en el champú sólido desarrollado (Leyva Jiménez et al., 2022).

CONCLUSIONES

Se logró el desarrollo de un champú sólido antioxidante utilizando extracto de *Hibiscus sabdariffa*, cumpliendo así el objetivo de innovar en cosméticos sostenibles. Los resultados del tamizaje fitoquímico revelaron que la elección del solvente es crucial para la extracción de metabolitos bioactivos. Las saponinas, presentes en el extracto acuoso, demostraron ser compuestos clave en la actividad antioxidante del producto, enfatizando la necesidad de elegir métodos de extracción adecuados para maximizar la recuperación de estos componentes beneficiosos.

La caracterización fisicoquímica del champú sólido mostró que las antocianinas presentes en el extracto de Jamaica contribuyen no solo al color distintivo del producto, sino también a sus propiedades funcionales. Las formulaciones con extracto de Jamaica presentaron una buena consistencia y capacidad de generar espuma, y aseguraron una experiencia sensorial agradable, por su suavidad y la ausencia de irritación en la piel, alineándose con estudios previos sobre las propiedades calmantes de esta planta.

Los resultados estimados, junto con los intervalos de confianza del 95%, confirman la validez de los ajustes del modelo y sugieren que una formulación óptima sería aquella

con un 75% de base de champú y un 25% de extracto de Jamaica, lo que maximiza la actividad antioxidante en el champú sólido desarrollado.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a la Universidad Estatal Amazónica por brindar el apoyo y los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe conflicto de intereses entre los autores.

REFERENCIAS CONSULTADAS

Al Badi, K., & Khan, S. A. (2014). Formulation, evaluation and comparison of the herbal shampoo with the commercial shampoos. *Beni Suef Univ J Basic Appl Sci, 3*(4), 301-305. https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2014.11.005

Albán, M., Echavarría Vélez, A. P., & Domínguez, L. (2018). Composición nutricional y propiedades funcionales de flores. *Saber, 30,* 498-507. https://n9.cl/wvzor

Abu Jdayil, B., & Mohameed, H. A. (2004). Rheology of Dead Sea shampoo containing the antidandruff climbazole. *Int J Cosmet Sci, 26*(6), 281-289. https://doi.org/10.1111/j.1467-2494.2004.00240.x

Brito, I., Ferreira, S. M., & Santos, L. (2023). On the Path to Sustainable Cosmetics: Development of a Value-Added Formulation of Solid Shampoo Incorporating Mango Peel Extract. *Cosmetics, 10*(5),140. https://doi.org/10.3390/cosmetics10050140

Cabrera, A., & Mach, N. (2012). Flavonoides como agentes quimiopreventivos y terapéuticos contra el cáncer de pulmón. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética, 16*(4), 143-153, https://doi.org/10.1016/S2173-1292(12)70089-3

Caicedo Aldaz, J. C., & Herrera Sánchez, D. J. (2022). El Rol de la Agroecología en el Desarrollo Rural Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos, 1*(2), 1-16. https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n2/24

Cid Ortega, S., & Guerrero Beltran, J. (2012). Propiedades funcionales de la jamaica (Hibiscus sabdariffa L.). Temas selectos de ingeniería de los alimentos, 6(2), 47-63. https://n9.cl/bjdmf

Czerwiec, A., Paret, N., Guitton, J., & Cohen, S. (2023). Intoxication par vératre : description d'un cas grave et identification des alcaloïdes contenus dans la plante. *Toxicologie Analytique et Clinique, 35*(4), 355-361. https://doi.org/10.1016/j.toxac.2023.07.001

Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano Tixier, A. S., & Abert Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrason Sonochem, 34,* 540-560. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035

Dahua Gualinga, R. D., Rivera Barreto, J. L., Rodríguez Almeida, N. N., & Sancho Aguilera, D. (2024). Actividad antimicrobiana, antifúngica y tamizaje fitoquímico de Simira cordifolia. *Código Científico Revista de Investigación, 5*(1), 260-282. https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/n1/382

Galicia Flores, L. A., Salinas Moreno, Y., Espinoza García, B. M., & Sánchez Feria, C. (2008). Caracterización fisicoquímica y actividad antioxidante de extractos de jamaica (Hibiscus sabdariffa L.) nacional e importada. *Rev. Chapingo Ser.Hortic. 14*(2):121-129. https://n9.cl/8sk69

Gubitosa, J., Rizzi, V., Fini, P., & Cosma, P. (2019). Hair Care Cosmetics: From Traditional Shampoo to Solid Clay and Herbal Shampoo, A Review. *Cosmetics, 6*(1), 13. https://doi.org/10.3390/cosmetics6010013

Khalid, M. U., Shabbir, M. A., Mustafa, S., Hina, S., Quddoos, M. Y., Mahmood, S., et al. (2021). Effect of Apple peel as an antioxidant on the quality characteristics and oxidative stability of mayonnaise. *Applied Food Research, 1*(2), 100023. https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100023

Khalili, S., Saeidi Asl, M. R., Khavarpour, M., Vahdat, S. M., & Mohammadi, M. (2022). Comparative study on the effect of extraction solvent on total phenol, flavonoid content, antioxidant and antimicrobial properties of red onion (Allium cepa). *Food Measure, 16*(5), 3578-3588. https://doi.org/10.1007/s11694-022-01446-7

Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., García Parilla, M. C., Troncoso, A. M., & Fett, R. (2004). Actividad antioxidante de pigmentos antociánicos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos, 24*(4), 691-693. https://doi.org/10.1590/S0101-20612004000400036

Leyva Jiménez, F. J., Fernández Ochoa, Á., Cádiz Gurrea, M. de la L., Lozano Sánchez, J., Oliver Simancas, R., Alañón, M. E., et al. (2022). Application of Response Surface Methodologies to Optimize High-Added Value Products Developments: Cosmetic Formulations as an Example. *Antioxidants, 11*(8), 1552. https://doi.org/10.3390/antiox11081552

López Sánchez, J. A., Mesa Gallego, C., Hernández Ortiz, J., & Rojas Arias, J. P. (2024). Tendencias en competencias de innovación y emprendimiento en IES. *Journal of Economic and Social Science Research, 4*(3), 165-181. https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n3/115

Lunkenheimer, K., & Malysa, K. (2003). Simple and generally applicable method of determination and evaluation of foam properties. *J Surfactants Deterg, 6*(1), 69-74. https://doi.org/10.1007/s11743-003-0251-8

Martins Freitas, N., Correa Mouzinho Santos, A. M., & Oliveira Moreira, L. R. (2013). Avaliação fitoquímica e determinação de minerais em amostras de Hibiscus sabdariffa L (vinagreira). *Cadernos de Pesquisa, 20*(3), 65-72. http://dx.doi.org/10.18764/2178-2229.v20n3p65-72

Mieles Giler, J. W., Guerrero Calero, J. M., Moran González, M. R., & Zapata Velasco, M. L. (2024). Evaluación de la degradación ambiental en hábitats Naturales. *Journal of Economic and Social Science Research, 4*(3), 65-88. https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n3/121

Pudaruth, S., Juwaheer, T. D., & Seewoo, Y. D. (2015) Gender-based differences in understanding the purchasing patterns of eco-friendly cosmetics and beauty care products in Mauritius: a study of female customers. *Social Responsibility Journal, 11*(1),179-198. https://doi.org/10.1108/SRJ-04-2013-0049

Quispe Romero, A., Ticona Tito, G., Viza Salas, A., Quispe Tello, R., Cervantes Alagón, S. (2023). Capacidad antioxidante y taninos de la planta altoandina Jinchu Jinchu (Usuchjata Gistapama): Un estudio in vitro. *Revista Acciones Médicas, 2*(3), 67–75. https://doi.org/10.35622/j.ram.2023.03.005

Ramón, C., & Gil Garzón, M. A. (2021). Efecto de los parámetros de operación de la extracción asistida por ultrasonido en la obtención de polifenoles de uva: una revisión. *TecnoLógicas, 24*(51):e1822. https://doi.org/10.22430/22565337.1822

Rivera Barreto, J. L., Rodríguez Almeida, N. N., Conforme Garcia, M. M., & Dahua Gualinga, R. D. (2024). Actividad antifúngica de un ungüento desarrollado a partir de hojas de Bixa Orellana. *Reincisol, 3*(6), 437-460. https://doi.org/10.59282/reincisol.v3%286%29437-460

Rojas, F. E., & Saavedra Mera, K. A. (2022). Diversificación de Cultivos y su Impacto Económico en las Fincas Ecuatorianas. *Revista Científica Zambos, 1*(1), 51-68. https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n1/21

Rodríguez Ruiz, S., Arroyo Figueroa, G., & Trejo Basurto, R. I. (2016). Uso de Materias Primas Naturales en la Elaboración de Cosméticos y su Control de Calidad. *Jóvenes en la ciencia, 2*(1), 1476-1480.

Salazar González, C., Vergara, T., Ortega, A., & Guerrero Beltran, J. (2012). Antioxidant properties and color of Hibiscus sabdariffa extracts. *Ciencia e investigación agraria, 39*(1), 79–90. http://doi.org/10.4067/S0718-16202012000100006

Solarte Rodríguez, S., & Benavides González, J. M. (2021). Aproximación multiescala de la relación entre la textura de un cosmético y los componentes presentes en su formulación base. [Trabajo de grado, Universidad de los Andes]. Séneca, Repositorio Institucional. http://hdl.handle.net/1992/55691

©2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia CreativeCommons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).