



*Evaluación de las propiedades antioxidantes y físicas de una crema exfoliante desarrollada a partir de la cáscara de *Mauritia flexuosa* L. (morete)*

*Evaluation of the antioxidant and physical properties of an exfoliating cream developed from the peel of *Mauritia flexuosa* L. (morete)*

*Avaliação das propriedades antioxidantes e físicas de um creme esfoliante desenvolvido a partir da casca de *Mauritia flexuosa* L. (morete)*

Jannys Lizeth Rivera-Barreto ^I

jl.riverab@uea.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0009-2172-0529>

Nancy Narcisa Rodríguez-Almeida ^{III}

nn.rodriguez@uea.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0000-8843-920X>

Sting Brayan Luna-Fox ^{II}

sb.lunaf@uea.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6058-7024>

Ruth Dayra Dahua-Gualinga ^{IV}

rd.dahuag@uea.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0009-3472-6540>

Correspondencia: jl.riverab@uea.edu.ec

Ciencias de la Educación
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 39 de diciembre de 2023 * **Aceptado:** 10 de enero de 2024 * **Publicado:** 20 de febrero de 2024

- I. Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador.
- II. Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador.
- III. Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador.
- IV. Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador.

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar las propiedades antioxidantes y físicas de una crema exfoliante desarrollada a partir de la cáscara de *Mauritia flexuosa* L. (morete). La caracterización de la cáscara de morete se determinó mediante la metodología AOAC 2023. Se determinó el pH, viscosidad y extensibilidad de cada crema formulada. El contenido de polifenoles totales se calculó mediante el método de Folin-Ciocalteu y la actividad antioxidante se midió por la técnica Frap. Se planteó un diseño factorial para evaluar el efecto de la adición de cáscara de morete en las cremas sobre los polifenoles totales y actividad antioxidante. Los resultados muestran que la cáscara de morete posee 2.43% de ceniza, 46.28% de humedad, 7.81% de proteína bruta, 8.42% de grasa y 14.50 mg/100g carbohidratos totales. Los resultados de pH, viscosidad y extensibilidad variaron de 6.26 a 7.28, 6416.8 a 8642.2 mPa.s y 8.2 a 9.9 cm respectivamente. La adición del 8% de cáscara de morete en las cremas generó los niveles más altos de polifenoles totales y actividad antioxidante, con valores de 42.65 mg EAG/100 g y 169800 µg eq. Trólox/100 g. Estos resultados ofrecen valiosa información para el desarrollo de formulaciones cosméticas enriquecidas con propiedades antioxidantes derivadas de la cáscara de morete.

Palabras clave: Actividad antioxidante; Folin-Ciocalteu; Frap; Polifenoles totales.

Abstract

The objective of the present study was to evaluate the antioxidant and physical properties of an exfoliating cream developed from the peel of *Mauritia flexuosa* L. (morete). The characterization of the morete peel was determined using the AOAC 2023 methodology. The pH, viscosity and extensibility of each formulated cream were determined. The total polyphenol content was calculated using the Folin-Ciocalteu method and the antioxidant activity was measured by the Frap technique. A factorial design was proposed to evaluate the effect of adding morete peel to creams on total polyphenols and antioxidant activity. The results show that the morete peel has 2.43% ash, 46.28% humidity, 7.81% crude protein, 8.42% fat and 14.50 mg/100g total carbohydrates. The results of pH, viscosity and extensibility ranged from 6.26 to 7.28, 6416.8 to 8642.2 mPa.s and 8.2 to 9.9 cm respectively. The addition of 8% morete peel in the creams generated the highest levels of total polyphenols and antioxidant activity, with values of 42.65 mg EAG/100 g and 169800 µg eq. Trolox/100 g. These results offer valuable information for the development of cosmetic formulations enriched with antioxidant properties derived from morete peel.

Keywords: Antioxidant activity; Folin-Ciocalteu; Frap; Total polyphenols.

Resumo

O objetivo do presente estudo foi avaliar as propriedades antioxidantes e físicas de um creme esfoliante desenvolvido a partir da casca de *Mauritia flexuosa* L. (morete). A caracterização da casca de morete foi determinada utilizando a metodologia AOAC 2023. Foram determinados o pH, a viscosidade e a extensibilidade de cada creme formulado. O teor total de polifenóis foi calculado pelo método Folin-Ciocalteu e a atividade antioxidante foi medida pela técnica Frap. Um planejamento fatorial foi proposto para avaliar o efeito da adição de casca de morete em cremes sobre os polifenóis totais e a atividade antioxidante. Os resultados mostram que a casca do morete possui 2,43% de cinzas, 46,28% de umidade, 7,81% de proteína bruta, 8,42% de gordura e 14,50 mg/100g de carboidratos totais. Os resultados de pH, viscosidade e extensibilidade variaram de 6,26 a 7,28, 6.416,8 a 8.642,2 mPa.s e 8,2 a 9,9 cm respectivamente. A adição de 8% de casca de morete nos cremes gerou os maiores teores de polifenóis totais e atividade antioxidante, com valores de 42,65 mg EAG/100 g e 169.800 µg eq. Trolox/100g. Estes resultados oferecem informações valiosas para o desenvolvimento de formulações cosméticas enriquecidas com propriedades antioxidantes derivadas da casca de morete.

Palavras-chave: Atividade antioxidante; Folin-Ciocalteu; Frap; Polifenóis totais.

Introducción

La palma de moriche, *Mauritia flexuosa* L. conocida como morete, es una planta leñosa de la familia Arecaceae que se encuentra en la zona tropical del centro y norte de América del Sur (Virapongse et al., 2017). Su distribución geográfica abarca desde el piedemonte andino oriental hasta las tierras bajas de Venezuela, Guyana, Surinam, Brasil y las islas de Trinidad y Tobago (Hoek et al., 2019). Conocida por su importancia económica y cultural, la palma de moriche se adapta a una variedad de hábitats, desde áreas de montaña hasta tierras bajas tropicales. Sus frutos, llamados moriches o aguaje, conocida en la Amazonía Ecuatoriana como morete, son apreciados por su valor nutricional y se utilizan en la producción de aceites y bebidas. La planta también desempeña un papel significativo en las tradiciones y la vida cotidiana de las comunidades locales (Pérez y Hurtado, 2021).

El morete se distingue por sus imponentes racimos de frutas rojas y la versatilidad de sus componentes. La cáscara de esta fruta, hasta ahora un tesoro oculto, ha demostrado albergar propiedades excepcionales que merecen una atención especial, principalmente cuando se trata del cuidado de la piel; rico en antioxidantes, este recurso natural puede convertirse en un ingrediente fundamental en la formulación de productos de cuidado personal, abriendo así las puertas a nuevas posibilidades en la industria de la belleza (Melgarejo et al., 2023).

El aprovechamiento de las propiedades del morete para la elaboración de productos de cuidado de la piel no solo resalta la sabiduría ancestral de las comunidades que han coexistido con esta palma, sino que también representa una convergencia entre la tradición y la ciencia moderna. Las propiedades únicas de la cáscara de morete, que incluyen una abundancia de compuestos antioxidantes, ofrecen un potencial revolucionario para la industria cosmética (Revilla-Chávez et al., 2021).

Las cremas exfoliantes son elementos fundamentales en las rutinas de cuidado de la piel, ya que desempeñan un papel crucial en la eliminación de células muertas, revelando así una piel renovada y radiante (Rivadeneira et al., 2020). Al integrar la cáscara de morete en esta fórmula, no solo se añade un componente exfoliante natural, sino que también se infunde la piel con las propiedades antioxidantes distintivas de la palma amazónica.

La importancia de desarrollar una crema exfoliante de morete con contenido antioxidante se fundamenta en la capacidad de estos compuestos para contrarrestar los efectos dañinos de los radicales libres en la piel. La exposición diaria a factores ambientales, como la radiación ultravioleta y la contaminación, genera radicales libres que pueden desencadenar procesos de envejecimiento prematuro y contribuir al deterioro de la salud cutánea. Al integrar antioxidantes provenientes de la cáscara de morete en una crema exfoliante, se propicia un escudo protector que no solo rejuvenece la piel, sino que también la fortalece contra los estragos del entorno.

Esta investigación no solo persigue la creación de un producto innovador, sino que también se sitúa en el epicentro de los avances científicos en el campo dermatológico. La evaluación de las propiedades antioxidantes y físicas de la crema exfoliante no solo proporcionará una comprensión más profunda de los beneficios que esta materia prima puede aportar a la piel, sino que también abrirá nuevas perspectivas en la búsqueda de soluciones naturales y sostenibles para el cuidado de la piel.

Este estudio tuvo como objetivo evaluar las propiedades antioxidantes y físicas de una crema exfoliante desarrollada a partir de la cáscara de *Mauritia flexuosa* L. (morete).

Metodología

Localización

El presente estudio se desarrolló en los laboratorios de Química y Bromatología de la Universidad Estatal Amazónica ubicada en el km 2 ½ vía al Tena, provincia Pastaza con altitud de 940 m.s.n.m., latitud de 00 59' -1" y longitud de 7749' 0'.

Materia prima

El morete fue adquirido en el mercado local de la ciudad de Puyo, localizado en la provincia de Pastaza-Ecuador. En primer lugar, se retiró la cáscara del morete, y esta se sometió a un proceso de secado en estufa a 65°C durante un período de 2 días, hasta alcanzar un peso constante. Posteriormente, el material seco fue procesado en un molino industrial THOMAS-Wiley, modelo 4 Wiley Mill y motor de 1725 rpm. El material resultante fue tamizado para obtener partículas con un diámetro de 1 mm.

Análisis fisicoquímico de la cáscara del morete

Los análisis de humedad, ceniza, proteína bruta, grasa y carbohidratos totales fueron determinados empleando la metodología de la AOAC (2023).

Elaboración de las cremas

Se siguieron las pautas establecidas por la metodología de (Delgado, Zapata et al., 2019). El proceso de elaboración constó de dos fases. En la primera fase, conocida como la fase oleosa, se combinaron alcohol cetílico, ácido esteárico y lanolina, y se calentó a 70 °C con agitación lenta hasta lograr una mezcla homogénea. La segunda fase, denominada fase acuosa, estuvo compuesta por agua a 70 °C, glicerina, dimeticona y aceite de cristal. Luego, a 70 °C y con agitación constante, se incorporó la fase oleosa a la fase acuosa, seguida de la adición de etamina. A una temperatura de 40 °C, se introdujo el sodio metilparabeno. Finalmente, se añadieron diferentes porcentajes de cáscara de morete según el diseño experimental planteado, y las cremas resultantes se almacenaron en refrigeración a 5°C hasta su posterior análisis.

Obtención de extractos

Se preparó una disolución de agua-acetona en una proporción 70:30, para luego añadir 6 mL de esta disolución en 1 g de crema exfoliante, esta mezcla se agitó en un vórtex por 45 minutos. Luego,

las muestras fueron centrifugadas en un equipo eppendorf - Centrifuge 5804, a 5000 rpm durante 20 minutos; Finalmente, los sobrenadantes se filtraron en volumétricos de 10 mL y los análisis de polifenoles totales y actividad antioxidante fueron realizados de inmediato.

Determinación de compuestos polifenólicos totales

Se empleó la metodología utilizada por Luna-Fox et al., (2023). Se colocó 1 mL del extracto líquido en un matraz 10 mL y se mezcló con 0.5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu, diluido a la mitad con agua desmineralizada; esta mezcla se colocó en reposo durante 10 minutos. Trascorrido este tiempo, se añadieron 0.5 mL de carbonato de sodio al 20 % y se completó el volumen con agua destilada. La disolución resultante fue agitada y se dejó en reposo durante 2 horas a temperatura ambiente. Finalmente, la lectura de absorbancia se realizó a 765 nm.

La concentración de polifenoles se calculó mediante la aplicación de una curva de calibración elaborada con ácido gálico, expresando los resultados en miligramos equivalentes de ácido gálico por cada 100 gramos de crema (mg EAG/100 g). Para realizar este cálculo, se empleó la ecuación (1) según (Arteaga-Crespo et al., 2017)

$$A=0.0734C-0.0028 \quad (1)$$

Donde:

A: Absorbancia de la muestra

C: Concentración de la muestra (mgL⁻¹)

Determinación de la actividad antioxidante por el método Frap

La valoración de la capacidad antioxidante se ejecutó a través del método FRAP, siguiendo el procedimiento propuesto por Benzie y Strain (1996). Se incorporaron 80 µL del extracto en un matraz aforado de 10 mL, al cual se adicionaron 5 mL de la disolución FRAP recién preparada. Posterior a la adición del reactivo, se completó el volumen del matraz con agua destilada hasta llegar a los 10 mL y se dejó reposar a una temperatura de 37°C durante 30 minutos. La lectura se efectuó a una longitud de onda de 593 nm en comparación con la solución de control.

La disolución FRAP se formuló mediante la mezcla de 2.5 mL de una disolución de 2,4,6-piridil-striazina (TPTZ) con 2.5 mL de disolución de cloruro de hierro III y 25 mL de tampón acetato. Para la preparación de la solución de TPTZ, se pesaron 0.03 g del reactivo y se disolvieron en un matraz aforado de 10 mL, diluyéndolo con ácido clorhídrico 40 mM hasta completar el enrase. El tampón de acetato se obtuvo disolviendo 0.0061 g de acetato de sodio en 200 mL de agua destilada; se ajustó el pH a 3.5 con ácido clorhídrico 40 mM y se completó el volumen hasta 250 mL con

agua destilada. La disolución de cloruro de hierro (III) se preparó disolviendo 0.1352 g en 25 mL de agua destilada. Los resultados se expresaron en microgramos equivalentes de Trolox por cada 100 gramos de crema ($\mu\text{g eq. Trólox}/100 \text{ g}$), utilizando la ecuación (2).

$$C = \frac{A}{0,1879} \quad (2)$$

donde:

A: Absorbancia de las muestras leídas a 593 nm.

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

Determinación de pH

Se preparó una disolución al 10% (m/v) en agua ultrapura para cada crema, agitándola durante 5 minutos. Posteriormente, se registró la lectura con un pH-metro. (Lee & Cha, 2019).

Prueba de extensibilidad

Se colocó 1 gramo de muestra en el centro de una placa de vidrio de 20x20 cm. Posteriormente, se posicionó otra placa de dimensiones idénticas sobre la muestra, seguida de un peso de 125 gramos. Este procedimiento se repitió para todas las mezclas. Después de transcurrir 1 minuto, se retiró el peso y se registró el diámetro obtenido.

Viscosidad

Se empleó un viscosímetro de la marca Brookfield equipado con una aguja de tamaño #4. Las lecturas se llevaron a cabo a una temperatura de $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$, con un intervalo de espera entre cada crema de 2 minutos.

Análisis Microbiológico

Las muestras fueron sometidas a diversas pruebas microbiológicas, que incluyeron recuentos de aerobios mesófilos (TCR), mohos y levaduras (YM), así como detección de *E. coli*/coliformes (EC) y *Staphylococcus aureus* (XSA). Estas pruebas se llevaron a cabo utilizando placas Compact Dry específicas para cada tipo de microorganismo, se usaron diluciones 1/10 de cada una de las muestras y se inoculó 1000 microlitros en el centro de las placas.

Análisis estadístico

Se planteó un diseño factorial de un factor para probar la influencia de la adición de diferentes porcentajes (Tabla 1) de cáscara de morete sobre la concentración de compuestos polifenólicos totales y actividad antioxidante de las cremas formuladas. El análisis estadístico se realizó mediante el software design experte versión 10.

Tabla 1. Niveles del factor de estudio

Variable independiente	Niveles			
	Símbolo	Bajo	Medio	Alto
		-1	0	+1
Cáscara de morete (%)	A	4	6	8

Resultados

Caracterización fisicoquímica de la cáscara de morete

Los resultados de los análisis efectuados en la cáscara del morete se detallan en la tabla 2. El contenido de ceniza del 2.43% indica la existencia de minerales esenciales para la salud. La ceniza, en su mayoría compuesta por minerales y otros componentes inorgánicos, muestra una consistencia notable con los hallazgos reportados por (Rivera et al., 2022). Asimismo, se encontró que la humedad promedio de la cáscara de morete fue de 46.28%, lo cual concuerda con lo mencionado por Mendieta-Aguilar et al. (2017).

Por otro lado, los resultados de proteína, grasa y carbohidratos registrados respectivamente en 7.81%, 8.42% y 14.50 mg/100g fueron inferiores a los alcanzados por Espinosa et al. (2020) en la pulpa del morete. Estos valores resaltan la variabilidad nutricional dentro del mismo fruto y sugiere que diferentes partes pueden ofrecer perfiles nutricionales distintos. Esto tiene implicaciones importantes para la utilización de diferentes partes del morete con fines nutricionales.

Tabla 2. Análisis fisicoquímicos de la cáscara de morete

C	H	PB	GT	CT
(%)	(%)	(%)	(%)	(mg/100g)
2.43	46.28	7.81	8.42	14.50

C: ceniza, H: humedad, PB: proteína bruta, GT: grasa total, CT carbohidratos totales

Parámetros físicos evaluados en las cremas formuladas

Los resultados obtenidos de la medición de pH, viscosidad y extensibilidad en las cremas formuladas (Tabla 3) se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma técnica ecuatoriana INEN 2867:2015. En particular, los valores de pH oscilan entre 6.26 y 7.28, indicando que las cremas exfoliantes poseen un pH óptimo para la piel. La viscosidad, medida en el intervalo

de 6416.8 a 8642.2 mPa.s, se sitúa en niveles elevados, lo que sugiere una consistencia adecuada para la aplicación de las cremas. Por otro lado, la extensibilidad varía de 8.2 a 9.9 cm, revelando una baja capacidad de extensión.

Estos resultados son relevantes en el contexto de la formulación de cremas exfoliantes, ya que un pH adecuado es crucial para evitar irritaciones en la piel, mientras que una viscosidad elevada puede contribuir a una aplicación más efectiva y uniforme del producto. La baja extensibilidad, por otro lado, indica que las cremas poseen una textura que no tiende a extenderse excesivamente, lo cual puede ser beneficioso para su aplicación controlada. Los valores medidos sugieren que las cremas formuladas cumplen con los estándares establecidos y poseen características que las hacen adecuadas para su uso como productos exfoliantes. Estos hallazgos respaldan la calidad y eficacia de las cremas en función de sus propiedades físicas, contribuyendo así a su potencial aceptación y utilidad en el ámbito de los productos cosméticos.

Tabla 3: Parámetros físicos medidos en las cremas formuladas

% Cáscara	PH	viscosidad a 50 rpm (mPas)	Extensibilidad (cm)
4	7.19	8642.2	9.8
8	6.32	6528.3	8.3
5.5	6.91	8506.1	9.6
8	6.3	6513.1	8.5
7.28	6.45	6991.3	8.8
8	6.26	6416.8	8.2
5	6.98	8335.8	9.5
6	6.74	7214.4	9.3
6.6	6.51	7571.4	9.2
6	6.65	7321.6	9.4
4.5	7.09	8431.7	9.8
4	7.28	8365.3	9.9
6	6.62	7245.6	9.5

Análisis microbiológicos aplicados a las cremas

Después de cultivar las muestras de las diferentes cremas en las placas Compact Dry, se registró un crecimiento máximo en TCR de 11 colonias (1.1×10^2 UFC/g) en la crema con un 8% de contenido de cáscara de morete (Tabla 4). No obstante, según la normativa ARCSA (2017), los límites permisibles para Mesófilos Aerobios Totales en cosméticos son de un máximo de 5×10^3 UFC/g. Estos resultados indican que todas las formulaciones cumplen con los límites establecidos. Además, se observó la ausencia de crecimiento en las placas para YM, EC y XSA, lo que confirma el cumplimiento de las normativas establecidas por la misma institución para estos parámetros.

Tabla 4: Análisis microbiológicos aplicados a las cremas formuladas

% Cáscara	TCR (#Colonias)	TCR (UFC/g)	YM (#colonias)	YM (UFC /g)	EC (#colonias)	EC (UFC /g)	XSA (#colonias)	XSA (UFC /g)
4	5	0.5×10^2	0	0	0	0	0	0
8	11	1.1×10^2	0	0	0	0	0	0
5.5	7	0.7×10^2	0	0	0	0	0	0
8	13	1.3×10^2	0	0	0	0	0	0
7.28	10	1.0×10^2	0	0	0	0	0	0
8	11	1.1×10^2	0	0	0	0	0	0
5	7	0.7×10^2	0	0	0	0	0	0
6	10	1.0×10^2	0	0	0	0	0	0
6.6	10	1.0×10^2	0	0	0	0	0	0
6	8	0.8×10^2	0	0	0	0	0	0
4.5	8	0.8×10^2	0	0	0	0	0	0
4	6	0.6×10^2	0	0	0	0	0	0
6	9	0.9×10^2	0	0	0	0	0	0

Efecto de la adición de la cáscara de morete en la concentración de polifenoles totales (PT) y actividad antioxidante (AO) de las cremas elaboradas

El análisis de varianza (Tabla 5) indicó que el factor estudiado (% de cáscara) presentó diferencia estadística ($p < 0.05$) sobre los PT y AO. Los valores F, situados en 319.20 y 2205.28 para PT y AO respectivamente, indican que los modelos son altamente significativos, con tan solo un 0.01% de probabilidad de que tales valores F tan elevados se deban al ruido. Así mismo, los valores de p

inferiores a 0.05 indican que los términos del modelo son estadísticamente significativos. En este caso A, A², A³ son términos significativos.

Por otro lado, el valor F de falta de ajuste de 3.98 y 1.69 para PT y AO indican que la falta de ajuste no es significativa en relación con el error puro. En este sentido, una falta de ajuste no significativa es considerada positiva, ya que el objetivo es lograr un ajuste adecuado del modelo. Estos hallazgos respaldan la robustez y la idoneidad de los modelos, destacando su capacidad para explicar la variabilidad observada en los parámetros PT y AO.

Tabla 5. ANOVA para el modelo factorial seleccionado de PT y AO

PT	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F-valor	p-valor
Modelo	288.26	3	96.09	319.20	< 0.0001 significativo
A-Cáscara	1.03	1	1.03	3.42	0.0176
A ²	4.61	1	4.61	15.33	0.0035
A ³	14.43	1	14.43	47.93	< 0.0001
Residual	2.71	9	0.3010		
Falta de ajuste	2.06	4	0.5155	3.98	0.0809 no significativo
Error puro	0.6470	5	0.1294		
Total corregido	290.97	12			

AO	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F-valor	p-valor
Modelo	6.210E+09	3	2.070E+09	2205.28	< 0.0001 significativo
A-Cáscara	1.798E+08	1	1.798E+08	191.57	< 0.0001
A ²	2.630E+08	1	2.630E+08	280.19	< 0.0001
A ³	7.985E+07	1	7.985E+07	85.07	< 0.0001
Residual	8.448E+06	9	9.386E+05		
Falta de ajuste	4.851E+06	4	1.213E+06	1.69	0.2881 no significativo
Error puro	3.597E+06	5	7.194E+05		
Total corregido	6.218E+09	12			

Las Figuras 1A y 1C destacan el impacto positivo del factor de estudio en los CP y AO, indicando un aumento en la concentración con el incremento del porcentaje de cáscara de morete. Además, se muestra que los resultados más altos de PT y AO se lograron adicionando el 8% de cáscara en las cremas elaboradas, consiguiendo valores de 42.48 mg EAG/100g y 168282 μ g eq Trolox/100g. Asimismo, los resultados representados en las figuras 1B y 1D evidencian que los datos experimentales satisfacen el supuesto de una distribución normal. Estas figuras no solo ilustran la adecuación de los datos a una distribución normal, sino que también respaldan la confiabilidad de las inferencias estadísticas derivadas de estos datos. La consideración de la normalidad es esencial para garantizar la robustez y la validez de los resultados obtenidos en el estudio.

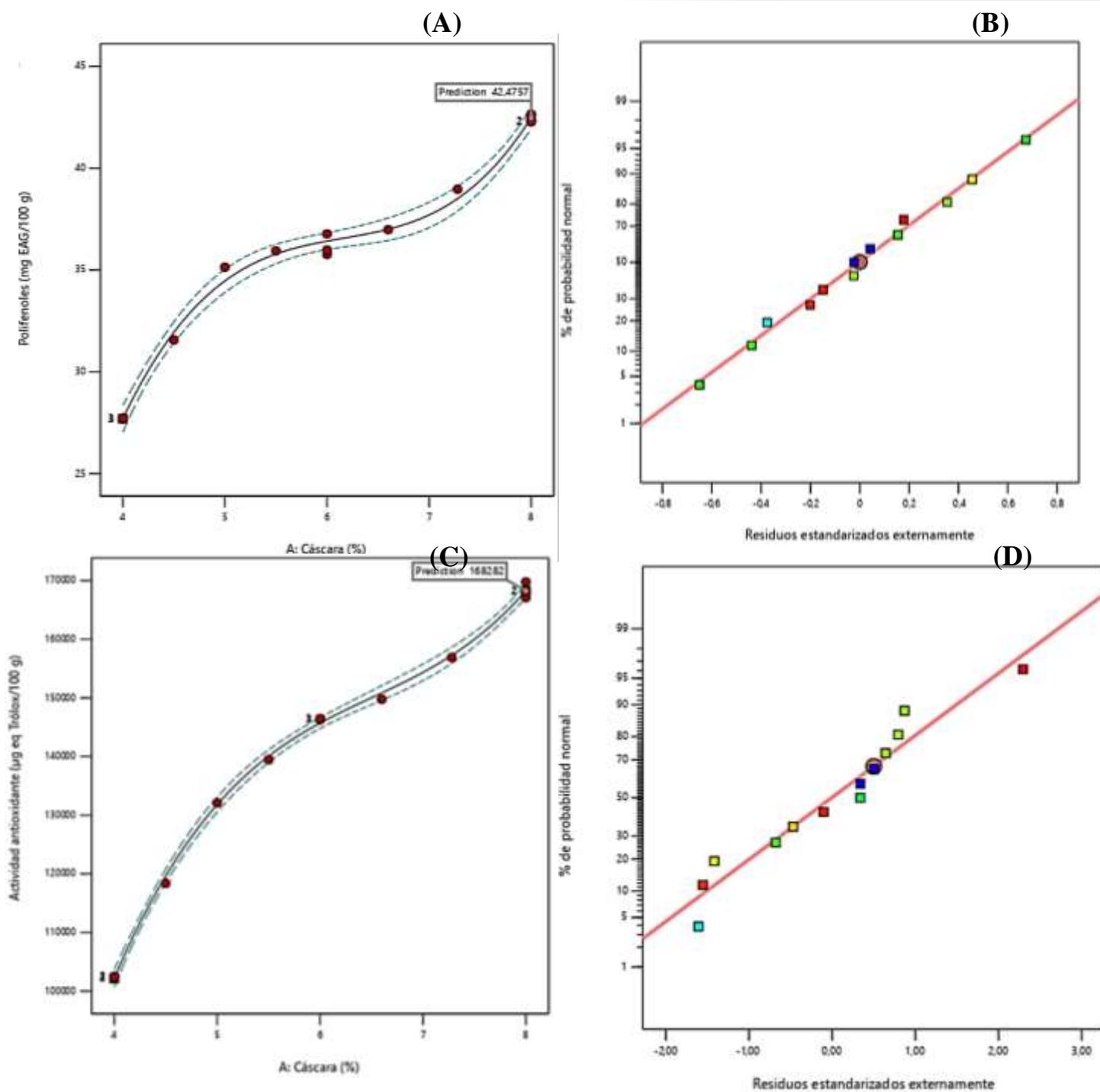


Figura 1. (A y C) Efecto del porcentaje de cáscara de morete en la concentración de PT y AO. (B y D) Distribución normal de datos experimentales.

Se analizaron seis modelos matemáticos (Tabla 6) generados por el software design expert, donde los polinomios de tercer grado arrojaron los mejores resultados con un R² de 0.9943 y 0.9986 para PT y AO respectivamente. Según Anderson y Whitcomb (2016) para que el modelo predictivo en una investigación sea adecuado, la diferencia entre R²-predicho y el R²-ajustado debe ser menor a 0.2. En este sentido, los resultados obtenidos en este estudio para los valores R² predichos muestran una congruencia razonable con los valores R² ajustados, cumpliendo con una diferencia inferior a 0.2, lo cual indica que existe consistencia en la capacidad de los modelos para explicar la variabilidad en los datos.

Tabla 6. Modelos predictivos de PT y AO en las cremas elaboradas

PT	Secuencial p-valor	Falta de ajuste p-valor	R ² -ajustado	R ² -predicho	
Lineal	< 0.0001	0.0019	0.9334	0.9134	
Cuadrático	0.1369	0.0023	0.9420	0.9238	
Cúbico	< 0.0001	0.2385	0.9924	0.9889	Sugerido
Cuartico	0.3055	0.2243	0.9926	0.9845	
Quinto	0.1069	0.3616	0.9943	0.9722	
Sexto	0.1577	0.6467	0.9954	0.9588	
AO	Secuencial p-valor	Falta de ajuste p-valor	R ² -ajustado	R ² -predicho	
Lineal	< 0.0001	< 0.0001	0.9403	0.9198	
Cuadrático	0.0003	0.0017	0.9830	0.9776	
Cúbico	< 0.0001	0.2881	0.9982	0.9972	Sugerido
Cuartico	0.1547	0.3647	0.9984	0.9969	
Quinto	0.4301	0.2943	0.9984	0.9958	
Sexto	0.6802	0.1488	0.9982	0.8816	

Los modelos matemáticos de tercer grado en términos de factores reales se pueden escribir de la siguiente manera:

$$PT = -130.59 + 79.65A - 19.79A^2 + 0.69A^3 \quad (3)$$

$$AO = -3.84 \cdot 10^5 + 2.30 \cdot 10^5 A - 34162.72A^2 + 1752.17A^3 \quad (4)$$

donde:

A-porcentaje de cáscara de morete

Las expresiones matemáticas facilitan la realización de predicciones sobre la respuesta a niveles específicos del factor estudiado. En este contexto, resulta fundamental especificar esos niveles en las unidades originales. No obstante, es relevante subrayar que esta ecuación no debe utilizarse para determinar el impacto relativo de cada factor, dado que los coeficientes han sido ajustados para adecuarse a las unidades originales, y la intersección no está ubicada en el centro del espacio de diseño.

Los resultados experimentales y aquellos obtenidos del modelo matemático fueron calculados y se muestran de manera detallada en la Tabla 7 y la Figura 2.

Tabla 7. Valores experimentales y predichos de PT y AO

Experimento	Valor experimental	Valor predicho	Valor experimental	Valor predicho
(% cáscara)	mg EAG/100g	mg EAG/100g	µg eq Trólox/100 g	µg eq Trólox/100 g
4	27.67	27.70	1.025E+05	1.022E+05
8	42.33	42.48	1.671E+05	1.683E+05
5.5	35.94	35.79	1.395E+05	1.401E+05
8	42.27	42.48	1.682E+05	1.683E+05
7.28	38.97	38.51	1.569E+05	1.573E+05
8	42.65	42.48	1.698E+05	1.683E+05
5	35.14	34.47	1.321E+05	1.318E+05
6	36.77	36.42	1.463E+05	1.457E+05
6.6	36.98	37.01	1.498E+05	1.509E+05
6	35.77	36.42	1.464E+05	1.457E+05
4.5	31.57	31.94	1.184E+05	1.196E+05
4	27.74	27.70	1.024E+05	1.022E+05
6	35.98	36.42	1.465E+05	1.457E+05

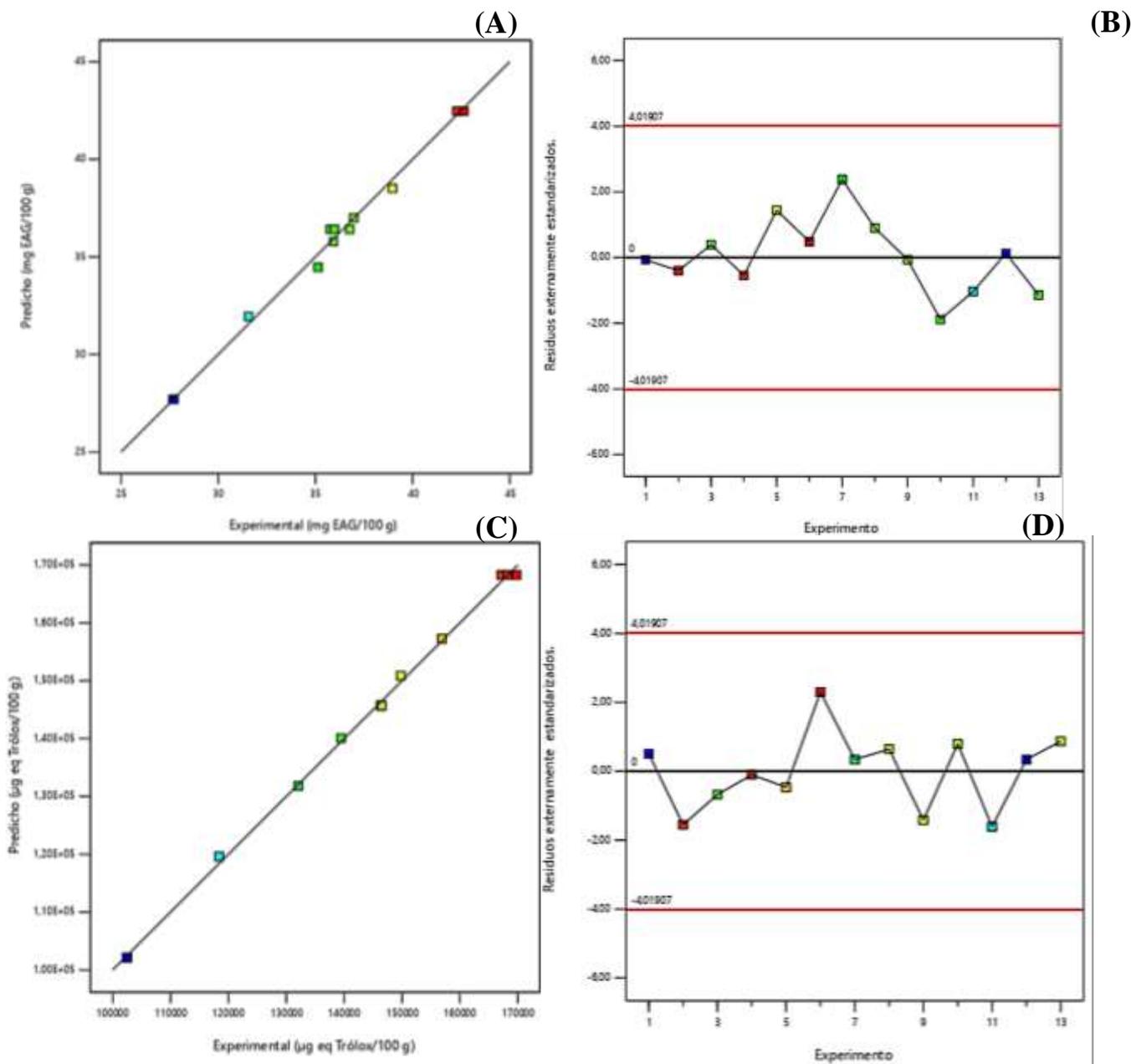


Figura 2: Relación entre los valores experimentales y predichos de PT y AO.

La presencia de polifenoles en una crema exfoliante puede proporcionar beneficios adicionales, ya que estos compuestos ayudan a combatir los radicales libres responsables del estrés oxidativo en la piel. El estrés oxidativo es un factor clave en el envejecimiento prematuro de la piel y en la aparición de imperfecciones cutáneas.

La actividad antioxidante, especialmente cuando se combina con la exfoliación, puede contribuir a la renovación celular y a la eliminación de células muertas, promoviendo así una piel más saludable y radiante. La exfoliación elimina las células muertas de la superficie, mientras que los polifenoles y antioxidantes trabajan para proteger la piel de daños adicionales y fomentar la regeneración celular.

La combinación de polifenoles y actividad antioxidante en una crema exfoliante sugiere una sinergia de beneficios para la piel, que va más allá de la simple eliminación de impurezas. Estos ingredientes pueden ayudar a mantener la salud de la piel, reducir los signos de envejecimiento y promover una apariencia más fresca y rejuvenecida. Es importante destacar que la eficacia de la crema dependerá de la concentración de polifenoles, la calidad de los ingredientes y la consistencia en el uso a lo largo del tiempo.

Correlación entre PT y AO en las cremas elaboradas a partir de la cáscara de morete

Se llevó a cabo un análisis de regresión lineal para examinar la relación entre los resultados de PT y AO. Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (R) para medir la intensidad y dirección de dicha relación, y los resultados se presentan en la Figura 3.

El coeficiente de correlación de Pearson fue de 0.988. Este valor indica una correlación extremadamente fuerte y positiva entre las variables evaluadas. Este resultado está muy cerca de 1, lo que sugiere que existe una relación lineal muy estrecha entre las dos variables, es decir, a medida que aumenta un valor, el otro también tiende a aumentar en proporción.

Esta correlación puede tener implicaciones significativas en la interpretación de los resultados. En el contexto de la investigación, sugiere que hay una asociación directa entre los niveles de PT y AO en las cremas desarrolladas. Por lo tanto, los cambios en los niveles de un componente están fuertemente relacionados con los cambios en los niveles del otro. Es importante señalar que, aunque la correlación es fuerte, esto no implica necesariamente causalidad. Puede ser necesario realizar análisis adicionales para determinar si existe una relación causal entre los dos parámetros o si la alta correlación simplemente refleja una asociación coincidente. Sin embargo, el coeficiente de correlación de Pearson obtenido en este estudio proporciona una sólida evidencia de una fuerte conexión lineal entre los resultados de PT y AO.

Correlation: 0,988
Color points by
Run
1  13

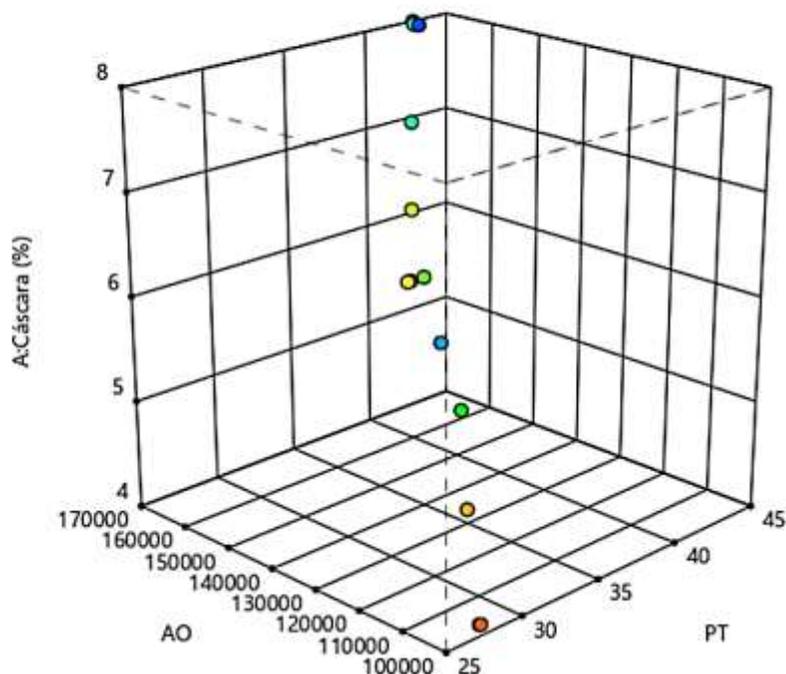


Figura 3. Correlación entre PT y AO.

Conclusiones

La evaluación del pH, viscosidad y extensibilidad en las cremas elaboradas a partir de la cáscara de morete cumplió con la norma técnica ecuatoriana INEN 2867:2015. El análisis microbiológico en las cremas cumplió con los intervalos establecidos por la normativa ARCSA. La incorporación del 8% de cáscara de morete destacó al proporcionar los mayores niveles de polifenoles totales y actividad antioxidante en las cremas, subrayando así su potencial beneficio para la salud cutánea. Este descubrimiento sugiere una valiosa contribución al desarrollo de formulaciones cosméticas enriquecidas con propiedades antioxidantes provenientes de la cáscara de morete.

Agradecimientos

A la Universidad Estatal Amazónica

Conflicto de intereses

Los Autores declaran que no existe conflicto de intereses

Referencias

- Anderson, M. J., & Whitcomb, P. J. (2016). Rsm simplified: Optimizing processes using response surface methods for design of experiments. *RSM Simplified: Optimizing Processes Using Response Surface Methods for Design of Experiments, Second Edition*, 1–295. <https://doi.org/10.1201/9781315382326/RSM-SIMPLIFIED-MARK-ANDERSON-PATRICK-WHITCOMB>
- AOAC. (2023). Annual Meeting & Exposition - AOAC International. <https://www.aoac.org/2023-annual-meeting-exposition/>
- Arteaga-Crespo, Y., Radice, M., Bravo-Sanchez, L., García-Quintana, Y., & Scalvenzi, L. (2017). Optimisation of ultrasound-assisted extraction of phenolic antioxidants from *Ilex guayusa* Loes. leaves using response surface methodology. *Heliyon*, e03043. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03043>
- Espinosa, A., Hidalgo, A., & Mayorga, E. (2020). Valor nutricional y caracterización de los ácidos graso del chontacuro *hynchophorus palmarum* L. *InfoANALÍTICA*, 8(1), 127–138. <https://doi.org/10.26807/ia.v8i1.122>
- Hoek, Y., Solas, S., & Peñuela, M. (2019). The palm *Mauritia flexuosa*, a keystone plant resource on multiple fronts. *Biodiversity and Conservation*, 28(3), 539–551. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-01686-4>
- Lee, E. J., & Cha, H. J. (2019). Inonotus obliquus extract as an inhibitor of α -MSH-induced melanogenesis in B16F10 mouse melanoma cells. *Cosmetics*, 6(1), 1–16. <https://doi.org/10.3390/cosmetics6010013>
- Luna-Fox, S. B., Castro, R. R. Á., Peñafiel-Bonilla, N. J., Radice, M., Scalvenzi, L., Arteaga-Crespo, Y., Hernández, O. D. L., & Bravo-Sánchez, L. R. (2023). Elaboración de un preparado hidrosoluble en forma de sólido pulverulento a partir de *Ilex guayusa* Loes. *La Técnica Revista de Las Agrocencias* ISSN 2477-8982, 13(1), 47–56. <https://doi.org/10.33936/LATECNICA.V13I1.5725>
- Melgarejo, S., Quintanilla, V., Ramírez, S., Reátegui, V., & Morales-Soriano, E. (2023). Efecto del tamaño de partícula y temperatura en harina de cáscara de aguaje (*Mauritia flexuosa*) y su aplicación en galletas. *Anales Científicos*, 84(2), 117–125. <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/1924/2778>

- Mendieta-Aguilar, G., Pacheco, L. F., & Roldán, A. I. (2017). Dispersión de semillas de *mauritia flexuosa* (arecaceae) por frugívoros terrestres en Laguna azul, Beni, Bolivia. *Acta Amazónica*, 45(1), 45–56. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201400283>
- Pérez, B., & Hurtado, P. (2021). Conocimiento etnobotánico de la palma *Mauritia flexuosa* L.f. entre los aripaños, descendientes de cimarrones, Aripao, Bolívar, Venezuela. *Novos Cadernos NAEA*, 24(1), 11–34. <https://doi.org/10.5801/ncn.v24i1.10121>
- Revilla-Chávez, J., García-Soria, D., Pinedo-Ramírez, R., Casas-Reátegui, R., López-Galán, E., & Abanto-Rodríguez, C. (2021). Effect of climatic factors on the phenological phases of *Mauritia flexuosa* Lf. In low terrace plantations in Ucayali, Peru. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 213–218. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2021.024>
- Rivadeneira, E., Moncayo, P., & Mosquera, E. (2020). Aceite de maracuyá (*Passiflora edulis*): Aprovechamiento de las semillas en productos cosméticos. *Enfoque*, 11(1), 119–129. <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v11n1/1390-6542-enfoqueute-11-01-00119.pdf>
- Rivera, M., Ramos, M., Silva, M., Briceño, J., & Alvarez, M. (2022). Efecto de la temperatura previa a la extracción en el rendimiento y perfil de ácidos grasos del aceite de morete (*Mauritia flexuosa* L.F.). *Granja*, 35(1), 98–111. <https://doi.org/10.17163/LGR.N35.2022.08>
- Virapongse, A., Endress, B., Gilmore, M., Horn, C., & Romulo, C. (2017). Ecology, livelihoods, and management of the *Mauritia flexuosa* palm in South America. *Global Ecology and Conservation*, 10, 70–92. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2016.12.005>

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).