

## Optimización de la extracción de compuestos polifenólicos totales y actividad antioxidante de *Hibiscus sabdariffa* L

### Optimization of total polyphenolic compounds extraction and antioxidant activity of *Hibiscus sabdariffa* L

### Otimização da extração de compostos polifenólicos totais e atividade antioxidante do *Hibiscus sabdariffa* L

Rivera-Rojas, Fanny Noemi  
Universidad Estatal Amazónica

[fn.riverar@uea.edu.ec](mailto:fn.riverar@uea.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0003-7371-1268>



Guerrero-Naranjo, Luis Enrique  
Universidad Estatal Amazónica

[le.guerreron@uea.edu.ec](mailto:le.guerreron@uea.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-4745-4483>



Montero-Mora, María Cristina  
Universidad Estatal Amazónica

[mc.monterom@uea.edu.ec](mailto:mc.monterom@uea.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0000-2727-0885>



Vargas-Peralvo, Evelyn Alejandra  
Universidad Estatal Amazónica

[ea.vargasp@uea.edu.ec](mailto:ea.vargasp@uea.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-7367-9347>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/nE3/312>

#### Como citar:

Rivera-Rojas, F. N., Guerrero-Naranjo, L. E., Montero-Mora, M. C., & Vargas-Peralvo, E. A. (2024). Optimización de la extracción de compuestos polifenólicos totales y actividad antioxidante de *Hibiscus sabdariffa* L. *Código Científico Revista De Investigación*, 5(E3), 97–118.

Recibido: 12/02/2023

Aceptado: 09/03/2024

Publicado: 30/04/2024

### Resumen

El objetivo de la investigación fue optimizar la extracción asistida por ultrasonido de polifenólicos en medio acuoso y la actividad antioxidante de *Hibiscus sabdariffa* L. La cuantificación de polifenólicos se realizó aplicando la técnica de Folin Ciocalteu, y la actividad antioxidante se evaluó mediante el método FRAP. Se estudió el impacto del tiempo y la temperatura en la concentración de polifenoles y la actividad antioxidante mediante un diseño central-composite. Se analizaron cuatro modelos matemáticos y los mejores resultados se consiguieron con las ecuaciones de segundo grado con  $R^2$  de 0.9929 y 0.9568 para polifenoles y actividad antioxidante, respectivamente. La metodología de superficie de respuesta identificó las mejores condiciones para maximizar la extracción: Tiempo 29.74 min y temperatura 60 °C, obteniendo valores máximos de 4.04 g EAG/100 g ms y 8088.04 µg eq. Trólox/g ms. El coeficiente de correlación de Pearson de 0.972 indicó una buena correspondencia positiva entre las dos variables de interés. Estos hallazgos proporcionan una valiosa guía para futuros estudios, destacando la relevancia de condiciones óptimas en el proceso de obtención de compuestos bioactivos, con posibles aplicaciones en la industria de los alimentos.

**Palabras clave:** Design expert, Folin Ciocalteu, FRAP, Modelos matemáticos.

### Abstract

The objective of the research was to optimize the ultrasound-assisted extraction of polyphenolics in aqueous medium and the antioxidant activity of *Hibiscus sabdariffa* L. The quantification of polyphenolics was performed by applying the Folin Ciocalteu technique, and the antioxidant activity was evaluated by the FRAP method. The impact of time and temperature on polyphenol concentration and antioxidant activity was studied using a central-composite design. Four mathematical models were analyzed and the best results were achieved with second degree equations with  $R^2$  of 0.9929 and 0.9568 for polyphenols and antioxidant activity, respectively. The response surface methodology identified the best conditions to maximize extraction: Time 29.74 min and temperature 60 °C, obtaining maximum values of 4.04 g EAG/100 g ms and 8088.04 µg eq. Trolox/g ms. Pearson's correlation coefficient of 0.972 indicated a good positive correspondence between the two variables of interest. These findings provide valuable guidance for future studies, highlighting the relevance of optimal conditions in the process of obtaining bioactive compounds, with possible applications in the food industry.

**Keywords:** Design expert, Folin Ciocalteu, FRAP, Mathematical modeling.

### Resumo

O objetivo da pesquisa foi otimizar a extração assistida por ultrassom de polifenólicos em meio aquoso e a atividade antioxidante do *Hibiscus sabdariffa* L. A quantificação de polifenólicos foi realizada usando a técnica Folin Ciocalteu, e a atividade antioxidante foi avaliada usando o método FRAP. O impacto do tempo e da temperatura na concentração de polifenóis e na atividade antioxidante foi estudado usando um projeto composto central. Quatro modelos matemáticos foram analisados e os melhores resultados foram obtidos com as equações de segundo grau com  $R^2$  de 0,9929 e 0,9568 para polifenóis e atividade antioxidante, respectivamente. A metodologia de superfície de resposta identificou as melhores condições para maximizar a extração: tempo de 29,74 min e temperatura de 60 °C, obtendo valores máximos de 4,04 g EAG/100 g ms e 8088,04 µg eq. Trolox/g ms. O coeficiente de correlação de Pearson de 0,972 indicou uma boa correspondência positiva entre as duas variáveis de interesse. Essas descobertas fornecem orientações valiosas para estudos futuros, destacando a

relevância das condições ideais no processo de obtenção de compostos bioativos, com possíveis aplicações no setor de alimentos.

**Palavras-chave:** Especialista em design, Folin Ciocalteu, FRAP, Modelagem matemática.

## Introducción

*Hibiscus sabdariffa* L. conocida como Jamaica, es una planta ampliamente cultivada en regiones tropicales y subtropicales, no solo atrae la atención por su llamativa belleza floral, sino también por sus notables propiedades nutricionales y medicinales (López et al., 2019). La abundancia de polifenoles en esta planta, incluyendo flavonoides y antocianinas, ha estado vinculada a propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, cardiovasculares, entre otras (Zamora-Cujilema et al., 2018).

La optimización de la extracción no solo busca incrementar la cantidad, sino también potenciar la calidad y la disponibilidad de los elementos esenciales de la flor de Jamaica mediante la manipulación controlada de variables clave, como temperatura y tiempo de extracción. Este estudio se propone trazar una senda hacia la producción de extractos más ricos en polifenoles y, por ende, con una mayor capacidad antioxidante.

La metodología de superficie de respuesta (MSR) es un instrumento poderoso en el diseño de experimentos que proporciona una serie de beneficios significativos en la investigación y optimización de procesos (Hernández-Rodríguez et al., 2020). Esta metodología permite realizar experimentos de manera eficiente, utilizando un número relativamente bajo de corridas experimentales para obtener información valiosa sobre la correlación entre los factores y la respuesta experimental (Riswanto et al., 2019). Permite ajustar modelos matemáticos a los resultados experimentales, lo que facilita la predicción de respuestas en condiciones no experimentadas y la identificación de las variables más influyentes (Ciric et al., 2020).

El enfoque central de este estudio radica en la meticulosa exploración de las condiciones de extracción en medio acuoso para potenciar la eficiencia en la extracción de metabolitos de la flor de Jamaica. El agua, como solvente elegido, refleja no solo una opción práctica sino también una alineación con la búsqueda de procesos sostenibles en la obtención de extractos acuosos. Por lo anteriormente expuesto, este estudio tuvo como propósito optimizar la obtención en medio acuoso de polifenólicos totales y actividad antioxidante de *Hibiscus sabdariffa* L.

## Metodología

### Localización

Los análisis de la presente investigación se desarrollaron en el Laboratorio de Bromatología ubicado en la Universidad Estatal Amazónica ubicado en el km 2 ½ vía a Tena, cantón y provincia de Pastaza con altitud de 940 m.n.s.m., latitud 00° 59' -1" y longitud de 77° 49'0" W.

### Material vegetal

La flor de Jamaica fresca fue comprada en la ciudad de Puyo, Ecuador. Para determinar la cantidad de humedad, se aplicó la técnica de diferencia de peso descrito por García-Campos et al. (2020). Este valor se empleó posteriormente para enunciar el peso inicial en términos de materia seca.

### Obtención de los extractos acuosos

Mediante un equipo de la marca Wisd.23 (modelo WUC-DO6H) con capacidad de ajuste de frecuencia ultrasónica en un rango del 20% al 100%, se utilizó la técnica de extracción asistida por ultrasonido. En cada ejecución experimental, se dosificaron 5 gramos de muestra y se introdujeron en un recipiente volumétrico de vidrio conteniendo 100 mililitros de agua destilada. El dispositivo estaba configurado para operar a una frecuencia ultrasónica del 50%.

Tras el filtrado final de cada extracto utilizando papel Whatman n.º 4, se procedió de inmediato a realizar los análisis correspondientes.

### **Medición de polifenoles.**

Se utilizó el proceso desarrollado por Luna-Fox et al. (2023) sacando 1 mililitro del hidroextracto y luego poniéndolo en un volumétrico color ámbar con capacidad para 10 mililitros. Se colocó 0,5 mililitros del reactivo de Folin-Ciocalteu y se puso en reposo por 10 minutos. Pasado este tiempo, se agregaron 0,5 mililitros de carbonato de sodio a una concentración del 20% y el volumen restante del matraz se llenó con agua destilada. Después de agitar, se dejó reposar el líquido a temperatura ambiente durante dos horas. La absorbancia fue registrada en un espectrofotómetro ultravioleta visible a 765 nm. Utilizando un modelo matemático construido con ácido gálico, se calculó el contenido total de polifenoles y se informó como gramos equivalentes de ácido gálico por 100 g en base a materia seca (g EAG/100 g ms). Se usó la ecuación (1).

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

Donde:

**A:** valor de absorbancia de la muestra

**C:** valor de concentración de la muestra ( $\text{mg L}^{-1}$ )

### **Potencial antioxidante**

Se evaluó a través de la prueba FRAP (Benzie & Strain, 1996). Se llenó un volumétrico de 10 mililitros con 80 microlitros de extracto y 5 mililitros del reactivo FRAP recién preparado. Luego de la adición del reactivo, se colocó agua destilada hasta que su contenido alcanzó 10 mililitros y luego se incubó durante 30 minutos a 37°C. La lectura se realizó a 593 nm frente a un blanco control. Se combinaron 25 ml de acetato, 2,5 mililitros de una disolución de  $\text{FeCl}_3$  y 2,5 mililitros de una disolución de 2,4,6-piridil-estriazina (TPTZ) para crear el reactivo FRAP. Luego de pesar 0,03 gramos del reactivo, se trasvasó a un volumétrico de 10

mililitros y se disolvió con HCL a una concentración de 40 mM hasta alcanzar la marca para crear la solución de TPTZ. Se usaron 200 mililitros de agua desmineralizada para disolver 0,0061 gramos de acetato de sodio para crear un tampón de acetato. Se añadió HCL (40 mM) a la mezcla para reducir su pH a 3,5. Después, se aumentó el volumen a 250 mililitros utilizando agua desmineralizada. Se preparó una solución de FeCl<sub>3</sub> disolviendo 0,1352 gramos del producto químico en 25 mililitros de agua desmineralizada. La concentración fue reportada en microgramos equivalentes a Trólox/ g de materia seca ( $\mu\text{g eq. Trólox/g ms}$ ) a partir de la ecuación (2).

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

**Donde:**

A: valor de absorbancia de las muestras.

C: Valor de la concentración de las muestras ( $\text{mgL}^{-1}$ )

### Procedimiento experimental

Se aplicó un diseño central-composite 2<sup>2</sup> (Tabla 1) a través el software design expert y Los niveles ideales de obtención fueron determinadas utilizando la MSR. Se analizó el impacto del tiempo y la temperatura de extracción en polifenoles y poder antioxidante. Se determinó la linealidad de la relación entre las variables independientes utilizando el factor de correlación de Pearson.

**Tabla 1**

*Niveles de las variables independientes*

Variable independiente	Nivel de variable codificada			
	Símbolo	Bajo	Central	Alto
		-1	0	1
Tiempo (min)	B	10	20	30
Temperatura (°C)	C	30	45	60

*Nota:* Autores (2024)

## Resultados

### Impacto de las variables estudiadas sobre los compuestos polifenólicos totales (CPT)

El análisis de varianza, detallado en la Tabla 1, arrojó resultados significantes ( $p < 0.05$ ) para las variables de investigación (tiempo y temperatura) en la obtención de CPT de la flor de Jamaica. Este discernimiento se ve subrayado por la apreciación visual de la Figura 1A y 1B, las cuales ilustran de manera elocuente el efecto positivo de dichos factores sobre la variable de respuesta. Este fenómeno implica que, al elevar los valores de cada factor, la variable de respuesta se ve incrementada de manera correspondiente.

**Tabla 2**

*ANOVA para CPT*

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F-valor	p-valor	
Modelo	14.73	5	2.95	197.13	< 0.0001	significativo
A-Tiempo	4.36	1	4.36	291.71	< 0.0001	
B-Temperatura	9.10	1	9.10	608.57	< 0.0001	
AB	0.0088	1	0.0088	0.5886	0.4680	
A <sup>2</sup>	1.20	1	1.20	80.32	< 0.0001	
B <sup>2</sup>	0.1588	1	0.1588	10.63	0.0139	
Residual	0.1046	7	0.0149			
Falta de ajuste	0.0841	3	0.0280	5.45	0.0676	no significativo
Error puro	0.0206	4	0.0051			

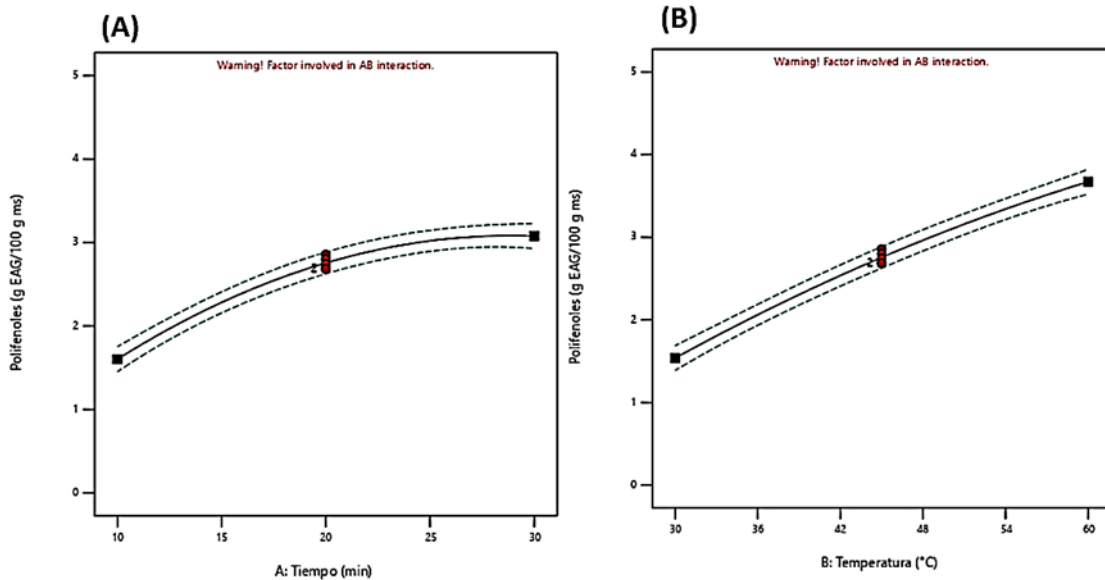
**Nota:** Autores (2024)

El F-valor del modelo, registrado en 197.13, subraya su significativa relevancia estadística. La probabilidad de que este F-valor sea el resultado de fluctuaciones aleatorias es altamente reducida, cifrada en tan solo un 0.01%. Por otro lado, El F-valor de 5.45, evidencia que la falta de ajuste con respecto al error puro carece de significancia estadística; adicionalmente, se presenta una probabilidad del 6.76% de que dicho F-valor sea resultado de perturbaciones aleatorias. La falta de ajuste no significativa reviste importancia positiva, dado

que el objetivo de alcanzar la adecuación del modelo para incorporar con exactitud los datos de cada experimento.

**Figura 1**

*Efecto del tiempo (A) y Temperatura (B) de extracción sobres los CPT de la flor de Jamaica*



*Nota:* Autores (2024)

### Estudio de la MSR en los CPT

La MSR se empleó con el propósito de discernir los niveles óptimas para maximizar la obtención de CPT en la flor de Jamaica. A través del análisis de cuatro ecuaciones (Tabla 3) generadas por el software Design Expert, se determinó que el modelo cuadrático arrojó resultados óptimos, evidenciados por un valor  $R^2$  de 0.9929. Este indicador sugiere que el 99.29% de las variaciones en la extracción de CPT están directamente relacionadas con los factores examinados. Es interesante señalar que el valor  $R^2$ -ajustado, situado en 0.9879, presenta una diferencia menor a 0.2 en comparación con el valor  $R^2$ -predicho de 0.9575, según lo postulado por Anderson & Whitcomb (2016).



**Tabla 3**

*Modelos de optimización de CPT en la flor de Jamaica*

Fuente	Secuencial p-valor	Falta de ajuste p-value	R <sup>2</sup> -Ajustado	R <sup>2</sup> -Predicho	
Lineal	< 0.0001	0.0013	0.8884	0.8384	
2FI	0.8155	0.0010	0.8767	0.7705	
Cuadrático	0.0001	0.0676	0.9879	0.9575	Sugerido
Cúbico	0.0609	0.1794	0.9945	0.9392	

**Nota:** Autores (2024)

Los resultados de CPT obtenidos en cada experimento y los calculados por el modelo predictivo se indican en la tabla 4 y figura 2. La ecuación polinómica de segundo grado se puede escribir de la siguiente manera:

$$CPT = -4.6609 + 0.2259A + 0.1253B + 0.0003AB - 0.0042A^2 - 0.0007B^2 \tag{3}$$

Donde: A y B representan de manera correspondiente el tiempo (min) y la temperatura (°C).

La expresión en función de los factores reales se presta para realizar estimaciones en la respuesta correspondiente a valores específicos de cada factor. Es esencial resaltar que los niveles deben ser especificados en las unidades originales correspondientes a cada variable independiente. Sin embargo, conviene tener en cuenta que esta ecuación no resulta idónea para la evaluación del impacto relativo de cada factor. Esto se debe a que los coeficientes han sido ajustados para concordar con las unidades de medida, y la confluencia no se localiza en el centro del diseño.

Tabla 4

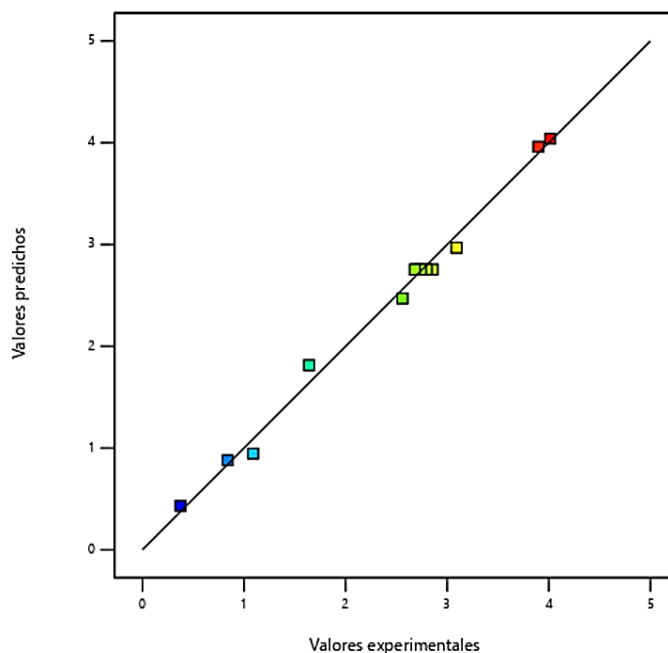
Diseño central-composite para los CPT

Experimento	Factor A	Factor B	Experimental	Predicho
	Tiempo	Temperatura	Polifenoles	Polifenoles
	min	°C	g EAG/100 g ms	g EAG/100 g ms
1	20	45	2.856	2.668
2	20	66.213	3.899	3.802
3	34.142	45	3.093	2.838
4	20	23.787	1.090	0.904
5	20	45	2.742	2.668
6	30	30	1.641	1.735
7	10	60	2.561	2.356
8	20	45	2.681	2.668
9	10	30	0.375	0.397
10	5.858	45	0.839	0.818
11	30	60	4.014	3.874
12	20	45	2.700	2.668
13	20	45	2.798	2.668

Nota: Autores (2024)

Figura 2

Valores experimentales y predichos de CPT



Nota: Autores (2024)

### Efecto de los factores de la extracción la actividad antioxidante (AO)

Los resultados expuestos de manera detallada en la tabla 5, revelan que los factores objeto de estudio exhiben una relevancia significativa ( $p < 0.05$ ) respecto a la actividad antioxidante. El efecto positivo de estos factores se visualiza en las figuras 3A y 3B. Este patrón apunta hacia un incremento en la actividad antioxidante de la flor de Jamaica a medida que los niveles de las variables de estudio experimenten un aumento progresivo.

**Tabla 5**

*ANOVA para la AO*

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F-valor	p-valor	
Modelo	4.507E+07	5	9.013E+06	31.04	0.0001	significativo
A-Tiempo	9.794E+06	1	9.794E+06	33.73	0.0007	
B-Temperatura	3.051E+07	1	3.051E+07	105.07	< 0.0001	
AB	6.085E+05	1	6.085E+05	2.10	0.1910	
A <sup>2</sup>	4.116E+06	1	4.116E+06	14.18	0.0070	
B <sup>2</sup>	5254.51	1	5254.51	0.0181	0.8968	
Residual	2.033E+06	7	2.904E+05			
Falta de ajuste	1.534E+06	3	5.115E+05	4.11	0.1030	no significativo
Error puro	4.982E+05	4	1.245E+05			
Cor Total	4.710E+07	12				

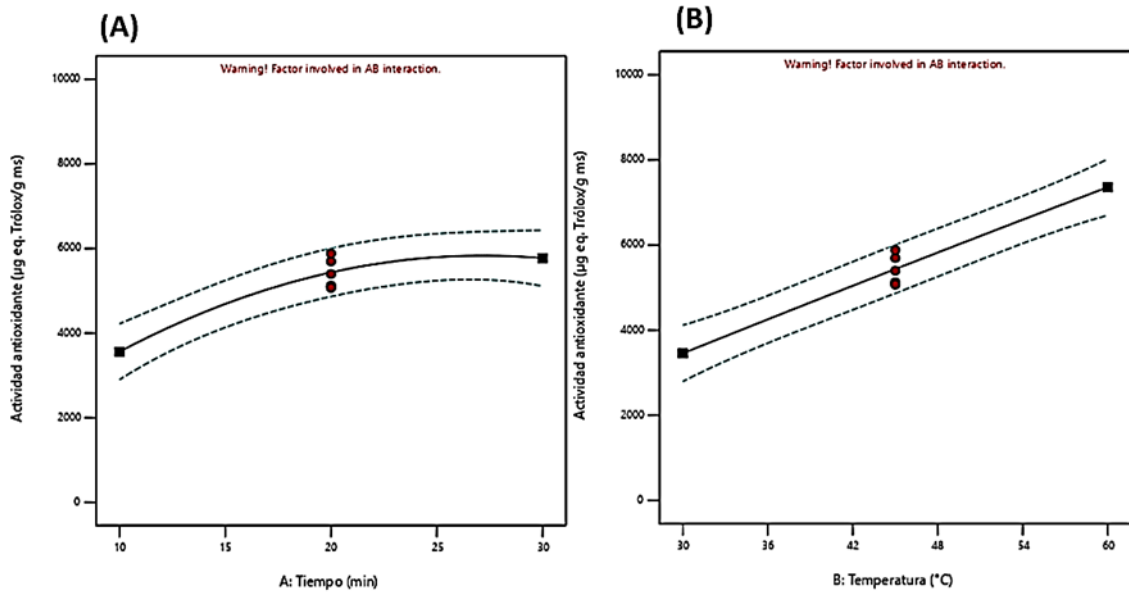
**Nota:** Autores (2024)

El F-valor del modelo de 31.04, confirma su relevancia estadística. La probabilidad asociada a la ocurrencia de un F-valor de tal magnitud debido a fluctuaciones aleatorias es insignificante, alcanzando únicamente un 0.01%.

El F-valor de falta de ajuste de 4.11, revela que no hay significancia en comparación con el error puro. La probabilidad de que se genere un F-valor de esta magnitud debido a perturbaciones aleatorias es del 10.30%. La carencia de ajuste es favorable, dado que se busca una adaptación óptima del modelo.

**Figura 3**

*Efecto del tiempo (A) y Temperatura (B) de extracción sobre la AO de la flor de Jamaica*



*Nota:* Autores (2024)

**Análisis de la MSR para la AO**

Se evaluaron cuatro modelos matemáticos (ver Tabla 6) generados mediante el software Design Expert, destacando la superioridad de la ecuación cuadrática al exhibir un R<sup>2</sup> de 0.9568. Además, conforme a la perspectiva de Anderson & Whitcomb (2016), se observó una diferencia inferior a 0.2 entre el R<sup>2</sup>-ajustado y el R<sup>2</sup>-predicho, registrando valores de 0.9260 y 0.7518, respectivamente.

**Tabla 6**

*Modelos de optimización de la AO en la flor de Jamaica*

Fuente	Secuencial p-valor	Falta de ajuste p-valor	R <sup>2</sup> -Ajustado	R <sup>2</sup> -Predicho	
Lineal	< 0.0001	0.0292	0.8269	0.7189	
2FI	0.3713	0.0261	0.8249	0.6341	
Cuadrático	0.0203	0.1030	0.9260	0.7518	Sugerido
Cúbico	0.0832	0.2268	0.9617	0.6390	

*Nota:* Autores (2024)

Los resultados experimentales de AO obtenidos en el laboratorio se compararon con las predicciones del modelo matemático y se presentan en la Tabla 7 y la Figura 4. La ecuación polinómica de segundo grado se puede escribir de la siguiente forma:

$$AO = -3620.6886 + 301.3160A + 89.1803B + 2.6003AB - 7.6921A^2 - 0.1221B^2 \quad (4)$$

Donde: A y B representan respectivamente el tiempo (min) y la temperatura (°C).

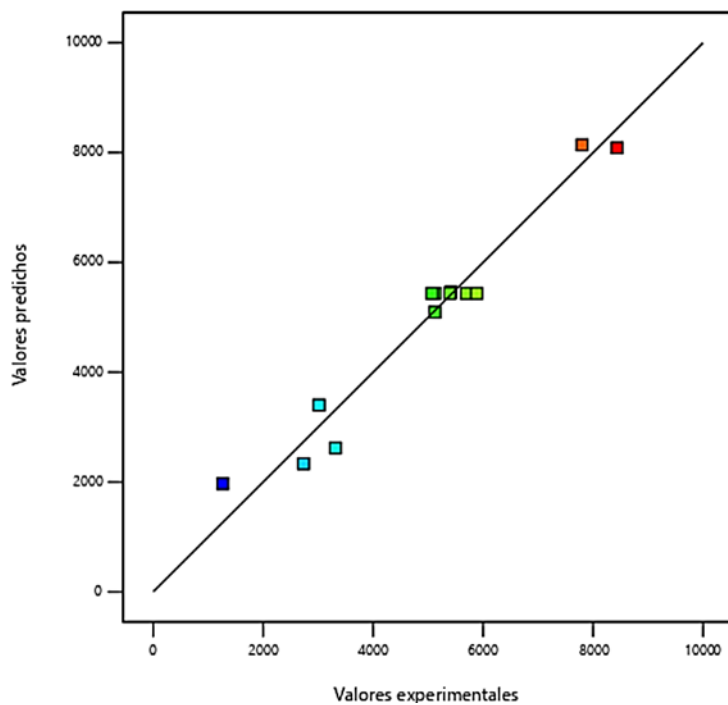
La expresión matemática en función de los factores reales permite realizar pronósticos sobre la variable de respuesta para valores definidos de cada factor. En este contexto, es fundamental que los niveles se especifiquen en las unidades originales. No obstante, cabe destacar que este modelo matemático no es idóneo para evaluar el impacto respectivo de cada variable, dado que los coeficientes han sido ajustados para adaptarse a las unidades de medida y la confluencia no se ubican en el centro del espacio de diseño.

**Tabla 7**

*Diseño central-composite para la AO*

Experimento	Factor A	Factor B	Experimental	Predicho
	Tiempo	Temperatura	Actividad antioxidante	Actividad antioxidante
	min	°C	µg eq. Trólox/g ms	µg eq. Trólox/g ms
1	20	45	5696.13	5434.92
2	20	66.213	7800.85	8141.85
3	34.142	45	5413.06	5461.28
4	20	23.787	3314.82	2618.10
5	20	45	5883.14	5434.92
6	30	30	3016.62	3401.69
7	10	60	5123.5	5094.70
8	20	45	5071.63	5434.92
9	10	30	1264.13	1968.87
10	5.858	45	2735.7	2331.78
11	30	60	8436.16	8087.70
12	20	45	5125.66	5434.92
13	20	45	5397.43	5434.92

**Nota:** Autores (2024)

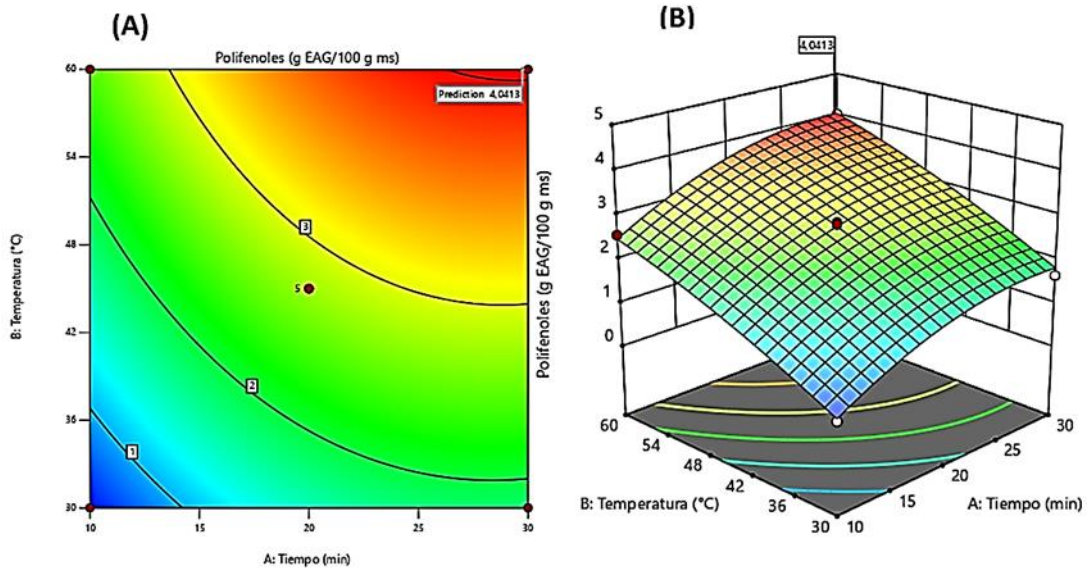
**Figura 4***Valores experimentales y predichos de AO**Nota:* Autores (2024)

### **Optimización de la obtención de CPT y AO en la flor de Jamaica**

Los mejores niveles para la extracción de CPT y AO en la flor de Jamaica se determinaron examinando las gráficas de contorno y de superficie. En este contexto, las valores que potenciaron tanto la concentración de CPT (Figura 5) y AO (Figura 6) fueron: tiempo 29.74 min y temperatura 60 °C dando valores de 4.04 g EAG/100 g ms para CPT y 8088.04 µg eq. Trólox/g ms para AO.

**Figura 5**

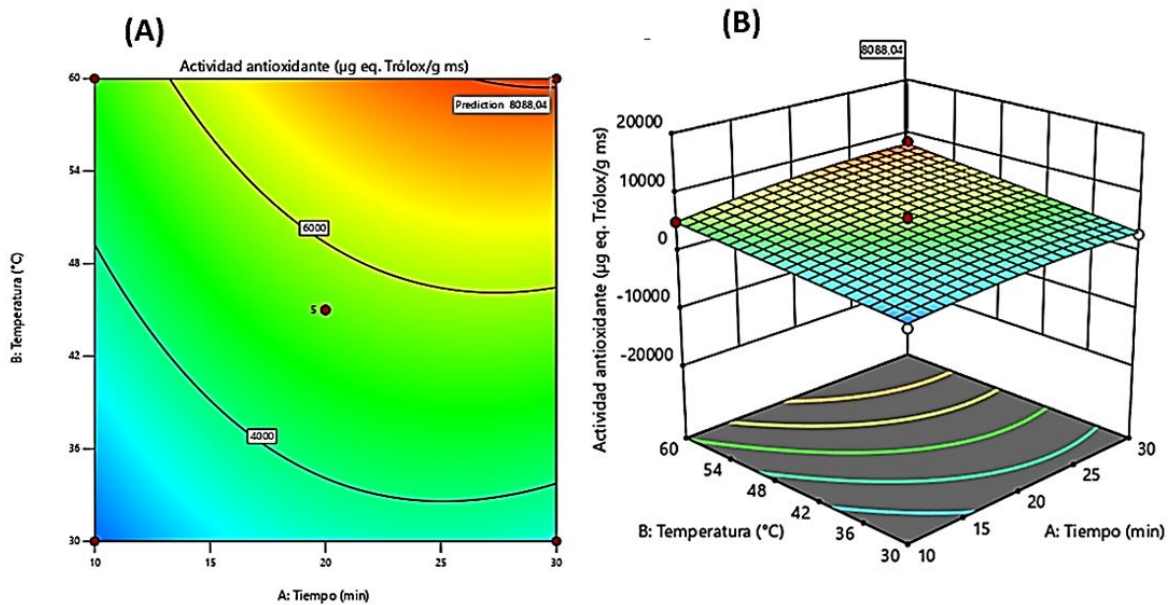
Gráfica de contorno (A) y gráfica de superficie (B) para las condiciones óptimas de extracción de CPT



*Nota:* Autores (2024)

**Figura 6**

Gráfica de contorno (A) y gráfica de superficie (B) para las condiciones óptimas de extracción de AO



*Nota:* Autores (2024)

Los hallazgos de este estudio apuntan al impacto directo de las variables de proceso en la respuesta deseada, destacando la importancia de una cuidadosa manipulación de las condiciones experimentales para alcanzar los niveles óptimos de los compuestos de interés. La robustez del modelo usado en este estudio se evidencia al demostrar que las condiciones identificadas como óptimas conducen a resultados máximos, subrayando la utilidad de las técnicas de diseño experimental para la mejora de procesos en la obtención de compuestos químicos de la flor de Jamaica.

Es relevante recalcar la reproducibilidad y la consistencia de estos resultados, aspectos esenciales en la aplicación industrial y en la producción a escala. No obstante, cabe mencionar que las condiciones ideales pueden variar en función de las peculiaridades de los equipos y las materias primas específicas utilizadas en diferentes contextos. Además, la extrapolación de estos resultados a condiciones fuera del rango experimental debe realizarse con cautela y podría requerir validación adicional. Estos resultados ofrecen una valiosa contribución a la comprensión y optimización de la obtención de compuestos químicos de la flor de Jamaica, respaldando su potencial aplicación en diversos campos, desde la industria de los alimentos hasta la nutrición y la salud.

### **Correspondencia en los CPT y la AO en la flor de Jamaica**

La correspondencia entre los valores de la concentración de CPT y la AO fue evaluada mediante un análisis de regresión lineal. El número de correlación de Pearson (R) fue calculado para medir la dirección de esta relación, y los valores correspondientes se muestran en la Figura 7.

El valor de Pearson fue 0.972 lo cual muestra una evaluación positiva y fuerte entre las dos variables estudiadas. El valor se aproxima a 1, lo cual apunta una asociación lineal fuerte y directa entre los conjuntos de datos. Este elevado grado de calificación indica que, en gran medida, las variaciones en una variable están estrechamente vinculadas a variaciones

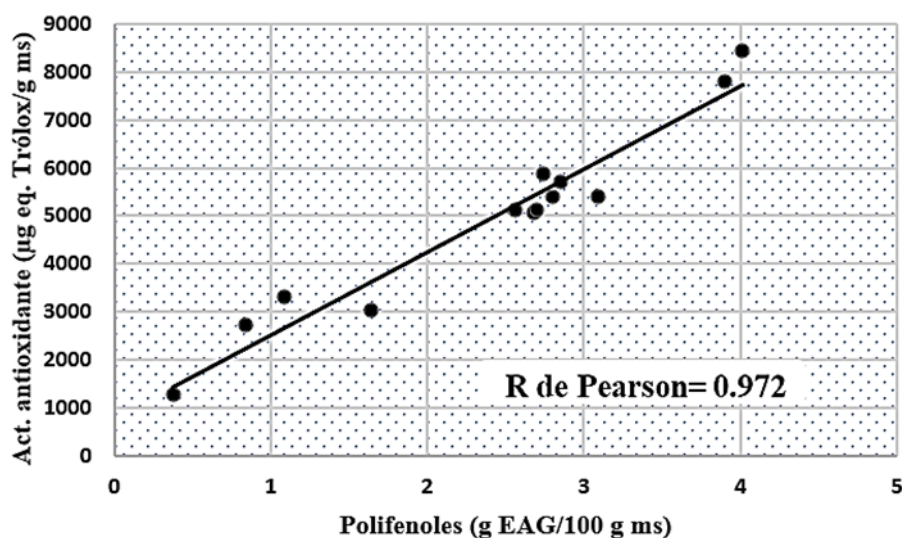


proporcionales en la otra. Cabe destacar que estudios previos han reportado resultados concordantes en lo que respecta a la relación entre los CPT y la AO, evaluada mediante la técnica FRAP, con un coeficiente igual a 0.961 (Abreu-Naranjo et al., 2018).

La AO de polifenoles se atribuye especialmente a su capacidad para neutralizar los radicales libres, moléculas inestables que pueden desencadenar estrés oxidativo y contribuir al daño celular (Haron et al., 2019). Estudios científicos han demostrado que los polifenoles pueden donar electrones a los radicales químicos, inhibiendo así la propagación de reacciones en cadena perjudiciales (Cherubim et al., 2020).

### Figura 7

*Correlación entre la AO y los CPT de la flor de Jamaica*



*Nota:* Autores (2024)

### Discusión

Los valores de CPT y AO conseguidos en esta investigación fueron superiores a los reportados por (Pacheco, 2019; Pacheco-Coello et al., 2019; Ruiz-López et al., 2020).

La observación del efecto positivo del tiempo en la extracción de polifenoles de la flor de Jamaica plantea consideraciones significativas en los procesos de optimización. Los

resultados sugieren que, a medida que se extiende el tiempo de extracción, se facilita la liberación y solubilización de polifenoles, lo que contribuye a un aumento sustancial en la concentración final de estas sustancias (Sridhar et al., 2021).

Este fenómeno puede explicarse por el hecho de que los polifenoles, como componentes bioactivos, requieren un tiempo adecuado para desprenderse de la matriz vegetal y ser transferidos al medio de extracción. Según Ummat et al. (2020) la prolongación del tiempo de extracción posiblemente permite una interacción más completa entre los solventes y los componentes fitoquímicos presentes en la flor de Jamaica, maximizando así la eficiencia de la extracción.

Es importante destacar que, aunque se observa un efecto positivo del tiempo en la extracción de polifenoles, existe un punto de saturación después del cual el beneficio adicional del tiempo puede ser marginal (Singh et al., 2021). Es decir, alcanzado cierto punto, el aumento del tiempo puede no traducirse significativamente en un incremento proporcional de la cantidad extraída. Este fenómeno puede estar vinculado a la solubilidad limitada de los polifenoles en el solvente o a la posible degradación de los compuestos debido a la exposición prolongada a condiciones de extracción.

Por otro lado, el resultado positivo de la temperatura en la obtención de CPT y AO de la flor de Jamaica indica que el cambio de temperatura en la de extracción puede influir significativamente en la eficiencia de obtención de metabolitos con propiedades antioxidantes. Este fenómeno puede atribuirse a varias interacciones complejas que ocurren durante el proceso de extracción a diferentes temperaturas.

Según Mohamad et al. (2022) el aumento de la temperatura puede acelerar la cinemática de la liberación de polifenoles desde la matriz vegetal hacia el solvente. La energía térmica adicional puede facilitar el rompimiento de las membranas celulares así como la disolución de compuestos químicos en el solvente, resultando en una mayor cantidad de polifenoles extraídos

en un tiempo determinado. Cabe destacar que, aunque la temperatura puede mejorar la eficiencia de la extracción, existe un punto óptimo, ya que temperaturas demasiado elevadas pueden llevar a la degradación de compuestos termosensibles o a la pérdida de ciertos atributos sensoriales y nutricionales del extracto (Duque-Soto et al., 2023).

El impacto beneficioso de los polifenoles en la salud humana está respaldado por la evidencia de estudios epidemiológicos y experimentales (Yang et al., 2021; Gowd et al., 2019). Se ha evidenciado que dietas ricas en polifenoles, derivadas principalmente de frutas, verduras, té y otros alimentos de origen vegetal, están asociadas con una reducción en el riesgo de anomalías crónicas, como enfermedades del tipo cardiovasculares y algunos tipos de cáncer (Maiuolo et al., 2021; Patra et al., 2021).

## Conclusión

Los factores de estudio demostraron significancia estadística en la extracción de CPT y AO en la flor de Jamaica. A través de la aplicación de la metodología de superficie de respuesta, se identificaron condiciones favorables que maximizaron tanto la extracción de CPT como de AO, estableciendo que un tiempo de 29.74 minutos y una temperatura de 60 °C generaron valores óptimos de 4.04 g EAG/ 100 g ms para CPT y 8088,04 µg eq. Trólox/g ms para AO. Los modelos matemáticos de segundo grado seleccionados para ambas variables de respuesta demostraron una alta capacidad predictiva, con valores  $R^2$  de 0.9929 y 0.9568 para CPT y AO, respectivamente.

Otras investigaciones, podrían investigar técnicas avanzadas de extracción, como la extracción asistida por ultrasonido, y considerar otros factores, como la relación sólido-líquido y la variabilidad genética, para comprender mejor la extracción de compuestos bioactivos de las flores de Jamaica. Además, se destaca la importancia de examinar cómo las condiciones

óptimas podrían afectar la calidad y propiedades nutricionales de los extractos para aplicaciones prácticas en la industria alimentaria y de la salud.

## Referencias bibliográficas

- 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>
- Benzie, I., & Strain, J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76. <https://doi.org/10.1006/ABIO.1996.0292>
- Casanova-Villalba, C. I., Herrera-Sánchez, M. J., & Rivadeneira-Moreira, J. C. Spin-offs en el mundo académico:¿ Cómo se traducen en impacto tangible?. In *I Simposio de investigadores emergentes en ciencia y tecnología* (p. 51).
- Cherubim, D., Buzanello-Martins, C., Oliveira-Fariña, L., & Lucca, R. (2020). Polyphenols as natural antioxidants in cosmetics applications. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 19(1), 33–37. <https://doi.org/10.1111/jocd.13093>
- Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., Herrera-Feijoo, R. J., & Andrade, J. C. (2023b). Prácticas de laboratorio y cuestionario sobre biotecnología ambiental. In *Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias*. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.18>
- Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., Herrera-Feijoo, R. J., & Andrade, J. C. (2023). Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias. In *Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias*. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.25>
- Ciric, A., Krajnc, B., Heath, D., & Ogrinc, N. (2020). Response surface methodology and artificial neural network approach for the optimization of ultrasound-assisted extraction of polyphenols from garlic. *Food and Chemical Toxicology*, 135(July), 9. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110976>
- Duque-Soto, C., Expósito-Almellón, X., García, P., Pando, M. E., Borrás-Linares, I., & Lozano-Sánchez, J. (2023). Extraction, Characterization, and Bioactivity of Phenolic Compounds—A Case on Hibiscus Genera. *Foods*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/foods12050963>
- García-Campos, A., Cruz-Monterrosa, R., Rayas-Amor, A., Jiménez-Guzmán, J., Fabela-Morón, M., Cortés-Sánchez, A., Villanueva-Carvajal, A., & Díaz-Ramírez, M. (2020). Caracterización físico-química de maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo) del Estado de México. *Agro Productividad*, 13(7), 95–100. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1728>
- Gowd, V., Karim, N., Shishir, M. R. I., Xie, L., & Chen, W. (2019). Dietary polyphenols to combat the metabolic diseases via altering gut microbiota. *Trends in Food Science and Technology*, 93(April), 81–93. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.005>
- Guamán-Rivera, S. A., Herrera-Feijoo, R. J., Paredes-Peralta, A. V., & Ruiz-Sánchez, C. I. (2023). Respuestas productivas de cuyes (*Cavia porcellus*) a la suplementación con harina de amaranto (*Amaranthus caudatus*) y curcuma (*Curcuma longa*): Un enfoque innovador para la

- cuyicultura sostenible. In *Sinergia Científica: Integrando las Ciencias desde una Perspectiva Multidisciplinaria*. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.20>
- Guamán-Rivera, S. A., Herrera-Feijoo, R. J., Paredes-Peralta, A. V., Ruiz-Sánchez, C. I., Bonilla-Morejón, D. M., Samaniego-Quiguiri, D. P., Paredes-Fierro, E. J., Fernández-Vélez, C. V., Almeida-Blacio, J. H., & Rivadeneira-Moreira, J. C. (2023). Sinergia Científica: Integrando las Ciencias desde una Perspectiva Multidisciplinaria. In *Sinergia Científica: Integrando las Ciencias desde una Perspectiva Multidisciplinaria*. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.33>
- Haron, n., usoh, h., & syuhaida, n. (2019). total phenolic content and antioxidant activity of roselle (hibiscus sabdariffa) extracts. *international journal of allied health scienc*, 3(1987), 725–733.
- Hernández-Rodríguez, S., Quiroz-Reyes, C., Ramírez-Ortiz, M., Ronquillo, E., & Aguilar-Méndez, M. (2020). Optimización del proceso de extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de Justicia spicigera Schltld. mediante la metodología de superficie de respuesta. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 23, 1–7. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.246>
- Herrera-Feijoo, R. J. (2024). Principales amenazas e iniciativas de conservación de la biodiversidad en Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 33–56. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/85>
- Herrera-Feijoo, R. J., Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., & Andrade, J. C. (2023). Análisis bibliométrico como una herramienta en la biotecnología ambiental. In *Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias*. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.17>
- Herrera-Sánchez, M. J., Casanova-Villalba, C. I., Bravo, I. F. B., & Mosquera, A. E. B. (2023). Estudio comparativo de las desigualdades en el tecnoestrés entre instituciones de educación superior en América Latina y Europa. *Código Científico Revista de Investigación*, 4(2), 1288-1303.
- López, C., González Gallardo, C., Guerrero Ochoa, M. J., Mariño, G., Jácome, B., Beltrán Sinchiguano, E., López, C., González Gallardo, C., Guerrero Ochoa, M. J., Mariño, G., Jácome, B., & Beltrán Sinchiguano, E. (2019). estudio de la estabilidad de los antioxidantes del vino de flor de jamaica (hibiscus sabdariffa l) en el almacenamiento. *la granja. Revista de Ciencias de La Vida*, 29(1), 105–118. <https://doi.org/10.17163/LGR.N29.2019.09>
- Luna-Fox, S. B., Dahua-gualinga, R. D., Rodríguez-almeida, N. N., Peñafiel-Bonilla, N. J., & Radice, M. (2023). Influencia de las Condiciones de Extracción sobre los Compuestos Influence of Extraction Conditions on the Total Polyphenolic Compounds of Piper Aduncum L. *Ciencia Latina Internacional*, 7(5), 3872–3891.
- Maiuolo, J., Gliozzi, M., Carresi, C., Musolino, V., Oppedisano, F., Scarano, F., Nucera, S., Scicchitano, M., Bosco, F., Macri, R., Ruga, S., Cardamone, A., Coppoletta, A., Mollace, A., Cognetti, F., & Mollace, V. (2021). Nutraceuticals and cancer: Potential for natural polyphenols. *Nutrients*, 13(11), 1–27. <https://doi.org/10.3390/nu13113834>
- Mohamad, N., Abdul-Gani, S., Abdul-Wahab, R., & Darham, W. (2022). Natural Antioxidant from Hibiscus Sabdariffa Extract: Assessments on Extraction Yield, Antioxidant Capacity and Total Polyphenol Content of Different Polarities of Solvent Extracts. *Journal of Smart Science and Technology*, 2(2), 52–60. <https://doi.org/10.24191/jsst.v2i2.27>
- Pacheco, F. (2019). Polifenoles y actividad antioxidante de extractos acuosos de cálices de Hibiscus sabdariffa L. *Ab Intus*, 4(2), 14–20. [https://www.researchgate.net/profile/Franklin-Coello/publication/341343483\\_Polifenoles\\_y\\_actividad\\_antioxidante\\_de\\_extractos\\_acuosos\\_de\\_calices\\_de\\_Hibiscus\\_sabdariffa\\_L/links/5ebba422458515626ca57138/Polifenoles-y-](https://www.researchgate.net/profile/Franklin-Coello/publication/341343483_Polifenoles_y_actividad_antioxidante_de_extractos_acuosos_de_calices_de_Hibiscus_sabdariffa_L/links/5ebba422458515626ca57138/Polifenoles-y-)

actividad-antioxidante-de-extractos-acuos

- Pacheco-Coello, F., Ramírez-Azuaje, D., Pinto-Catari, I., Peraza-Marrero, M., & Orosco-Vargas, C. (2019). Comparación de compuestos fenólicos totales en *Hibiscus sabdariffa* L. Venezuela. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 48(3), 521–527. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v48n3.84956>
- Patra, S., Pradhan, B., Nayak, R., Behera, C., Das, S., Patra, S. K., Efferth, T., Jena, M., & Bhutia, S. K. (2021). Dietary polyphenols in chemoprevention and synergistic effect in cancer: Clinical evidences and molecular mechanisms of action. *Phytomedicine*, 90(November 2020), 153554. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2021.153554>
- Riswanto, F., Rohman, A., Pramono, S., & Martono, S. (2019). Application of response surface methodology as mathematical and statistical tools in natural product research. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 9(10), 125–133. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2019.91018>
- Ruiz Zambrano, L. G., Benavidez Mendoza, M. G., Cobeña Infante, N. N., & Cheme Baque, M. G. (2022). La ética del cuidado dentro de las organizaciones sociales. In *Resultados Científicos de la Investigación Multidisciplinaria desde la Perspectiva Ética*. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.14>
- Ruiz-López, M., Nátera, J., Moya, C., Ramírez, L., Silva, M., Macías, R., & García-López, P. (2020). Antioxidant capacity and antigenotoxic effect of *Hibiscus sabdariffa* L. extracts obtained with ultrasound-assisted extraction process. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/app10020560>
- Ruiz-Sanchez, C. I., Herrera-Feijoo, R. J., Guamán-Rivera, S. A., & Fernández-Vélez, C. V. (2023). Enfoque innovador en el diseño de revestimientos para cunetas: material compuesto de polímeros reciclados. In *Sinergia Científica: Integrando las Ciencias desde una Perspectiva Multidisciplinaria*. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.22>
- Singh, M., Thrimawithana, T., Shukla, R., & Adhikari, B. (2021). Extraction and characterization of polyphenolic compounds and potassium hydroxycitrate from *Hibiscus sabdariffa*. *Future Foods*, 4(July), 100087. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100087>
- Sridhar, A., Ponnuchamy, M., & Senthil, P. (2021). Techniques and modeling of polyphenol extraction from food: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 35.
- Ummat, V., Tiwari, B., Jaiswal, A., Condon, K., Garcia-Vaquero, M., O'Doherty, J., O'Donnell, C., & Rajauria, G. (2020). Optimisation of ultrasound frequency, extraction time and solvent for the recovery of polyphenols, phlorotannins and associated antioxidant activity from brown seaweeds. *Marine Drugs*, 18(5). <https://doi.org/10.3390/md18050250>
- Yang, W., Cui, K., Li, X., Zhao, J., Zeng, Z., Song, R., Qi, X., & Xu, W. (2021). Effect of Polyphenols on Cognitive Function: Evidence from Population-based Studies and Clinical Trials. *Journal of Nutrition, Health and Aging*, 25(10), 1190–1204. <https://doi.org/10.1007/s12603-021-1685-4>
- Zamora-Cujilema, V., Mariño-Brito, G., González-Gallardo, C., Jácome-Villacres, M., & Beltrán-Sinchiguano, E. (2018). Estudio de la capacidad antioxidante y contenido de polifenoles en el proceso de clarificación del vino de flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) utilizando cálices frescos. *Enfoque UTE*, 9(2), 1–14. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.305>