



Efecto de la temperatura de secado sobre los compuestos polifenólicos y actividad antioxidante de las hojas de *Piper aduncum* L.

Effect of drying temperature on polyphenolic compounds and antioxidant activity of *Piper aduncum* L. leaves

Autores

- ✉ *Sting Brayan Luna-Fox
- ✉ Katherine Estefanía González-Linares
- ✉ Jhomaira Astrid Ortega Torres
- ✉ Nancy Narcisa Rodríguez-Almeida
- ✉ Ruth Dayra Dahua-Gualinga
- ✉ Nelly Jazmín Peñafiel-Bonilla
- ✉ Luis Ramón Bravo-Sánchez

Universidad Estatal Amazónica, Km 2½
Vía Puyo, Tena, Puyo, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Citación sugerida: Luna-Fox, S. B., González-Linares, K. E., Ortega Torres, J. A., Rodríguez-Almeida, N. N., Dahua-Gualinga, R. D., Peñafiel-Bonilla, N. J. y Bravo-Sánchez, L. R. (2024). Efecto de la temperatura de secado sobre los compuestos polifenólicos y actividad antioxidante de las hojas de *Piper aduncum* L. *La Técnica*, 14(1), 20-28. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v14i1.6034>

Recibido: Agosto 23, 2023
Aceptado: Diciembre 15, 2023
Publicado: Enero 09, 2024

Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la temperatura de secado sobre los compuestos polifenólicos y actividad antioxidante de las hojas de *Piper aduncum* L. Las hojas fueron recolectadas en la ciudad de Puyo, sector El Paico, ubicado en la Amazonía de la provincia de Pastaza, Ecuador. Se utilizó la técnica de extracción asistida por ultrasonido para obtener los extractos acuosos. Los polifenoles totales fueron determinados mediante el método de análisis de Folin-Ciocalteu y la actividad antioxidante fue evaluada utilizando los métodos FRAP y ABTS. Se evaluó el efecto de tres niveles de temperatura de secado (45, 50 y 55 °C) sobre los compuestos polifenólicos y la actividad antioxidante de las hojas de matico. Se usó el software Design Expert versión 10, para evaluar la significancia del factor de estudio sobre la respuesta experimental ($P < 0,05$). Se realizó el análisis ANOVA para valorar la influencia que tuvo la temperatura sobre las variables de respuesta. La temperatura de secado tuvo un efecto negativo sobre los compuestos polifenólicos y la actividad antioxidante en las hojas de *P. aduncum*. Los mayores valores se obtuvieron a 45 °C (79,92 mg eq. de ácido gálico·100 g⁻¹ de biomasa seca) para polifenoles totales, (74.898,90 y 508,07 µg eq. de TROLOX·g⁻¹ de biomasa seca), para actividad antioxidante mediante las técnicas FRAP y ABTS, respectivamente, por lo que es recomendable realizar el secado a esta temperatura, previo a cualquier utilización o procesamiento posterior con vista a preservar sus propiedades como antioxidante natural.

Palabras clave: polifenoles totales; capacidad antioxidante; FRAP; ABTS.

Abstract

The objective of the research was to evaluate the effect of drying temperature on the polyphenolic compounds and antioxidant activity of the leaves of *Piper aduncum* L. The leaves were collected in the city of Puyo, El Paico sector, located in the Amazon of the province from Pastaza, Ecuador. The ultrasound-assisted extraction technique was used to obtain the aqueous extracts. Total polyphenols were determined using the Folin-Ciocalteu analysis method and antioxidant activity was evaluated using the FRAP and ABTS methods. The effect of three levels of drying temperature (45, 50 and 55 °C) on the polyphenolic compounds and antioxidant activity of matico leaves was evaluated. Design Expert version 10 software was used to evaluate the significance of the study factor on the experimental response ($P < 0.05$). ANOVA analysis was performed to assess the influence that temperature had on the response variables. Drying temperature had a negative effect on polyphenolic compounds and antioxidant activity in *P. aduncum* leaves. The highest values were obtained at 45 °C (79.92 mg eq. of gallic acid·100 g⁻¹ of dry biomass) for total polyphenols (74,898.90 and 508.07 µg eq. of TROLOX·g⁻¹ of dry biomass), for antioxidant activity using the FRAP and ABTS techniques, respectively, so it is advisable to dry at this temperature, prior to any subsequent use or processing in order to preserve its properties as a natural antioxidant.

Keywords: total polyphenols; antioxidant capacity; FRAP; ABTS.



Introducción

La región amazónica de Ecuador es considerada como uno de los sectores con más biodiversidad en el planeta, las diversas especies de plantas que allí se encuentran ha generado que se realicen constantes investigaciones tanto en el campo alimentario como en la generación de nuevas materias primas destinadas a la fabricación de cosméticos y productos farmacéuticos (Luna-Fox et al., 2023b). La mayor parte de las especies vegetales son desconocidas para el mundo actual; sin embargo, las diferentes culturas indígenas han utilizado estas plantas para aprovechar sus propiedades curativas, y dentro de esta gran variedad de plantas se encuentra *Piper aduncum* L. conocido comúnmente como matico (Bedón y León, 2022).

Matico, es una planta perteneciente a la familia de las piperáceas, crece aproximadamente hasta 4 m de altura, su corteza es rugosa, granular de color café verdoso y con hojas individuales alternas (Bedón y León, 2022). Crece de manera silvestre en las costas de América central y del sur, en la región amazónica y en los valles de los Andes a 3.000 msnm; es oriunda de Perú, Chile y Argentina (Alvarado, 2019).

En Ecuador, esta planta crece entre 0-2.000 msnm principalmente en las provincias de Azuay, Cañar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Pastaza y Zamora Chinchipe; como “hierba del soldado” o “cordoncillo” (Portal et al., 2020). Las diferentes culturas amazónicas, han utilizado durante muchos años sus hojas como medicina natural para sanar las cicatrices de la piel, curar dolores estomacales, úlceras, diarrea, afecciones hepáticas y colitis (Alvarado, 2019). Contiene importantes metabolitos como los polifenoles naturales, tales como taninos y flavonoides los cuales se encuentran en una concentración de hasta 5,7%, además contiene diversos glucósidos y posee propiedades antioxidantes y protectoras de membranas celulares (Cai et al., 2016).

La relación existente entre los radicales libres y los antioxidantes ha sido objeto de estudio por casi cuatro décadas (Taverne et al., 2018). Diferentes especies vegetales han sido investigadas, se han identificado sus metabolitos activos y se ha demostrado su elevada actividad antioxidante, que puede ser aprovechada en la fabricación de medicamentos y también en el sector alimentario (Soro et al., 2021).

La elevada actividad antioxidante, inhibición de la oxidasa, captación de radicales libres y la capacidad quelante de hierro que poseen los compuestos polifenólicos ha despertado el interés de los investigadores. Estos metabolitos poseen un impacto farmacológico amplio y diverso; estudios han demostrado que modifican la sensibilidad del organismo a sustancias peligrosas

como los alérgenos (Vidal-Gutiérrez et al., 2020). Los compuestos polifenólicos poseen mecanismos de protección sobre las paredes vasculares y capilares, la reducción de la fragilidad y la actividad antimicrobiana (Muchiutti et al., 2019).

Para la extracción de compuestos polifenólicos en especies vegetales, se han empleado diversas técnicas, tales como: extracción por microondas, fluido supercrítico, ultrasonidos, entre otras (Otálora-Rodríguez et al., 2021). La eficiencia de las técnicas empleadas depende de factores como el tiempo y tipo de disolvente, así mismo, el tratamiento del material vegetal, la temperatura de secado y el tamaño de la partícula tienen un papel importante en el rendimiento de extracción (Cai et al., 2016). Con estos antecedentes, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la temperatura de secado sobre los compuestos polifenólicos y actividad antioxidante de las hojas de *Piper aduncum* L.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Laboratorio de Bromatología de la Universidad Estatal Amazónica (UEA), ubicada en el km 2½ vía al Tena, provincia Pastaza. Las hojas de matico fueron recolectadas en la ciudad de Puyo, sector El Paico, ubicado en la Amazonía de la provincia de Pastaza, Ecuador con una altitud de 940 msnm, 00°59'-1" y 77°49'0" (Luna-Fox et al., 2023a). Antes de los análisis, las hojas fueron lavadas con agua desmineralizada y secadas a temperatura ambiente. Posterior a ello, fueron colocadas en estufas a 45, 50 y 55 °C por 48 h. El contenido de humedad se determinó por diferencia de biomasa, y este resultado se utilizó para calcular la biomasa inicial en base seca. Las hojas fueron trituradas en un molino marca KitchenAid, modelo BCG1110B y frecuencia nominal de 60 Hz, luego se tamizó para obtener un tamaño de partícula inferior a 0,5 mm (Gayosso-Rodríguez et al., 2018).

Obtención de los extractos

Los extractos se obtuvieron aplicando la extracción asistida por ultrasonido, usando un equipo de baño ultrasónico Branson 38000, serie CPXH, con 5,7 L de capacidad en el tanque, frecuencia de 40 Hz y potencia 110 W. Como disolvente se utilizó agua destilada según lo reportado por Luna-Fox et al. (2023a) para el que se consideró prioritario maximizar el contenido de cafeína y polifenoles. Las mejores condiciones para extraer la mayor cantidad de cafeína y polifenoles fueron con 15 g de guayusa en 100 mL de agua destilada, aplicando la decocción por 30 min. Los extractos se filtraron usando papel Whatman No 4 y se almacenaron a 4 °C en balones de vidrio cubiertos con papel aluminio hasta su posterior uso (Surco-Laos et al., 2020).

Determinación espectrofotométrica de polifenoles totales

Del extracto acuoso obtenido, se tomó 1 mL en un matraz aforado de 10 mL y se agregó 0,5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu diluido a la mitad con agua destilada y se dejó en reposo por 10 min, posteriormente se agregó 0,5 mL de carbonato de sodio al 20% y se enrasó con agua destilada; se agitó y se protegió de la luz con papel aluminio por 2 h a temperatura ambiente. Finalmente, la absorbancia se midió a 765 nm en un espectrofotómetro uv-vis marca Thermo, modelo Genesis 5 y serie 3V0H228001 (Luna-Fox et al., 2023a).

El contenido total de polifenoles se determinó utilizando una curva de calibración de ácido gálico y la concentración de polifenoles totales se expresó en miligramos equivalentes al ácido gálico por 100 g de hojas de matico en base a biomasa seca (mg EAG·100 g⁻¹ de biomasa seca), para ello se empleó la ecuación 1, obtenida a partir del modelo matemático de la recta de calibrado del ácido gálico, confeccionada con cinco concentraciones y tres réplicas (Luna-Fox et al., 2023b).

$$A = 0,0734C - 0,0028 \quad (1)$$

donde:

A: absorbancia de la muestra

C: concentración de la muestra (mg·L⁻¹)

Actividad antioxidante

Se realizó mediante la aplicación de dos métodos, que se caracterizaron por ser confiables y sencillos de aplicar (Suárez-Rebaza et al., 2019).

Actividad antioxidante por ABTS

El ensayo de decoloración de cationes radicales ABTS, descrito por Re et al. (1999) fue seleccionado con el fin de determinar la actividad secuestrante de radicales libres. El radical ABTS se preparó mezclando disoluciones de ABTS 7 mM y persulfato de potasio 2,45 mM, a partes iguales. La disolución se mantuvo en la oscuridad a temperatura ambiente durante 16 h para la formación del radical, el cual se diluyó en etanol para obtener una absorbancia de 0,873. La preparación de la disolución de persulfato de potasio se realizó adicionando 0,663 g de la sal en agua destilada y diluyendo hasta enrasar a 100 mL. La disolución de ABTS se preparó disolviendo 0,384 g en 10 mL de agua destilada (Arteaga-Crespo et al., 2020). Los resultados se expresaron en microgramos equivalentes de TROLOX·g⁻¹ de biomasa seca (µg eq. T·g⁻¹ de biomasa seca), calculados a partir de la ecuación 2.

$$A = 0,873 - 0,1304C \quad (2)$$

donde:

A: absorbancia de la muestra leída a 730 nm.

C: concentración de la muestra (mg·L⁻¹).

Actividad antioxidante por FRAP

La actividad antioxidante fue calculada por el ensayo FRAP, según Benzie y Strain (1996). Se colocaron 80 µL de cada extracto en un matraz aforado de 10 mL, al que se le agregaron 5

mL de disolución de FRAP recién preparada. Luego de agregar el reactivo, se agregó agua destilada al matraz hasta completar 10 mL, y se dejó a 37 °C durante 30 min, protegido de la luz. La lectura se registró a una longitud de onda de 593 nm frente a la disolución de control. El reactivo FRAP se preparó mezclando 2,5 mL de disolución de 2,4,6-piridil-s-triazina (TPTZ) con 2,5 mL de disolución de cloruro de hierro III y 25 mL de tampón acetato.

Para la preparación de la disolución de TPTZ se pesaron 0,03 g de reactivo y se colocaron en un matraz aforado de 10 mL y se diluyó hasta enrase con ácido clorhídrico 40 mM. Se preparó tampón de acetato disolviendo 0,0061 g de acetato de sodio en 200 mL de agua destilada, se añadió ácido clorhídrico 40 Mm hasta que la mezcla alcanzó un pH de 3,5, luego se diluyó hasta enrasar con agua destilada hasta 250 mL. Para la preparación de la disolución de cloruro de hierro (III) se disolvieron 0,1352 g en 25 mL de agua destilada. Los resultados se expresaron en microgramos equivalentes de Trolox·100 g⁻¹ de biomasa seca (µg eq. T·g⁻¹ de biomasa seca), y se calcularon mediante la ecuación 3 (Arteaga-Crespo et al., 2020).

$$C = \frac{A}{0,1879} \quad (3)$$

donde:

A: absorbancia de las muestras leídas a 593 nm.

C: concentración de las muestras (mg·L⁻¹)

Diseño experimental

Se evaluó el efecto de tres niveles de temperatura de secado (variable independiente) de las hojas de matico (tabla 1) sobre la concentración de compuestos polifenólicos y la actividad antioxidante de los extractos acuosos obtenidos (variables de respuesta). Se usó el software Design Expert versión 10, para evaluar la significancia (P<0,05) del factor de estudio sobre la respuesta experimental. Se realizó el análisis ANOVA para valorar la influencia que tuvo la temperatura sobre las variables de respuesta.

En la tabla 1 se plantea el diseño factorial con punto intermedio, realizado.

Tabla 1. Nivel de las variables seleccionadas en el diseño factorial

Variable independiente	Nivel de variable codificada			
	Símbolo	Bajo	Central	Alto
Temperatura de secado (°C)	A	-1	0	1
		45	50	55

Resultados y discusión

Efecto de la temperatura sobre los compuestos polifenólicos totales del matico

La figura 1 muestra el Diagrama de Pareto el cual incluyó el límite de Bonferroni que es una línea de corte estadístico; así



mismo, el factor de estudio está representado por la barra vertical y el color muestra el efecto que tuvo sobre la variable respuesta; si el color es azul entonces el efecto del factor sobre la variable respuesta fue negativo, si el color es naranja fue positivo. El factor de estudio fue estadísticamente significativo ($P < 0,05$) si se ubica por encima del límite de Bonferroni. En esta investigación, la temperatura afectó significativamente los compuestos polifenólicos del matico, lo cual era de esperar debido a que estos compuestos antioxidantes experimentaron una reacción de oxidación que se aceleró por efecto de la temperatura.

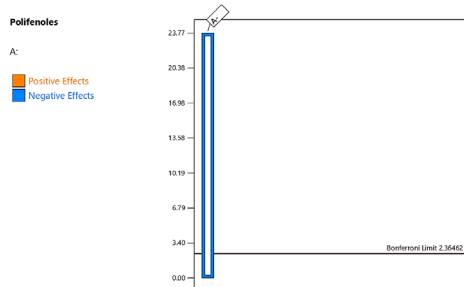


Figura 1. Diagrama de Pareto sobre el efecto de la temperatura en los polifenoles totales del matico.

La figura 2, muestra el efecto negativo de la temperatura sobre la variable respuesta, donde a mayor temperatura la concentración de polifenoles disminuyó; en este sentido, la mayor concentración de polifenoles se obtuvo en las hojas de matico secadas a 45 °C.

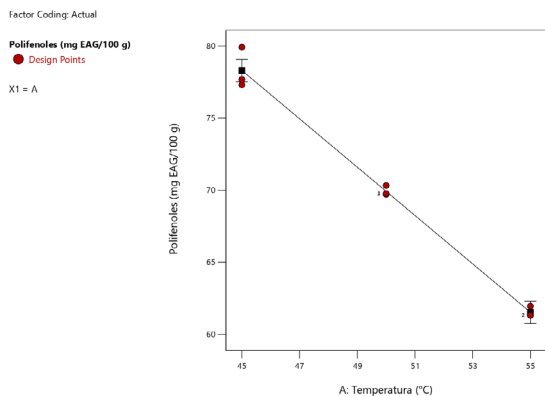


Figura 2. Efecto de la temperatura de secado sobre los polifenoles totales del matico.

En la tabla 2, se muestra el modelo factorial seleccionado. El valor F del modelo de 659,19 implicó que el modelo fue significativo. Solo hubo un 0,01% de posibilidades de que un valor F tan grande se deba al ruido.

Los valores de probabilidad “P” inferiores a 0,05 indicaron que los términos del modelo fueron significativos. En este caso, la temperatura (A) fue un término significativo del modelo. El

valor F de falta de ajuste de 0,06 implicó que la falta de ajuste no fue significativa con relación al error puro. Hubo un 98,12% de posibilidades de que un valor F de falta de ajuste tan grande se deba al ruido.

Tabla 2. ANOVA para el modelo factorial seleccionado en polifenoles totales.

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	Valor F	Valor P	
Modelo	421,85	1	421,85	659,19	< 0,0001	Significativo
Temperatura (A)	421,85	1	421,85	659,19	< 0,0001	
Residual	4,48	7	0,6400			
Falta de ajuste	0,0005	1	0,0005	0,06	0,9812	No significativo
Error puro	4,48	6	0,7465			
Total corregido	426,33	8				

De acuerdo con Anderson y Whitcomb (2016) la diferencia entre el R^2 previsto y el R^2 ajustado debe ser inferior a 0,2 para que el modelo factorial utilizado en una investigación sea apropiado. El valor obtenido en esta investigación para el R^2 previsto de 0,9802 concordó razonablemente con el R^2 ajustado de 0,9880; es decir, la diferencia fue inferior a 0,2 (tabla 3). La precisión adecuada mide la relación señal/ruido. Lo deseable es una relación superior a 4 (Arteaga-Crespo et al., 2020). Su ratio de 44,47 indicó una señal adecuada.

Tabla 3. Estadística de ajuste para polifenoles totales.

Desviación estándar	0,8000	R^2	0,9895
Media	69,93	R^2 ajustado	0,9880
CV (%)	1,14	R^2 previsto	0,9802
		Precisión adecuada	44,4699

Abreviatura: CV= coeficiente de variación.

El software Design-Expert generó un modelo matemático lineal que demostró la relación entre la temperatura de secado y los polifenoles totales (ecuación 4).

$$\text{Polifenoles totales} = 153,79445 - 1,67733A \quad (4)$$

donde:

A: temperatura (°C).

La ecuación 4 en términos de factores reales puede utilizarse para hacer predicciones sobre la respuesta para niveles dados de cada factor. En este caso, los niveles deben especificarse en las unidades originales de cada factor.

Los valores experimentales por triplicado y predichos por el modelo matemático se presentan en la tabla 4. Los resultados obtenidos mostraron la idoneidad del modelo predictivo para cubrir todo el intervalo de resultados experimentales, lo que se supone que el modelo puede aplicarse con éxito.

Tabla 4. Resultados experimentales y predichos de polifenoles.

Temperatura (°C)	Polifenoles (experimentales) mg EAG·100 g ⁻¹ bs	Valores predichos mg EAG·100 g ⁻¹ bs
45	77,32	78,31
	79,92	
	77,69	
	69,71	
	69,77	
50	70,33	69,93
	61,32	
	61,33	
55	61,96	

La temperatura de secado tuvo un efecto negativo sobre los polifenoles del matico, la mayor y menor cantidad de polifenoles totales se reportó en el extracto obtenido con las muestras secadas a 45 y 55 °C, respectivamente. Rojas (2019) probó el efecto de cuatro temperaturas de secado (35, 40, 50 y 60 °C) sobre los polifenoles totales en hojas de *P. aduncum* y *Brunfelsia grandiflora* demostró que la concentración de polifenoles disminuyó con el aumento de temperatura; estos resultados concordaron con los obtenidos por Luisetti et al. (2020) cuya aplicación en la formulación de potenciales alimentos funcionales, por sus efectos beneficiosos para la salud, hace interesante su extracción de manera selectiva. Se propone optimizar los parámetros del proceso de extracción de los compuestos fenólicos, sobre la base de un diseño experimental de tres variables a tres niveles. Los parámetros fueron temperatura de secado, relación

Líquido/Sólido (L/S al demostrar que la temperatura de secado fue inversamente proporcional al rendimiento de extracción de metabolitos secundarios.

Ríos-Aguirre y Gil-Garzón (2021) mencionaron que temperaturas de secado superiores a 50 °C degradan algunos compuestos bioactivos de las plantas; en este sentido, Nova et al. (2023) indicaron que temperaturas de secado que estuvieron entre los 35-45 °C fueron las apropiadas para mantener los metabolitos secundarios de las plantas, con actividad antioxidante.

Los resultados de polifenoles conseguidos en esta investigación variaron desde 61,32 a 79,92 mg EAG·100 g⁻¹ bs, estos resultados fueron superiores a los obtenidos por Załuski et al. (2018). Diferentes investigaciones como las de Herrera-Calderon et al. (2019), Uribe et al. (2021) y Aldair et al. (2022) han reportado una gran variedad de polifenoles totales en diferentes especies de matico, esta variabilidad puede deberse a factores como, edad de la planta, condiciones climáticas y de suelo; en este sentido, Alvarado (2019) señaló que la altitud a la cual se recolectaron hojas de matico influyó significativamente sobre el contenido de polifenoles de esta planta.

Por otro lado, las técnicas de extracción, tamaño de partícula y el disolvente usado en la extracción, influyen de manera directa en el rendimiento de los polifenoles. Mamoori y Janabi (2018) evaluaron el efecto de dos métodos de extracción para cuantificar polifenoles espectrofotométricamente, demostraron que los resultados obtenidos por ultrasonido fueron superiores a los obtenidos por microondas.

Efecto de la temperatura sobre la actividad antioxidante del matico

La influencia de la temperatura sobre la actividad antioxidante del matico evaluada por las técnicas FRAP y ABTS se muestra en la figura 3. En el Diagrama de Pareto se puede evidenciar que la temperatura se ubicó por encima del límite de Bonferroni, lo cual indicó que este factor fue estadísticamente significativo ($P < 0,05$).

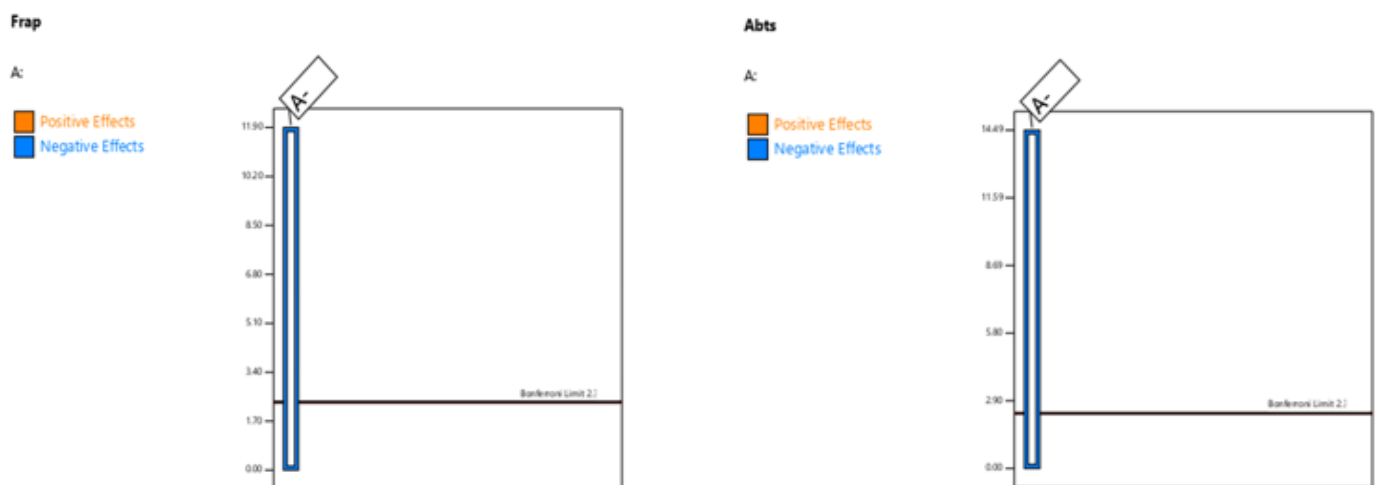


Figura 3. Diagrama de Pareto sobre el efecto de la temperatura en la actividad antioxidante del matico.

La figura 4 muestra que la temperatura fue inversamente proporcional a la capacidad antioxidante; es decir, que en la medida en que se incrementaron los niveles de este factor, la variable de respuesta disminuyó. En este sentido, para la técnica de FRAP (A) y ABTS (B) los resultados superiores se consiguieron a 45 °C con valores de 74.898,90 y 508,07 µg ET·g⁻¹ bs, respectivamente.

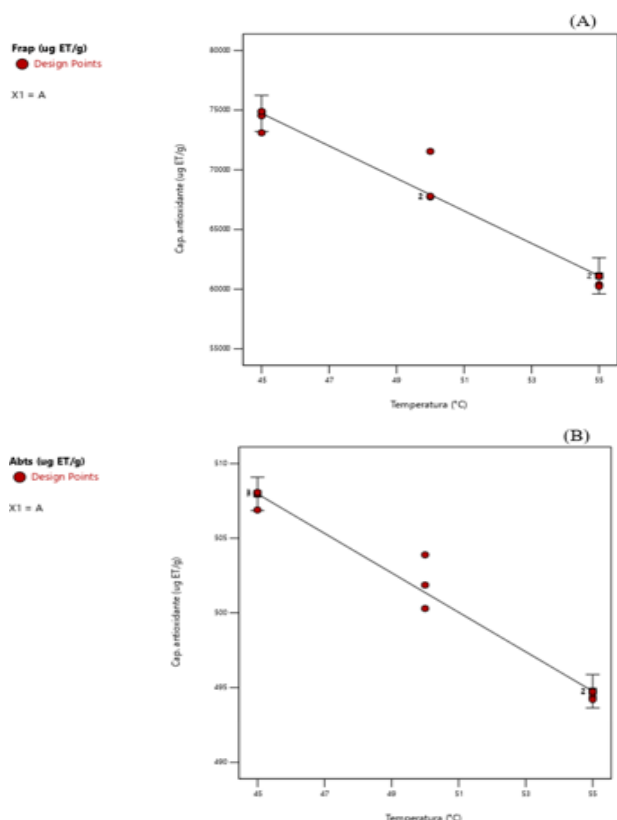


Figura 4. (A) Efecto de la temperatura sobre la actividad antioxidante por FRAP. (B) Efecto de la temperatura sobre la actividad antioxidante por ABTS.

En la tabla 5 se presenta el ANOVA con el modelo factorial seleccionado para actividad antioxidante. El valor de F del modelo de 113,11 implicó que este fue significativo y que solo hubo una probabilidad del 0,01% de que se produjera un valor F tan grande debido al ruido.

Los valores de P menores a 0,05 probaron que los términos del modelo fueron significativos. En este caso, la temperatura (A) fue un factor significativo del modelo. Los valores que se encontraron por encima de 0,10 indicaron que los términos del modelo no fueron significativos. El valor F de falta de ajuste de 2,76 implicó que la falta de ajuste no fue significativo con

relación al error puro. Hubo una probabilidad del 14,76% de que se produzca un valor F de falta de ajuste tan grande debido al ruido.

Tabla 5. Resultados experimentales y predichos de actividad antioxidante.

Temperatura (°C)	Actividad Antioxidante (FRAP) µg ET·g ⁻¹ bs	Valores predichos (FRAP) µg ET·g ⁻¹ bs	Actividad Antioxidante (ABTS) µg ET·g ⁻¹ bs	Valores predichos (ABTS) µg ET·g ⁻¹ bs
45	74.528,60		507,97	
	73.105,60	74728,95	508,07	507,97
	74.898,90		506,89	
50	67.727,00		501,87	
	67.787,20	67921,50	503,89	501,37
	71.544,30		500,30	
55	60.383,90		494,37	
	60.234,50	61117,05	494,73	494,76
	61.088,00		494,21	

Nuevamente, considerando lo propuesto por Anderson y Whitcomb (2016), la diferencia entre el R² previsto y el R² ajustado debe ser inferior a 0,2 para que el modelo factorial utilizado en una investigación sea adecuado. En la presente investigación el R² previsto de 0,9174 estuvo razonablemente de acuerdo con el R² ajustado de 0,9334; es decir, la diferencia fue inferior a 0,2 (tabla 6). La precisión adecuada midió la relación señal/ruido. Es deseable una relación superior a 4. Su relación de 18,421 indica una señal adecuada.

Tabla 6. Estadística de ajuste para la actividad antioxidante.

Desviación estándar	1567,17	R ²	0,9417
Media	67.922,00	R ² ajustado	0,9334
CV (%)	2,31	R ² previsto	0,9174
		Precisión adecuada	18,4210

Abreviatura: CV= coeficiente de variación.

El software Design-Expert generó dos modelos matemáticos, uno para FRAP (ecuación 5) y otro para ABTS (ecuación 6), que demostraron la relación entre la temperatura de secado y la actividad antioxidante.b

$$\text{Actividad antioxidante (FRAP)} = 1,35966 \times 10^5 - 1360,89A \quad (5)$$

$$\text{Actividad antioxidante (ABTS)} = 567,40000 - 1,3207A \quad (6)$$

donde:

A: temperatura (°C)

Las ecuaciones 5 y 6 se pueden utilizar para hacer estimaciones sobre la variable respuesta a diferentes niveles de temperatura. En este caso, los niveles deben especificarse en las unidades originales del factor de estudio.

Las respuestas experimentales por triplicado y los valores predichos por los modelos matemáticos se presentan en la tabla 7. Los resultados predichos mostraron la idoneidad de los modelos predictivos para cubrir todo el intervalo de resultados experimentales, lo cual significó que el modelo puede aplicarse con éxito.

Tabla 7. ANOVA para el modelo factorial seleccionado en capacidad antioxidante.

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	Valor F	Valor P	
Modelo	2,778E+08	11	2,778E+08	113,11	< 0,0001	Significativo
Temperatura (A)	2,778E+08	11	2,778E+08	113,11	< 0,0001	
Residual	1,719E+07	77	2,456E+06			
Falta de ajuste	5,420E+06	11	5,420E+06	2,76	0,1476	No significativo
Error puro	1,177E+07	66	1,962E+06			
Total corregida	2,950E+08	88				

La temperatura tuvo un comportamiento inversamente proporcional a la actividad antioxidante del matico sometido a secado, esto concordó con lo indicado por Soto-Celis y Jáuregui, (2018) quienes evaluaron el efecto de la temperatura de secado sobre la actividad antioxidante de *Psidium guajava* L. y se demostró que esta disminuyó con el incremento de temperatura; así mismo, Rosa-Hernández et al. (2018) demostró que la temperatura de secado tuvo un efecto negativo sobre la actividad antioxidante de *Citrus paradisi*.

Zaluski et al. (2018) mencionó que el matico es una planta cuya actividad antioxidante está determinada principalmente por los compuestos fenólicos que posee. Según Indirayati et al. (2020) dentro de los polifenoles presentes en el matico con mayor actividad antioxidante se encontraron los flavonoides, catequinas, flavonas y ácidos hidroxicinámico. La cantidad de estos compuestos dependió de la especie, condiciones de suelo, horas luz y condiciones climáticas (Arroyo et al., 2022). Los resultados de actividad antioxidante obtenidos en este estudio fueron superiores a los reportados por Pacheco et al. (2022) donde alcanzó valores de 1770 y 86,4 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ de biomasa seca para las técnicas FRAP y ABTS, respectivamente. La discrepancia en los valores podría atribuirse a diferencias en las muestras analizadas (Chizzola et al., 2018), la variabilidad genética (Alipio-Rodríguez et al., 2020) y condiciones ambientales (Średnicka-Tober et al., 2019).

Vale recalcar que los resultados de la presente investigación poseen una importancia trascendental a la hora de procesar las hojas de *P. aduncum*. como materia prima no alimentaria para la

fabricación de productos medicinales, nutracéuticos, cosméticos, entre otros, para lo cual es conveniente llevar a cabo un secado a una temperatura que no sobrepase los 45 °C.

Conclusión

La temperatura de secado tuvo un efecto negativo sobre los compuestos polifenólicos y la actividad antioxidante de las hojas secas del matico. Los mejores resultados se obtuvieron a 45 °C con valores de 79,92 mg EAG \cdot 100 g $^{-1}$ de biomasa seca para polifenoles totales; 74.898,90 y 508,07 $\mu\text{g ET}\cdot\text{g}^{-1}$ de biomasa seca, para actividad antioxidante determinada a través de las técnicas espectrofotométricas FRAP y ABTS, respectivamente. Este aporte es crucial en el contexto de la optimización de procesos de secado para la conservación de propiedades bioactivas en productos naturales, ofreciendo pautas prácticas para la obtención de productos con mayores beneficios antioxidantes.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Aldair, C., Pérez, Z., Valencia, J. y Ríos, F. (2022). Propiedades farmacológicas e indicaciones terapéuticas el *Piper aduncum* L. (matico) para aliviar diversas enfermedades. *Investigación Universitaria UNU*, 12(1), 766-774. <https://doi.org/10.53470/RIU.V12I1.73>
- Alipio-Rodríguez, A., Mostacero-León, J., López-Medina, E., Cruz-Castillo, A. and Gil-Rivero, A. (2020). Ethnomedicinal use value of the flora of the hill “la botica” used by the andean community of cachicadán-Perú. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, 19(6), 601-613. <https://doi.org/10.37360/blacpma.20.19.6.43>
- Alvarado, G. (2019). *Actividad antioxidante y determinación de fenoles de extractos de matico (Piper sp.) en diferentes altitudes del distrito de Levanto, Amazonas*. https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/1769/AlvaradoSantillanGin_gler.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Anderson, M. J. and Whitcomb, P. J. (2016). *Rsm simplified: Optimizing processes using response surface methods for design of experiments*. Second Edition. 295 p.
- Arroyo, J., Bonilla, P., Marín, M., Tomás, G., Huamán, J., Ronceros, G., Ruez, E., Moreno, L. and Hamilton, W. (2022). Anatomical and histochemical study of the vegetative organs of *Piper aduncum* L. (Piperaceae). *Polibotánica*, 0(54), 185-202.
- Arteaga-Crespo, Y., Radice, M., Bravo-Sanchez, L. R., García-Quintana, Y. and Scalvenzi, L. (2020). Optimisation of ultrasound-assisted extraction of phenolic antioxidants from *Ilex guayusa* Loes. leaves using response surface methodology. *Heliyon*, 6(1), e03043. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03043>



- Bedón Ponluisa, K. A. y León Coque, N. I. (2022). *Extracción del aceite esencial de Matico (Piper aduncum) mediante el método de arrastre de vapor*. Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador. 102 p.
- Benzie, I. and 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>
- Cai, Z., Qu, Z., Lan, Y., Zhao, S., Ma, X., Wan, Q., Jing, P. and Li, P. (2016). Conventional, ultrasound-assisted, and accelerated-solvent extractions of anthocyanins from purple sweet potatoes. *Food Chemistry*, 197, 266-272. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.10.110>
- Chizzola, R., Lohwasser, U. and Franz, C. (2018). Biodiversity within *Melissa officinalis*: Variability of bioactive compounds in a cultivated collection. *Molecules*, 23(2), 1-13. <https://doi.org/10.3390/molecules23020294>
- Gayosso-Rodríguez, S., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, M. y Garraña, R. (2018). Caracterización físico-química de mezclas de residuos orgánicos utilizados como sustratos agrícolas. *Bioagro*, 30(3), 179-190. <https://revistas.uclave.org/index.php/bioagro/article/view/2716>
- Herrera-Calderon, O., Chacaltana-Ramos, L., Yuli-Posadas, R., Pari-Olarte, B., Enciso-Roca, E., Tinco-Jayo, J., Rojas-Armas, J., Felix-Veliz, L. and Franco-Quino, C. (2019). Antioxidant and cytoprotective effect of *Piper aduncum* L. against sodium fluoride (NaF)-Induced toxicity in Albino mice. *Toxics*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/TOXICS7020028>
- Indirayati, N., Nisa, K., Kurang, R., Tarmo, N. and Adang, K. (2020). Radical scavenging activity and total phenolic content of seven tropical plants. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 462(1), 12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/462/1/012043>
- Luisetti, J., Lucero, H. and Ciappini, M. C. (2020). Estudio preliminar para optimizar la extracción de compuestos fenólicos bioactivos de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista de Ciencia y Tecnología*, 33, 1-10. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-75872020000100012&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Luna-Fox, S. B., Álvarez Castro, R. R., Peñafiel-Bonilla, N. J., Radice, M., Scalvenzi, L., Arteaga-Crespo, Y., López-Hernández, O. D. y Bravo-Sánchez, L. R. (2023). Elaboración de un preparado hidrosoluble en forma de sólido pulverulento a partir de *Ilex guayusa* Loes. *La Técnica*, 13(1), 247-56. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9035502&info=resumen&idioma=SPA>
- Luna-Fox, S. B., Rodríguez-Almeida, N. N., Dahua-Gualinga, R. D. y Sancho-Aguilera, D. (2023). Compuestos polifenólicos, contenido mineral y tamizaje fitoquímico de extractos acuosos de *Simira cordifolia* obtenidos mediante ultrasonidos. *Polo del Conocimiento*, 8(11), 418-437. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i11.6216>
- Mamoori, F. and Janabi, R. (2018). Recent advances in microwave-assisted extraction (mae) of medicinal plants: a review. *International Research Journal of Pharmacy*, 9(6), 22-29. <https://doi.org/10.7897/2230-8407.09684>
- Muchiutti, G., López-Novello, L., Córscico, F. y Larrosa, V. (2019). Cápsulas de alginato para la protección de polifenoles presentes en el aceite esencial de orégano. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 30(59), 297-309. <https://doi.org/10.33255/3059/687>
- Nova, C., Giraldo, L. y Cáceres-Roa, S. (2023). Extracción de polifenoles: una comparación a partir de cáscara de cacao húmeda vs cáscara de cacao secada. *Ingeniería y Competitividad*, 25(2), e-20612223. <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i2.12223>
- Otálora-Rodríguez, M., Wilches-Torres, A. y Cárdenas-González, O. (2021). Extracción de polifenoles de *Cynara scolymus* L., usando técnicas tradicionales y modernas. Una breve revisión. *I3+*, *Investigación, Innovación, Ingeniería*, 4(1), 29-38. <https://doi.org/10.24267/23462329.789>
- Pacheco, F., Alvarenga, I., Bertolucci, S., Pinto, J. and Alvarenga, A. (2022). Water suppression indicates the prevalence of the secondary defense system in *Piper aduncum*. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 24(1), 38-50. https://www.sbpmed.org.br/admin/files/papers/file_UgUsUux8IxMz.pdf
- Portal, J., Proaño, R. y Villacís, S. (2020). Experiencia comunitaria con el uso de la planta medicinal conocida como “matico”, en el cantón ambato, en el período marzo-julio del 2012. *Investigación y Desarrollo*, 5(1), 7-12. <https://doi.org/10.31243/id.v5.2013.15>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., and Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)

- Rios-Aguirre, S. y Gil-Garzón, M. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *Tecnológicas*, 24(51), 206-229. <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Rojas, M. (2019). Evaluación de la actividad antioxidante y polifenoles totales en extractos de las hojas de tres especies de plantas medicinales de Campo Verde, Ucayali-2018. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía. <http://repositorio.unia.edu.pe/handle/unia/206>
- Rosa-Hernández, M., Wong-Paz, J., Muñoz-Márquez, D. y Carrillo-Inungaray, M. (2018). Compuestos fenólicos bioactivos de la toronja (*Citrus paradisi*) y su importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 47(2), 22-35. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57956610003>
- Soro, A., Valenzuela, G. y Núñez, M. B. (2021). Actividad antioxidante de cuatro especies vegetales del nordeste argentino. *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm*, 50(1), 236-252. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v50n1.95457>
- Soto-Celis, E. y Jáuregui, B. (2018). Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento en las características fisicoquímicas y capacidad antioxidante de pulpa de guayaba (*Psidium guajava* L.) variedad criolla roja. *Cientifi-K*, 2(2), 14.
- Średnicka-Tober, D., Ponder, A., Hallmann, E., Głowacka, A. and Rozpara, E. (2019). The profile and content of polyphenols and carotenoids in local and commercial sweet cherry fruits (*Prunus avium* L.) and their antioxidant activity in vitro. *Antioxidants*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/antiox8110534>
- Suárez-Rebaza, L., Ganoza-Yupanqui, L., Zavala-Urtecho, D. y Alva-Plasencia, M. (2019). Compuestos fenólicos y actividad antioxidante de extractos hidroalcohólicos y acuosos de frutos de *Prosopis pallida* "algarrobo." *Agroindustrial Science*, 9(1), 87-91. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2019.01.11>
- Surco-Laos, F., Paucar, H., Gamboa, W., Ceccarelli, J. y Campos, M. (2020). Determinación de polifenoles totales y actividad antioxidante de extracto de semillas de uvas residuos de la producción de pisco phenolic compounds and antioxidant activity of grape seeds residues of pisco production. *Rev. Soc. Quím. Perú.*, 86(2), 1-9.
- Taverne, Y., Merkus, D., Bogers, A. J., Halliwell, B., Duncker, D., and Lyons, T. (2018). Reactive oxygen species: Radical factors in the evolution of animal life: A molecular timescale from Earth's earliest history to the rise of complex life. *BioEssays*, 40(3), 9. <https://doi.org/10.1002/BIES.201700158>
- Uribe, T., Arroba, J., Barrera, T. y Lascano, E. (2021). Eficacia clínica del extracto de Matico (*Piper angustifolium*) en la evolución de la cicatrización de heridas por estomatitis aftosa recidivante. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 61(4), 693-699. <https://doi.org/10.52808/bmsa.7e5.614.017>
- Vidal-Gutiérrez, M., Torres-Moreno, H., Velázquez-Contreras, C. A., Rascón-Valenzuela, L. A., y Robles-Zepeda, R. E. (2020). Actividad antioxidante y antiproliferativa de seis plantas medicinales del noroeste de México. *Biotecnica*, 22(3), 40-45. <https://doi.org/10.18633/Biotecnica.V22I3.1169>
- Załoski, D., Cieśla, Ł. and Janeczko, Z. (2018). The structure-activity relationships of plant secondary metabolites with antimicrobial, free radical scavenging and inhibitory activity toward selected enzymes. *Studies in Natural Products Chemistry*, 45, 217-249. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63473-3.00007-1>

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Sting Brayan Luna-Fox	Diseño de la investigación, análisis estadístico, revisión bibliográfica, parte experimental, análisis e interpretación de los datos, preparación, redacción y edición del manuscrito.
Katherine Estefanía González-Linares	Revisión bibliográfica, parte experimental y redacción del manuscrito.
Jhomaira Astrid Ortega Torres	Revisión bibliográfica, parte experimental y redacción del manuscrito.
Nancy Narcisa Rodríguez-Almeida	Revisión bibliográfica, redacción del manuscrito.
Ruth Dayra Dahua-Gualinga	Revisión bibliográfica, redacción del manuscrito.
Nelly Jazmín Peñafiel-Bonilla	Revisión bibliográfica, redacción del manuscrito.
Luis Ramón Bravo-Sánchez	Análisis e interpretación de los datos, redacción y edición del manuscrito.

