Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2026,
Volumen 10, Número 3.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i3

EFECTO DE LA RADIACIÓN UV EN LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LA FRESA DESHIDRATADA MEDIANTE SECADORES SOLARES DIRECTOS

EFFECT OF UV RADIATION ON THE BIOACTIVE COMPOUNDS OF DEHYDRATED STRAWBERRIES USING DIRECT SOLAR DRYERS

Joshua Salvador Cabrera Requenes
Universidad Autónoma de Zacatecas, México

José Carranza Concha
Universidad Autónoma de Zacatecas, México

David Riveros Rosas
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Octavio García Vadallares3
Universidad Nacional Autónoma de México, México

María de los Ángeles Hernández Ruiz
Universidad Autónoma de Zacatecas, México

Juan Manuel García González
Universidad Autónoma de Zacatecas, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i3.25151

Efecto de la Radiación UV en los Compuestos Bioactivos de la Fresa Deshidratada Mediante Secadores Solares Directos

Joshua Salvador Cabrera Requenes[1]
joshuasalvadorcr@uaz.edu.mx
https://orcid.org/0009-0002-1799-8586
Universidad Autónoma de Zacatecas
México

José Carranza Concha
joseconcha10@hotmail.com
https://orcid.org/0000-0003-3345-5987
Universidad Autónoma de Zacatecas
México

David Riveros Rosas
driveros@igeofisica.unam.mx
https://orcid.org/0000-0002-4213-7043
Universidad Nacional Autónoma de México
México

Octavio García Vadallares
ogv@ier.unam.mx
https://orcid.org/0000-0001-9478-4157
Universidad Nacional Autónoma de México
México

María de los Ángeles Hernández Ruiz
mahernan@uaz.edu.mx
https://orcid.org/0000-0003-3369-6676
Universidad Autónoma de Zacatecas
México

Juan Manuel García González
jmgarcia@uaz.edu.mx
https://orcid.org/0000-0001-7259-5021
Universidad Autónoma de Zacatecas
México

RESUMEN

El secado solar, es una alternativa sustentable para la preservación de frutas; sin embargo, la exposición a la radiación ultravioleta (UV) afecta la calidad y estabilidad de los compuestos bioactivos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la radiación UV en la conservación de compuestos bioactivos de la fresa (*Fragaria* × *ananassa*) deshidratada mediante secadores solares directos, con cubiertas de acrílico y policarbonato, operados por convección natural y forzada, comparándolos con un secador de aire caliente a 60 °C. Los experimentos se realizaron en dos periodos contrastantes: agosto de 2024 y febrero de 2025. Se determinaron humedad, actividad de agua, cambio de color (ΔE), contenido fenólico total, antocianinas totales, ácido ascórbico y radiación UV incidente dentro de los secadores. Los resultados mostraron que todos los métodos lograron productos microbiológicamente estables (humedad <10% y a_w <0.6). Los secadores de policarbonato presentaron menor transmitancia de radiación UV, favoreciendo una mayor retención de antocianinas y ácido ascórbico, así como, menor alteración de color. El contenido fenólico total se incrementó tras el secado. Se concluye que el uso de policarbonato como cubierta en secadores solares directos mejora significativamente la calidad nutricional y funcional de la fresa deshidratada.

Palabras clave: deshidratado, fresa, compuestos bioactivos, secado solar

[1*]Autor principal.
Correspondencia: jmgarcia@uaz.edu.mx

Effect of UV Radiation on the Bioactive Compounds of Dehydrated Strawberries Using Direct Solar Dryers

ABSTRACT

Solar drying is a sustainable alternative for fruit preservation; however, exposure to ultraviolet (UV) radiation affects the quality and stability of bioactive compounds. The objective of this study was to evaluate the effect of UV radiation on the preservation of bioactive compounds in strawberries (Fragaria × ananassa) dehydrated using direct solar dryers with acrylic and polycarbonate covers, operated by natural and forced convection, and to compare them with a hot air dryer at 60 °C. The experiments were conducted during two contrasting periods: August 2024 and February 2025. Moisture content, water activity, color change (ΔE), total phenolic content, total anthocyanins, ascorbic acid, and incident UV radiation within the dryers were determined. The results showed that all methods achieved microbiologically stable products (moisture <10% and aw <0.6). Polycarbonate dryers exhibited lower UV radiation transmittance, promoting greater retention of anthocyanins and ascorbic acid, as well as less color alteration. Total phenolic content increased after drying. It is concluded that the use of polycarbonate as a cover in direct solar dryers significantly improves the nutritional and functional quality of dehydrated strawberries.

***Keywords*:** dehydrated, strawberry, bioactive compounds, sun dried

Artículo recibido 20 mayo 2026
Aceptado para publicación: 20 junio 2026

INTRODUCCIÓN

El secado solar de alimentos es uno de los métodos más antiguos para su preservación, pues el agua contenida en el sólido se transfiere a una fase gas (aire). Al reducir su contenido de agua, inhibe el crecimiento de microorganismo causantes de la descomposición del alimento y su corta durabilidad. Sin embargo, la exposición directa al Sol de los alimentos en el secado solar puede tener grandes desventajas al oscurecer su color característico (considerado como un parámetro de calidad), comprometer la composición nutricional o disminuir los compuestos bioactivos presentes que son de gran beneficio para la salud humana (Rodríguez-Ramírez et al., 2021).

Debido a la cantidad de radiación UV que llega a la tierra (fuera de su atmósfera) solo representa el 8 y 9% de la radiación total. Sin embargo, es suficiente para romper los enlaces químicos de los compuestos en los alimentos como C-H, C-O, C- (Roy et al., 2024). Acelera la oxidación de los alimentos causando reacciones de fotooxidación generando radicales libres. Las moléculas presentes reaccionan de forma más rápida con el oxígeno promoviendo el deterioro nutrimental de los alimentos (Guzman-Puyol et al., 2022).

Por ello, controlar la radiación UV que incide específicamente en las frutas durante su deshidratado es de vital importancia para evitar repercusiones en la calidad del fruto final. Por ejemplo, se puede llegar a la pérdida de vitaminas B y C, alterar el color característico o degradar los nutrimientos que contengan estos alimentos(Tang et al., 2025).

Los compuestos bioactivos de las frutas como las vitaminas, polifenoles, flavonoides o ácidos orgánicos tienen beneficios en la salud humana ayudando a tratar enfermedades metabólicas o el estrés oxidativo provocado por los radicales libres en las células. Estos compuestos también se pueden ver afectados por el incremento de la temperatura durante el deshidratado ocasionado por la cantidad de radiación solar que reciben los deshidratadores.

Mecanismo de degradación del ácido L-ascórbico (vitamina C)

Es un antioxidante de vital importancia en los seres humanos para la prevención de enfermedades debido a que no puede sintetizarlos de forma natural. Es soluble en el agua y al igual que en los seres humanos, es importante en algunos procesos fisiológicos en las plantas como lo es su crecimiento o la fotosíntesis.

La vitamina C es sensible a los cambios de temperatura, ante la presencia de oxígeno sufre un proceso de oxidación en dónde el ácido L-ascórbico se oxida a L-deshidroascórbico como se observa en la siguiente reacción:

Figura 1. Esquema de oxidación del ácido L-ascórbico

$$\mathbf{2C_6H_8O_6}\text{(L-ascorbic acid)} + \mathbf{O_2} \leftrightarrow \mathbf{2C_6H_6O_6}\text{(L-dehydroascorbic acid)} + \mathbf{H_2O}$$

(ElGamal et al., 2023).

Mecanismo de degradación de fenoles

Los fenoles son metabolitos presentes los alimentos que se caracterizan por tener un anillo aromático (benceno) y tener radicales hidroxilos (-OH). Se han identificado 500 tipos de fenoles en lo alimentos, clasificándose principalmente en: ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos, taninos y lignanos (Rangani & Ranaweera, 2023).

Ante los procesos térmicos, los grupos -OH de los polifenoles se oxidan a cetonas, aldehídos o grupos carboxilo (Gutiérrez, 2023).

Figura 2. Esquema de oxidación de los grupos -OH de los polifenoles

$$4\text{R-OH} + O_2 \rightarrow 2\text{RCOR} + H_2O \text{ Formación de cetona}$$

$$2\text{RCH}_2\text{-OH} + O_2 \rightarrow \text{RCHO} + 2H_2O \text{ Formación de aldehído}$$

$$2\text{R-OH} + O_2 \rightarrow 2\text{RCOOH Formación de ácido carboxílico}$$

(ElGamal et al., 2023).

Otro caso de los polifenoles son las antocianinas, que son una subclase de los flavonoides, solubles en el agua y otorgan el color característico a los vegetales que puede ser rojo, naranja, azul, morado, dependiendo de su composición estructural y pH (Parra-Palma et al., 2020). Las antocianinas son de vital importancia en las plantas ya que las protegen de la radiación ultravioleta y pueden atraer a insectos para su polinización (Arias, 2023). Las antocianinas monoglucosiladas, es decir, que solo contiene una molécula de azúcar, su deterioro es más fácil en comparación con las antocianinas que contengan más polisacáridos. Es importante conocer las características del producto húmedo a deshidratar, permite estimar su tiempo de secado para disminuir el riesgo por su exposición directa al Sol para conservar la calidad final del alimento y asegurar una estabilidad microbiológica para su preservación.

El contenido de humedad de la fresa (> 80%), una durabilidad corta a condiciones ambientales (5 días), presupone la necesidad de buscar procesos alternos al deshidratado tradicional (por aire caliente o liofilización), además, tomando en cuenta el alto costo energético, la deshidratación solar es la mejor opción.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la radiación UV en la conservación de compuestos bioactivos de la fresa (*Fragaria* × *ananassa*) deshidratada mediante secadores solares directos, con cubiertas de acrílico y policarbonato, operados por convección natural y forzada, comparándolos con un secador de aire caliente a 60 °C.

La hipótesis de la cual se partió fue que el uso de secadores solares directos elaborados con policarbonato transparente operando a convección forzada, deteriora en un 10% menos las antocianinas totales y se obtiene el menor cambio total de coloración de la fresa deshidratada en comparación con los secadores por aire caliente.

METODOLOGÍA

La experimentación se realizó en agosto del 2024 (verano) y febrero del 2025 (invierno), esto debido a la cantidad de radiación que se recibe en la superficie de la tierra, afectando principalmente a la retención de los compuestos bioactivos de la fresa. En verano se tienen procesos de secado solar más rápidos a causa una mayor cantidad radiación solar en comparación con invierno, que es la época en la que menos se recibe. Los secadores utilizados fueron: secador solar directo de policarbonato a convección natural y forzada, secador solar directo de acrílico a convección natural y forzada y secador de aire caliente a 60°C.

% Humedad

Las fresas se obtuvieron del mercado de abastos en Fresnillo Zacatecas, con un grado de madurez comercial de apariencia y tamaño similar, se lavaron, desinfectaron y se cortaron en rodajas de espesor de 0.3 cm para la determinación de su contenido inicial de humedad empleando una termobalanza OHAUS a temperatura de 105°C en el modo de prueba A90.

Actividad de agua (A_w)

La medición de la actividad de agua de las fresas se determinó con un medidor de agua Power TX WA-160 cubriendo por completo el recipiente de plástico de las muestras y colocándolo dentro del medidor durante 10 minutos a temperatura ambiente.

Cambio de coloración

El cambio de coloración se midió con un colorímetro TPM que trabaja en el sistema de coordenadas L*a*b.

Contenido fenólico total

El CFT se determinó mediante el método del reactivo Folin-Ciocalteu. Se mezclaron 250 µL de extracto de CFT con 15 mL de agua destilada y 1.25 mL de reactivo Folin-Ciocalteu en un matraz aforo de 25 mL. Se agitó y después de 8 minutos, se añadieron 3.75 mL de Na_2CO_3 al 7.5% y se enrasó a 25 mL con H_2O destilada esperando un tiempo de 2 horas.

La absorbancia se midió a 765 nm en un espectrofotómetro UV-Vis marca Thermo Scientifc 10S, los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de muestra seca (mg GAE/100 g_{ss}). Se elaboró una curva patrón de ácido gálico a diferentes concentraciones (200, 300, 400, 500, 600 y 700 ppm) que se analizaron bajo el mismo procedimiento que las muestras.

Antocianinas totales

El contenido de antocianinas totales se determinó tomando 0.5 g de fresa fresca y se adicionaron 4 mL de EtOH acidificado (42.5 mL EtOH y 7.5 mL HCI 1 N), se protegieron de la luz con papel aluminio y agitaron 2 minutos. Se midió el pH ajustándolo a 1 con HCl a 6 N. Nuevamente se agitó durante 30 minutos y centrifugó a 4,500 rpm por 5 minutos y se recuperó el sobrenadante. A valores de pH <2 se mantiene la forma de catión flavilio, la cual presenta un color rojizo a anaranjado, siendo a pH más bajos el color rojo predominante en las antocianinas

Ácido Ascórbico

El contenido de Vitamina C (mg de ácido ascórbico (AA) se determinó con el método de 2,6 diclorofenol-indofenol.

Evaluación de radiación UV dentro los secadores

En los secadores de acrílico y policarbonato celular transparente, se colocó dentro de ellos un biómetro modelo 501 de Solar Light para determinar el valor de la radiación UV que logró pasar dentro de ellos. Con las mediciones de la radiación UV obtenidas, se realizaron promedios por hora y se compararon entre los distintos secadores, así como la radiación UV fuera de ellos.

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se calculó el valor medio y desviación estándar. Para determinar diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, se realizó un análisis de Kruskal-Wallis con una prueba de múltiples comparaciones de Dunn´s.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

% Humedad

En la tabla 1 se muestran los porcentajes de humedad para la fresa fresca y deshidratada en diferentes periodos de experimentación. En un estudio realizado sobre la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de distintas frutas por Téllez *et al.* 2024, reportaron una humedad inicial para la fresa del 91.9%. En los diferentes métodos de secado, los valores más bajos de humedad se obtuvieron para el secador de aire caliente y acrílico a convección natural. Estos permitieron reducir el contenido de humedad a valores iguales o inferiores del 10%, valor límite en el que se considera un producto deshidratado microbiológicamente estable, según lo reportado por Vera Zambrano *et al*. 2019.

Tabla 1.
Porcentaje de humedad de la fresa fresca y deshidratadas en agosto del 2024 y en febrero del 2025.

	% Humedad	
	Agosto 2024	**Febrero 2025**
Fresa fresca	92.85	91.77
Aire caliente (60°C)	8.72	8.88
Acrílico CN	9.01	9.95
Acrílico CF	11.09	10.16
Policarbonato CN	11.55	7.51
Policarbonato CF	9.97	10.42

Actividad de agua (A_w)

La actividad de agua (a_w) inicial de las fresas fue de 0.977 para ambos periodos de experimentación, como se observa en la Tabla 9. Este valor es consistente con los resultados reportados por Macedo *et al.* 2022 en su estudio sobre secado por aire caliente de fresas frescas e impregnadas con isomaltosa. Así como los de Ozcelik *et al*. 2022 en su investigación sobre el efecto de la maceración carbónica en el deshidratado de fresa, quienes registraron valores de a_w de 0.99 y 0.98 respectivamente.

Todos los métodos de secado permitieron obtener valores que se encuentran por debajo de la a_w mínima de 0.6, inhibiendo el crecimiento de microorganismos que deterioran el alimento según lo descrito por Domínguez-Niño *et al*. 2024

Tabla 2. Actividad de agua de la fresa fresca y deshidratadas en agosto del 2024 y en febrero del 2025.

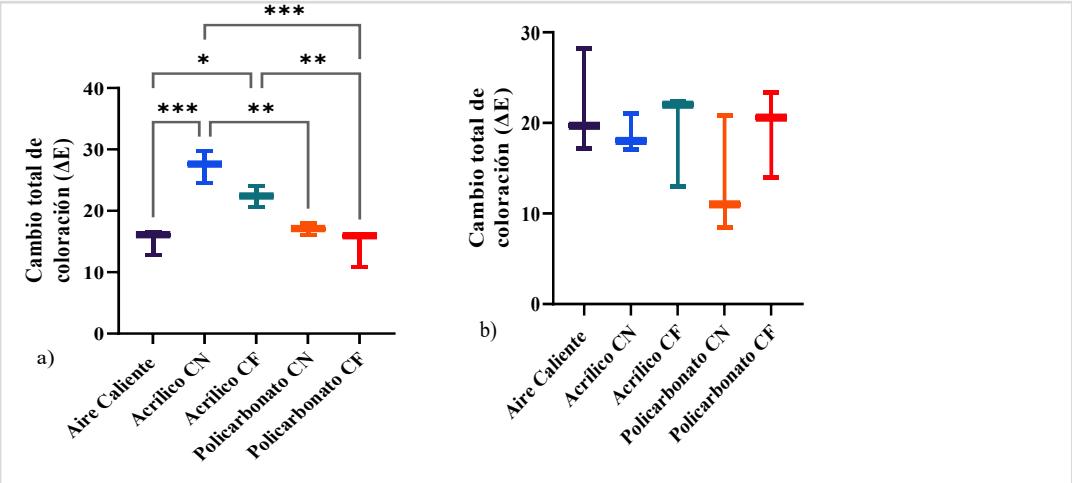
	Actividad de agua (A_w)	
	Agosto 2024	**Febrero 2025**
Fresa fresca	0.977±0.005#	0.977±0.005#
Aire caliente (60°C)	0.280±0.010#	0.287±0.011#
Acrílico CN	0.383±0.005#	0.317±0.005#
Acrílico CF	0.307±0.011#	0.337±0.015#
Policarbonato CN	0.407±0.005#	0.240±0.010#
Policarbonato CF	0.333±0.005#	0.360±0.005#

Cambio de coloración

La Figura 3 muestra la comparación del cambio de color total (ΔE) entre las fresas deshidratadas mediante los distintos métodos de secado evaluados. Los resultados indican que las fresas deshidratadas en la experimentación de agosto del 2024, mediante los secadores de acrílico a convección natural y forzada mostraron un ΔE significativamente mayor respecto a las del secado por aire caliente, evidenciando una mayor alteración de color. Asimismo, el secador solar de acrílico por convección natural presentó un valor de ΔE de 27.27, significativamente mayor en comparación con los secadores solares de policarbonato para ambos sistemas de convección, resaltando la influencia del material de la cubierta en la estabilidad final del color de la fresa. Este comportamiento también se puede apreciar en los secadores solares por convección forzada, donde hubo una diferencia significativa entre ellos, presentándose el policarbonato con el menor ΔE, confirmando su capacidad de preservar el color frente

al de acrílico. Sin embargo, para las fresas deshidratadas en los diferentes métodos de secado durante febrero del 2025, no mostraron diferencia significativa entre ellos en el ΔE. Este resultado podría atribuirse a las altas desviaciones estándar observadas durante la medición del color final, sin embargo, el menor ΔE medido se presentó para el secador de policarbonato por convección natural con un valor de 13.41.

Figura 3. Cambio de color de las fresas deshidratadas: a) agosto 2024 y b) febrero 2025.



El análisis estadístico se llevó a cabo mediante Kruskal-Wallis con una prueba de múltiples comparaciones de Dunn´s, tomando como significativo *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001, ****p<0.0001.

Contenido fenólico total, antocianinas totales y ácido ascórbico de la fresa fresca

En la Tabla 3 se puede observar el contenido promedio de fenoles totales, antocianinas y ácido ascórbico de la fresa fresca para ambos periodos de experimentación antes de someterse al proceso de deshidratación, los valores se expresan en base húmeda (b.h). Posteriormente, para su comparación con los diferentes métodos de secado, se convierte la base húmeda a base seca y sus valores se encuentran en las tablas del Anexo A.

Tabla 3.
Contenido de fenoles totales, antocianinas totales y ácido ascórbico promedio de la fresa fresca.

	Fresa fresca	
	Agosto 2024	**Febrero 2025**
Contenido fenólico total (mg GAE/100 g)	42.30±1.035	26.42±1.073
Antocianinas totales (mg C3G/100 g)	57.90±4.252	37.23±4.073
Ácido ascórbico (mg AA/100g)	49.88±7.575	42.08±3.070

Los datos son representados como Media±SD

Sadik *et al.* 2023 determinaron el contenido de fenoles totales en fresas comerciales, obteniendo valores que oscilaron entre 61-151 mg GAE/100 g. De manera similar, Milosavljević *et al.* 2020 analizaron 12 variedades de fresa, reportando un rango de 46 a 107 mg GAE/100 g. Por su parte, Téllez *et al.* 2024 encontraron un contenido de 64 mg GAE/100 g. En comparación, en el presente estudio se obtuvo un contenido promedio de fenoles totales para las fresas de agosto del 2024 de 42.30 mg GAE/100 g y 26.42 mg GAE/100 para la experimentación de febrero del 2025, los cuales se encuentran por debajo del límite inferior de los valores reportados en estudios previos. La variación en el contenido total de los compuestos fenólicos puede estar relacionada tanto con la variedad de fresa analizada como las condiciones de cultivo a las que fue sometida.

En cuanto al contenido de antocianinas, Parra-Palma *et al* 2020 evaluaron cuatro variedades de fresa en distintos estados de madurez, observando una mayor concentración de 15-30 mg C3GE/100 g en la madurez comercial. Milosavljević *et al.* 2020, reportaron un rango de 3-15 mg C3GE/100 g en 12 variedades de fresa, mientras que Dzhanfezova *et al.* 2020 observaron un contenido mayor entre 38-162 mg C3GE/100 g en fresas cosechadas en 2014-2015. En el presente estudio, el contenido promedio de antocianinas totales fue de 57.90 mg C3GE/100 g para las fresas de agosto del 2024, un valor intermedio en relación a la literatura consultada. Para las fresas de febrero del 2025, el contenido promedio de antocianinas fue de 37.23 mg C3G/100 g, un valor más bajo en comparación a las fresas de agosto y debajo del límite inferior del estudio realizado por Dzhanfezova de 15 mg C3GE/100 g, pero más altos que los estudios reportados por Parra-Palma de 15-30 mg C3GE/100 g y Milosavljević de 15 mg C3GE/100 g. La variación en el contenido de las antocianinas totales puede atribuirse tanto al estado de maduración de las fresas como a la sensibilidad de estos compuestos frente a las condiciones ambientales como temperatura, oxígeno y luz durante su cuantificación.

Respecto al contenido de ácido ascórbico (AA), literatura informa que el contenido promedio en la fresa es de aproximadamente 56.7 mg de AA por cada 100 g, según lo reportado por M. E. P *et al.* 2023 y el sitio web de Botanical online. Turmanidze *et al.* 2017 obtuvieron valores entre 42.1-52.8 mg de AA por 100 g, mientras que Téllez *et al.* (2024) informaron un contenido de 52.65 mg de AA por 100 g.

En el presente estudio se obtuvo un valor promedio de 49.88 mg AA/100 g en las fresas de agosto del 2024 y de 42.08 para la experimentación de febrero del 2025, los cuales se encuentran dentro del rango reportado por Turmanidze de 42.1-52.8 mg de AA por 100 g. Las condiciones bajo las cuales se llevó a cabo el cultivo, el grado de madurez de la fresa, la variedad específica y la temperatura ambiente durante la cuantificación son factores clave que afectan en la cantidad de ácido ascórbico presente en la fruta. Estas variables pueden provocar una modificación significativa en los niveles de ácido ascórbico, lo que puede explicar las variaciones observadas en los resultados obtenidos de su cuantificación.

Contenido fenólico total de la fresa deshidratada

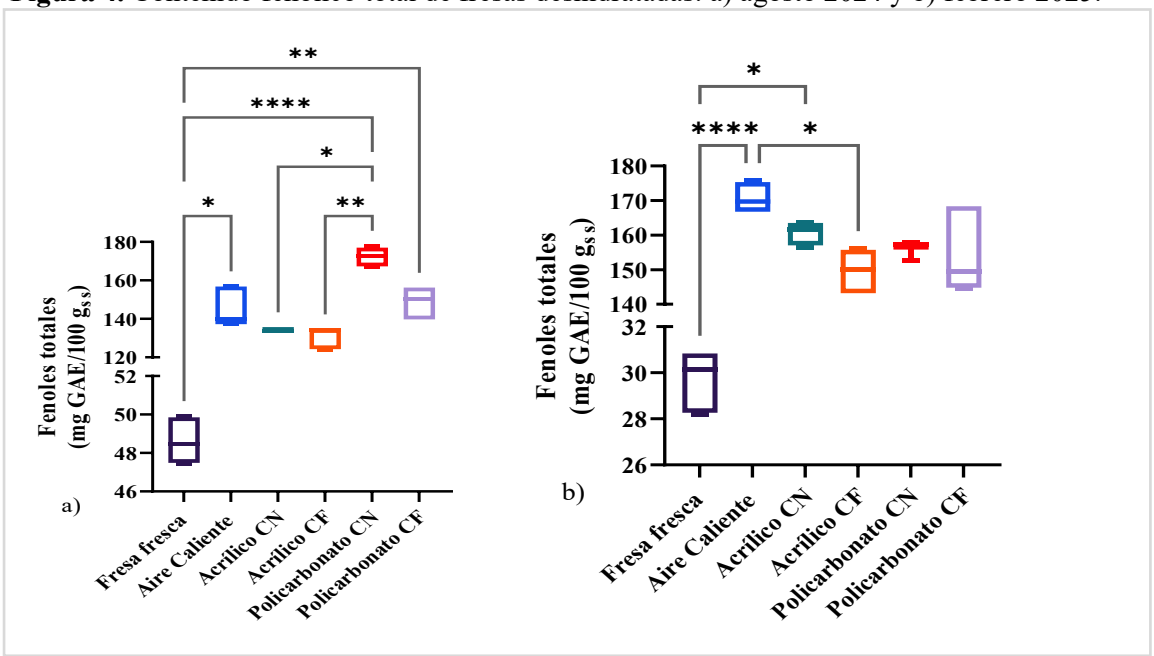
La Figura 4 muestra que las fresas deshidratadas en agosto del 2024 mediante el secador solar de policarbonato por convección natural alcanzaron el mayor incremento, con un valor de 172.4 mg GAE/100 g_{ss}. Este método de secado presentó diferencias significativas respecto a los secadores de acrílico, logrando una mayor conservación de los compuestos fenólicos. En este sentido, el tipo de cubierta empleada para el deshidratado de fresas muestra una influencia significativa en la conservación de estos compuestos bioactivos, siendo el policarbonato más eficaz respecto al de acrílico.

Por el contrario, las fresas deshidratas utilizando el secador por aire caliente en febrero del 2025, reportaron un mayor incremento en el contenido fenólico total, alcanzando un valor de 170.7 mg GAE/100 g_{ss}, siendo superior al obtenido en los secadores solares. Al tener una temperatura de operación de 60°C, no se ve influenciada por la variación de la radiación solar a lo largo del día ni por las fluctuaciones de la temperatura ambiente, a diferencia de lo que ocurre con los secadores solares. Además, este secado mostró diferencias significativas respecto al secador solar acrílico por convección forzada, resaltando la influencia de las condiciones ambientales de febrero (invierno) en el proceso de deshidratado.

En contraste, en el periodo de febrero, las fresas deshidratas con el secador solar de policarbonato por convección forzada mostró una disminución del 9.66% del contenido fenólico total en comparación con el de aire caliente. De manera similar, el mismo secador por convección natural presentó una disminución del 8.26% respecto al de aire caliente, mostrando el efecto de las condiciones invernales en la retención de estos compuestos.

Este aumento de fenoles totales en las fresas deshidratadas puede atribuirse al efecto del proceso de secado, ya sea por aire caliente o solar, que favorece la liberación de estos compuestos bioactivos desde la matriz vegetal. Esto se debe al daño de la estructura celular inducidos por el secado como lo menciona el estudio realizado por Kwaśniewska (2021), donde el romero mediante el secado convectivo a 30°C obtuvo el mayor contenido de compuestos fenólicos de 639 mg GAE/100 g_{ss} a 2019 mg GAE/100 g_{ss}. Por su parte, Domínguez *et al.* (2024) evaluaron el efecto de la radiación solar, empleando una malla sombra para proteger el producto de la exposición directa, sobre la capacidad antioxidante de la planta medicinal *Agastache mexicana*, observando un aumento del 63% al 93%. Adicionalmente, Domínguez *et al*. 2025 deshidrataron *Tagetes erecta L.* en un secador solar mixto, los datos reportaron mostraron un pequeño aumento del contenido fenólico de 28.06 mg GAE/100 g_{ss} a 28.488 mg GAE/100 g_{ss}. Kwaśniewska 2021 y Domínguez *et al.* 2024 han propuesto que las altas temperaturas alcanzadas durante el proceso de secado pueden llegar a inhibir la acción de enzimas prooxidantes presentes en los alimentos, así como favorecer las reacciones de Maillard que también contribuyen a la formación de nuevos compuestos que muestran actividad antioxidante.

Figura 4. Contenido fenólico total de fresas deshidratadas: a) agosto 2024 y b) febrero 2025.



El análisis estadístico se llevó a cabo mediante Kruskal-Wallis con una prueba de múltiples comparaciones de Dunn´s, tomando como significativo *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001, ****p<0.0001.

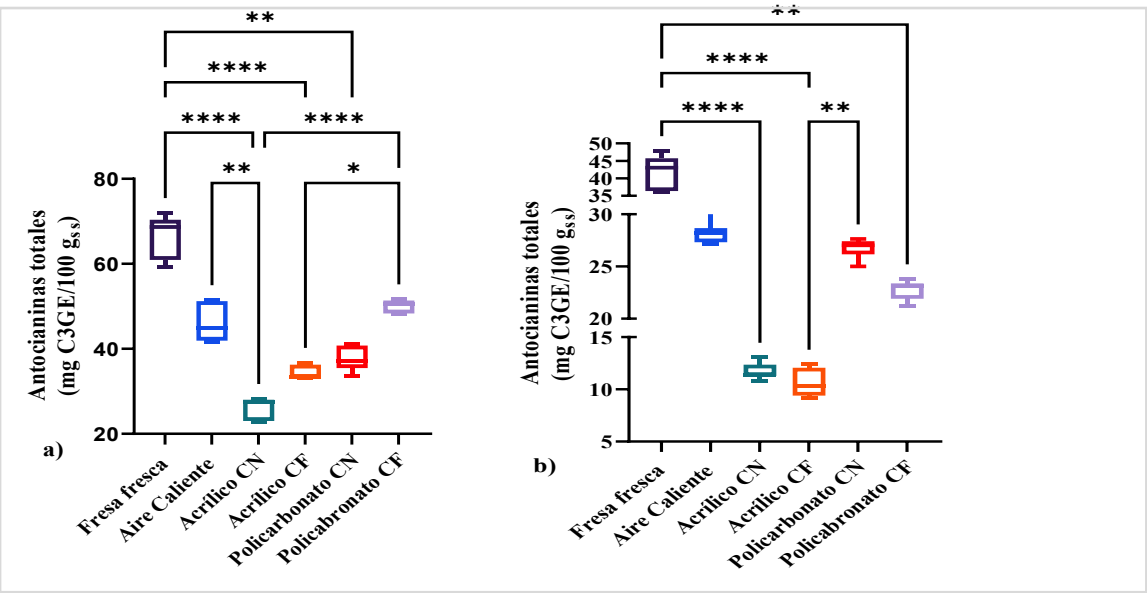
Antocianinas totales de la fresa deshidratada

La Figura 5 muestra la comparación del contenido de antocianinas totales de las fresas deshidratadas y de la fresa fresca. Durante la experimentación de agosto del 2024, las fresas deshidratadas mediante los secadores de acrílico presentaron la mayor pérdida de antocianinas, especialmente por convección natural, seguido de convección forzada. Las fresas deshidratadas mediante el secador de policarbonato por convección forzada y secado por aire caliente no mostraron diferencias significativas respecto al contenido inicial. Estos secadores obtuvieron la menor pérdida de antocianinas, conservando un contenido de 51.67 y 46.18 mg C3GE/100 g respectivamente, un valor cercano al de las fresas frescas de 57.90 mg C3GE/100 g.

En la experimentación de febrero del 2025, el secado por aire caliente y el secador solar de policarbonato por convección natural exhibieron las menores pérdidas en el contenido de antocianinas, con valores de 28.25 y 26.71 mg C3GE/100 g_{ss} respectivamente. Ambos métodos no mostraron diferencias significativas en relación al contenido inicial, demostrando su eficacia para la preservación de estos compuestos. Las diferencias observadas en ambos periodos podrían atribuirse a las variaciones de las condiciones ambientales, como una menor cantidad de radiación UV recibida y a las bajas temperaturas del aire durante el invierno.

El mayor cambio de coloración se observó en las fresas deshidratadas con los secadores de acrílico transparente, fenómeno asociado a la disminución de las antocianinas, compuestos encargados de otorgar el color rojo característico a las fresas, siendo la pelargonidina 3-glucósido con mayor abundancia entre el 52%-90% según Arias 2023. Estos compuestos bioactivos son sensibles a factores como la temperatura y especialmente la radiación UV. Estudios previos realizados por Serrano 2020, confirma que el acrílico es un material que permite un alto paso de radiación UV, lo que puede afectar la estabilidad del contenido de antocianinas totales en la fresa. En contraste, el policarbonato celular transparente puede bloquear gran parte la radiación UV que incide, preservando las antocianinas totales y obteniendo una menor alteración en el cambio de color final de las fresas deshidratadas.

Figura 5. Antocianinas totales en las fresas deshidratadas: a) agosto 2024 y b) febrero 2025



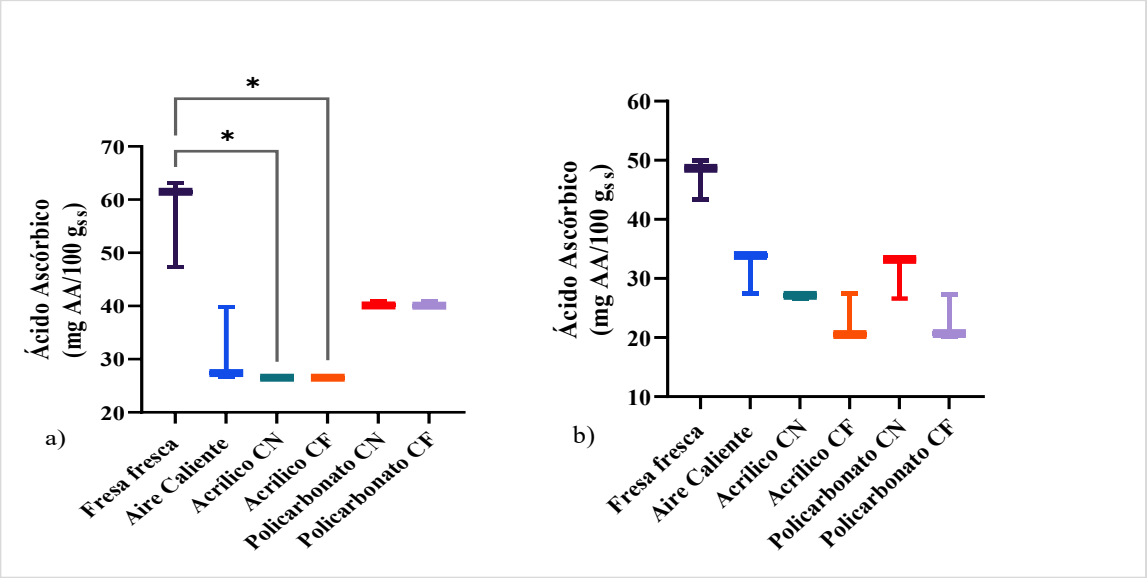
. El análisis estadístico se llevó a cabo mediante Kruskal-Wallis con una prueba de múltiples comparaciones de Dunn´s, tomando como significativo *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001, ****p<0.0001.

Los resultados concuerdan con el estudio realizado por Rodríguez-Ramírez *et al.* 2021, donde probaron diferentes cubiertas en un secador solar directo sobre el contenido de antocianinas, destacando al policarbonato como la cubierta que más retuvo el contenido en un 15%.

Ácido ascórbico de la fresa deshidratada

La Figura 6 muestra la comparación del ácido ascórbico entre los métodos de secado y el contenido inicial en las rodajas de fresa. Los resultados mostraron que según el método de secado influye significativamente la preservación del contenido de ácido ascórbico (AA) de la fresa deshidratada, mostrando una variación de su contenido respecto a la época del año. Durante agosto del 2024, los secadores solares de policarbonato no presentaron alguna diferencia significativa respecto al de la fresa fresca. Estos resultados indican una menor degradación de AA, con valores de 40.27 mg AA/100 g en convección natural y 40.24 mg AA/100 g en convección forzada, mientras que en los secadores de acrílico se observaron las mayores pérdidas al mostrar diferencias significativas en comparación al contenido inicial.

Figura 6. Contenido de ácido ascórbico en las fresas deshidratadas: a) agosto 2024 y b) febrero 2025



El análisis estadístico se llevó a cabo mediante Kruskal-Wallis con una prueba de múltiples comparaciones de Dunn's tomando como significativo *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001, ****p<0.0001.

Por el contrario, en febrero del 2025 no se observaron diferencias significativas en ninguno de los secadores y de la fresa fresca. Sin embargo, el mayor contenido de ácido ascórbico se reporta en el secador por aire caliente y el secador solar de policarbonato por convección natural, mientras que en los secadores por convección forzada fue menor el ácido ascórbico.

La fresa es considerada una fruta rica en ácido ascórbico, pues el contenido en ella puede determinar la calidad de este alimento. Como compuesto termolábil y fotosensible, la descomposición a ácido deshidroascórbico se acelera por la exposición al oxígeno durante el deshidratado de fresa (Sección 2.2.2), la radiación UV que logra pasar en las cubiertas y a temperaturas elevadas que se puedan presentar. Esto concuerda con un estudio realizado por Kwaśniewska y Mostowski 2021, quién reporto una pérdida del 88% de AA en el romero deshidratado a 30°C por 4 horas. Asimismo, Mashitoa *et al*. 2021 estudiaron el efecto de distintos métodos de secado en los metabolitos secundarios de hojas de calabaza, los resultados mostraron una disminución del contenido inicial de AA (62.37 mg AA/100 g) en el secado solar y secado al sol de 39.78 y 37.63 mg AA/100 g respectivamente.

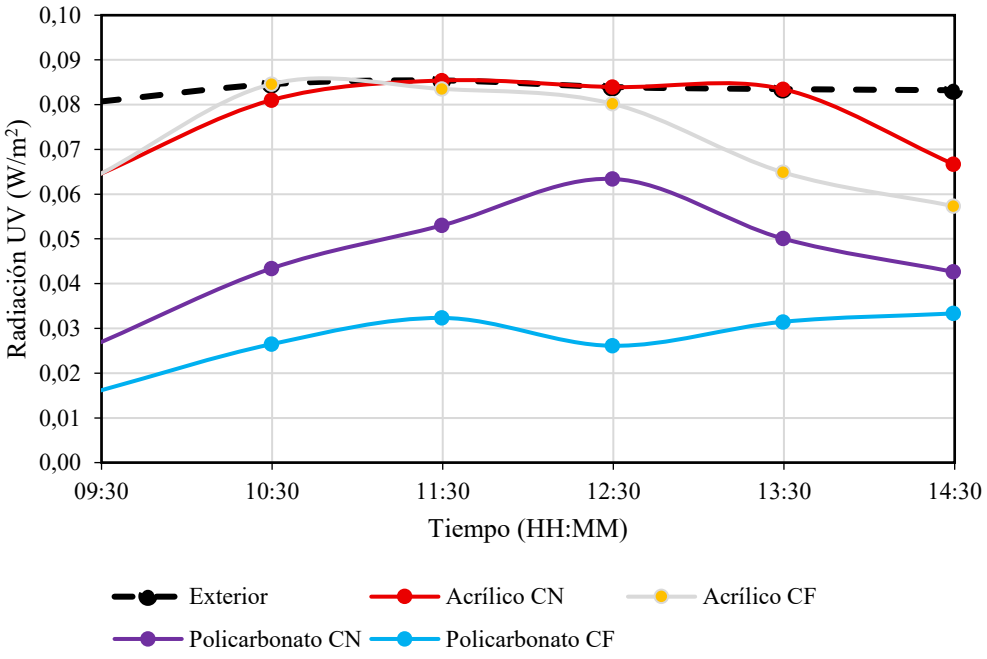
Evaluación de radiación UV dentro los secadores

Los compuestos bioactivos y las propiedades fisicoquímicas de los alimentos deshidratados constituyen indicadores de la calidad final del producto. En el caso de la fresa, la exposición directa a la radiación UV durante su deshidratado puede comprometer significativamente su composición, acelerando la oxidación de sus compuestos bioactivos y oscurecer su color característico. Por ello, resulta fundamental utilizar cubiertas que disminuyan parte de esta radiación incidente dentro de los secadores y cuantificar la cantidad de radiación que logra pasar en dichos materiales con la finalidad de seleccionar el mejor material que preserve la calidad del producto.

Agosto del 2024

En la Figura 7 se observa que los secadores de acrílico tanto por convección forzada y natural permiten una mayor incidencia de la radiación UV sobre las fresas en proceso de deshidratación, lo que favorece la degradación de sus compuestos bioactivos y genera alteración en el color final del producto. En contraste, el secador solar de policarbonato transparente presentó una menor transmitancia de la radiación UV a lo largo de todo el proceso, protegiendo los compuestos fotosensibles presentes en la fresa.

Figura 7. Comportamiento de la radiación UV en el interior de los secadores solares durante el periodo de verano (agosto 2024)

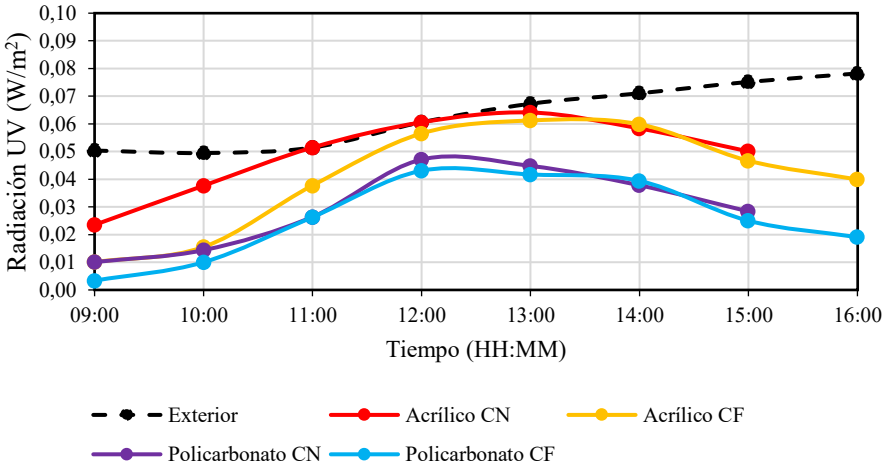


El secador de acrílico por convección forzada antes de las 10:30 horas y después de las 12:30 horas muestra una disminución de la radiación UV incidente en su interior. Debido a esto, se identificó que la convección forzada en los secadores solares puede llegar a disminuir la radiación UV en su interior, debido a que el mayor flujo de aire que circula dentro de ellos puede dispersar parte de la radiación incidente, disminuyendo su impacto en el producto.

Febrero del 2025

La Figura 8 muestra forma gráfica la evolución de la radiación UV en el interior de los secadores solares durante el proceso de deshidratación de fresa. Se observa que los secadores solares de policarbonato muestran un comportamiento similar de la transmitancia de radiación UV a lo largo del proceso, siendo menor solo al inicio para el sistema de convección forzada. Sin embargo, de manera general, estos son menores que los registrados para los secadores construidos de acrílico, remarcando la capacidad del policarbonato para bloquear la radiación UV. A diferencia de los observado en la experimentación de agosto, durante el proceso de secado de febrero la radiación UV fue considerablemente mucho menor. Sin embargo, el tiempo total de secado se prolongó 2 horas más para los sistemas de convección forzada y 1 hora para los de convención natural. Este incremento en la duración del proceso de secado implica una mayor exposición de las fresas a la temperatura y al oxigeno presente en el aire, favoreciendo las reacciones de oxidación de los compuestos bioactivos (Sección 2.2.2). Lo cual se traduce en la disminución del contenido fenólico, antocianinas totales, ácido ascórbico y una alteración en el color final del producto deshidratado.

Figura 8. Comportamiento de la radiación UV en el interior de los secadores solares durante el periodo de verano (febrero 2025)



Los datos obtenidos de las diferencias en las transmitancias de la radiación UV en los distintos materiales utilizados para la fabricación de los secadores solares, en los periodos de verano e invierno, son consistentes con lo reportado en la literatura. Serrano y Moreno (2020), quienes evaluaron la transmitancia de radiación UV en distintos materiales trasparentes en los periodos de verano e invierno, obtuvieron que el acrílico presenta mayor paso de la radiación respecto al policarbonato. De forma complementaria, Rodríguez-Ramírez *et al*. (2021) estudiaron el efecto de diferentes cubiertas de materiales trasparentes (polietileno y policarbonato) en el deshidratado de pulpa de fresa, donde el policarbonato fue la cubierta que bloqueo casi por completo la radiación UV.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que el método de secado tiene una influencia significativa en los compuestos bioactivos, según la cantidad de radiación solar recibida en los periodos de experimentación realizados.

En condiciones óptimas de radiación solar experimentación de agosto del 2024, el secador solar de policarbonato por convección forzada demostró ser una alternativa eficiente y viable para el deshidratado de fresa. No solo permitió la mayor conservación de los compuestos bioactivos como las antocianinas totales y el ácido ascórbico, sino también aumentó de manera significativa el contenido fenólico total en la fresa y presentó la menor transmitancia de radiación UV. Además, aseguró la estabilidad microbiológica del producto al obtener una humedad y actividad del agua por debajo del 10% y 0.6 respectivamente, así como el menor cambio de coloración respecto a la fresa fresca. Los estudios realizados en febrero del 2025 demostraron una menor eficiencia de los secadores solares debido al incremento en los tiempos de secado, pérdida significativa de antocianinas y ácido ascórbico en la fresa deshidratada. Si bien todos los métodos de secado favorecieron el incremento del contenido fenólico total, el secador por aire caliente presentó el mejor desempeño al conservar los compuestos bioactivos en la fresa deshidratada.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Arias, M. O. P. (2023). Efecto del compost de orujo de uva variedad borgoña sobre las características físicas químicas y funcionales de la fresa (Fragaria x ananassa) en postcosecha [Universidad Nacional de Moquegua]. https://repositorio.unam.edu.pe/items/f3fda504-0f65-4770-ad91-

ca30b3bf9871

Domínguez-Niño, A., Guillén-Velázquez, P., Santos-González, I., García-Valladares, O., & Vázquez-Morales, J. M. (2025). Total Phenolic, Flavonoid Content, and Antioxidant Activity of Dried Marigold (Tagetes erecta L.) Petals Produced in a Mixed-Mode Solar Dryer. *Plant Foods for Human Nutrition*, *80*(3). https://doi.org/10.1007/s11130-025-01366-z

Domínguez-Niño, A., Lucho-Gómez, A. M., Chávez-Santos, R. M., Martínez, R., Guillén-Velázquez, P., Castillo-Téllez, B., & García-Valladares, O. (2024). Thermal evaluation of solar dryers and the effect on the antioxidant and some physicochemical properties of Agastache mexicana and Rosmarinus officinalis. *Journal of Food Science*, *September*, 7846–7860. https://doi.org/10.1111/1750-3841.17447

Dzhanfezova, T., Barba-Espín, G., Müller, R., Joernsgaard, B., Hegelund, J. N., Madsen, B., Larsen, D. H., Martínez Vega, M., & Toldam-Andersen, T. B. (2020). Anthocyanin profile, antioxidant activity and total phenolic content of a strawberry (Fragaria × ananassa Duch) genetic resource collection. *Food Bioscience*, *36*(100620), 1–7. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100620

ElGamal, R., Song, C., Rayan, A. M., Liu, C., Al-Rejaie, S., & ElMasry, G. (2023). Thermal Degradation of Bioactive Compounds during Drying Process of Horticultural and Agronomic Products: A Comprehensive Overview. *Agronomy*, *13*(6), 1580. https://doi.org/10.3390/agronomy13061580

Gutiérrez, J. Z. (2023). *E*fecto de atmósferas controladas en el color y vida de anaquel de frambuesa roja (Rubus Idaeus) [Universidad Auntónoma de Querétaro]. https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/7877

Guzman-Puyol, S., Hierrezuelo, J., Benítez, J. J., Tedeschi, G., Porras-Vázquez, J. M., Heredia, A., Athanassiou, A., Romero, D., & Heredia-Guerrero, J. A. (2022). Transparent, UV-blocking, and high barrier cellulose-based bioplastics with naringin as active food packaging materials. *International Journal of Biological Macromolecules*, *209*, 1985–1994. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.177

Kwaśniewska-Karolak, I., & Mostowski, R. (2021). Effect of different drying processes on an antioxidant potential of three species of the Lamiaceae family. *Herba Polonica*, *67*(1), 8–17.

https://doi.org/10.2478/hepo-2021-0004

Macedo, L. L., Corrêa, J. L. G., Petri Júnior, I., Araújo, C. da S., & Vimercati, W. C. (2022). Intermittent microwave drying and heated air drying of fresh and isomaltulose (Palatinose) impregnated strawberry. *Lwt*, *155*. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112918

Martínez, M. E. P., Achondo, T. de J. R., & Juan Luis Jacobo Cuéllar. (2023). La fresa (Fragaria X ananassa): su valor económico y cultural en México e importancia en la producción de antioxidantes. En I. E. J. Eduardo (Ed.), Nuevas territorialidades. Gestión de los territorios con inclusión, innovación social y sostenibilidad (Vol. 2, pp. 181–204). Universidad Nacional Auntónoma de México. https://ru.iiec.unam.mx/6130/

Mashitoa, F. M., Shoko, T., Shai, J. L., Slabbert, R. M., Sultanbawa, Y., & Sivakumar, D. (2021). Influence of Different Types of Drying Methods on Color Properties, Phenolic Metabolites and Bioactivities of Pumpkin Leaves of var. Butternut squash (Cucurbita moschata Duchesne ex Poir). *Frontiers in Nutrition*, *8*(June), 1–9. https://doi.org/10.3389/fnut.2021.694649

Milosavljević, D. M., Mutavdžić, D. R., Radotić, K., Milivojević, J. M., Maksimović, V. M., & Dragišić Maksimović, J. J. (2020). Phenolic Profiling of 12 Strawberry Cultivars Using Different Spectroscopic Methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *68*(15), 4346–4354. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b07331

Ozcelik, M. M., Ozkan, G., & Karacabey, E. (2022). Evaluation of Carbonic Maceration Effect as a Pre-Treatment on the Drying Process of Strawberry. *Agriculture (Switzerland)*, *12*(12). https://doi.org/10.3390/agriculture12122113

Parra-Palma, C., Morales-Quintana, L., & Ramos, P. (2020). Phenolic content, color development, and pigment−related gene expression: A comparative analysis in different cultivars of strawberry during the ripening process. *Agronomy*, *10*(4). https://doi.org/10.3390/agronomy10040588

Rangani, S. C., & Ranaweera, K. K. D. S. (2023). Incorporation of natural antioxidants extracted from strawberry, cinnamon, beetroot, and ginger; into virgin coconut oil for expansion of its shelf life. *Applied Food Research*, *3*(2), 100325. https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100325

Rodríguez-Ramírez, J., Méndez-Lagunas, L. L., López-Ortiz, A., Muñiz-Becerá, S., & Nair, K. (2021). Solar drying of strawberry using polycarbonate with UV protection and polyethylene covers:

Influence on anthocyanin and total phenolic content. *Solar Energy*, *221*(April), 120–130. https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.04.025

Roy, S., Ramakrishnan, R., Goksen, G., Singh, S., & Łopusiewicz, Ł. (2024). Recent progress on UV-light barrier food packaging films – a systematic review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *91*, 103550. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103550

Sadik, H., Ouazzani, C., Moustaghfir, A., El Ghammarti, S., Er-Ramly, A., Essebbahi, I., Dami, A., & Balouch, L. (2023). Comparison of the nutritional proprieties of commercial strawberries, red and black raspberry consumed in Morocco. *Applied Food Research*, *3*(2), 100362. https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100362

Serrano, M. A., & Moreno, J. C. (2020). Spectral transmission of solar radiation by plastic and glass materials. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *208*(April), 111894. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111894

Tang, B., Ma, J., Liu, L., Xu, J., Zhang, H., Li, K., Tu, X., & Guan, Q. (2025). Preparation of pullulan-shellac edible films with improved water-resistance and UV barrier properties for Chinese cherries preservation. *Journal of Future Foods*, *5*(1), 107–118. https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2024.01.010

Téllez, J. C., Hernández, D. M. T., Martínez, C. S. C., González, J. M. G., & Concha, J. C. (2024). Influencia en la capacidad antioxidante de los fenoles totales, vitamina c y color en frutas. *Fitotecnia Mexicana*, *47*(1), 19–26. https://doi.org/https://revistafitotecniamexicana.org/47-1.html

Turmanidze, T., Jgenti, M., Gulua, L., & Shaiashvili, V. (2017). Effect of ascorbic acid treatment on some quality parameters of frozen strawberry and raspberry fruits. *Annals of Agrarian Science*, *15*(3), 370–374. https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.02.017

Vera Zambrano, M., Dutta, B., Mercer, D. G., MacLean, H. L., & Touchie, M. F. (2019). Assessment of moisture content measurement methods of dried food products in small-scale operations in developing countries: A review. *Trends in Food Science and Technology*, *88*(July 2018), 484–496. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.006

ANEXOS

Anexo A: Concentración promedio del contenido de fenoles totales, antocianinas, ácido ascórbico de las fresa fresca y deshidratada en base seca

Tabla A1. Fenoles totales, antocianinas y ácido ascórbico para la fresa fresca deshidratada (agosto 2024)

	Fenoles totales (mg GAE /100 g_{ss})	**Antocianinas (mg C3GE/100 g_{ss})**	**Ácido Ascórbico (mg AA/100 g_{ss})**
Fresa fresca	48.61±1.189	66.54±4.889	57.33±8.705
Aire caliente	144.6±9.577	46.18±4.305	31.31±7.396
Acrílico CN	134.1±1.291	26.33±1.677	26.50±0.1170
Acrílico CF	131.0±5.338	35.10±1.977	26.58±0.2489
Policarbonato CN	172.4±4.618	38.58±3.270	40.27±0.3416
Policarbonato CF	148.8±7.532	51.67±1.265	40.24±0.6263

Tabla A2. Fenoles totales, antocianinas y ácido ascórbico para la fresa fresca deshidratada (febrero 2025)

	Fenoles totales (mg GAE /100 g_{ss})	**Antocianinas (mg C3GE/100 g_{ss})**	**Ácido Ascórbico (mg AA/100 g_{ss})**
Fresa fresca	29.74±1.207	41.90±4.586	47.36±3.455
Aire caliente	170.7±3.966	28.25±1.273	31.79±3.742
Acrílico CN	160.7±3.120	11.72±0.7124	27.04±0.295
Acrílico CF	149.7±5.646	10.61±1.279	22.83±4.054
Policarbonato CN	156.6±1.964	26.71±0.884	31.03±3.815
Policarbonato CF	154.2±11.19	22.72±0.875	22.69±3.986