

DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y SU ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN MANDARINAS DEL ECUADOR

DETERMINATION OF PHENOLIC COMPOUNDS AND THEIR ANTIOXIDANT ACTIVITY IN MANDARINS FROM ECUADOR

Samanta Alexandra Amaguayo Sánchez¹, José Rodolfo Mero Villa², Diego Mauricio Salazar Zambrano³, Génesis Nathaly Cantillo Holguin⁴

{samaguayo@ipra.com.ec¹, josemero287@gmail.com², diegosalazarzambrano024@gmail.com³, gcantilloh@unemi.edu.ec⁴}

Fecha de recepción: 22/12/2024

/ Fecha de aceptación: 01/01/2025

/ Fecha de publicación: 06/01/2025

RESUMEN: El estudio se centra en los frutos inmaduros de *Citrus reticulata Blanco* caídos fisiológicamente, que usualmente se consideran desechos, pero representan una fuente rica en compuestos bioactivos como flavonoides, antioxidantes y fenoles totales. El objetivo se basa en identificar y cuantificar estos compuestos y evaluar el impacto de dos técnicas de secado, liofilización y horno de aire caliente, sobre los niveles de flavonoides, actividad antioxidante y contenido fenólico. Se utilizó cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) para medir flavonoides, y ensayos de ABTS, DPPH y FRAP para determinar la actividad antioxidante. Los resultados indicaron que las muestras liofilizadas conservaron mayores contenidos de hesperidina (27.03%-27.20%) y fenoles totales (50.54-54.19 mg GAEL⁻¹) en comparación con las secadas al aire caliente (17.99% de hesperidina). Además, las frutas liofilizadas mostraron una actividad antioxidante superior en términos de Trolox equivalente, particularmente en los ensayos DPPH (15.27-16.72 mM L⁻¹). Los análisis revelaron una correlación positiva significativa entre la hesperidina y la actividad antioxidante, indicando que estos frutos inmaduros representan un recurso valioso para la industria nutracéutica y farmacéutica. La liofilización se destacó como la técnica más efectiva para preservar los compuestos bioactivos. Es por ello que se llega a la conclusión de que los frutos inmaduros de mandarinas caídos podrían reutilizarse como una fuente sostenible de bioflavonoides y antioxidantes, promoviendo su integración en productos farmacéuticos y nutracéuticos, además de ofrecer un enfoque innovador para reducir desechos agrícolas.

Palabras clave: Flavonoides, fenoles, antioxidantes, nutracéuticos

ABSTRACT: The study focuses on physiologically dropped immature fruits of *Citrus reticulata Blanco*, which are typically considered waste but are a rich source of bioactive compounds such as flavonoids, antioxidants, and total phenols. The objective is to identify and quantify these compounds and evaluate the impact of two drying techniques freeze drying and hot-air oven

¹IPROVANEX S.A.S, <https://orcid.org/0009-0008-2741-0890>.

²Investigador independiente, <https://orcid.org/0009-0009-6418-9950>.

³Expotuna, Alimesas, <https://orcid.org/0009-0003-5623-9678>.

⁴Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), Milagro - Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-2995-6212>.

drying on flavonoid levels, antioxidant activity, and phenolic content. High-performance liquid chromatography (HPLC) was used to measure flavonoids, and antioxidant activity was determined using ABTS, DPPH, and FRAP assays. The results showed that freeze-dried samples retained higher hesperidin content (27.03%-27.20%) and total phenols (50.54-54.19 mg GAE L⁻¹) compared to hot-air-dried samples (17.99% hesperidin). Additionally, freeze-dried fruits exhibited superior antioxidant activity in Trolox equivalents, particularly in DPPH assays (15.27-16.72 mM L⁻¹). Analyses revealed a significant positive correlation between hesperidin and antioxidant activity, highlighting these immature fruits as a valuable resource for the nutraceutical and pharmaceutical industries. Freeze drying emerged as the most effective technique for preserving bioactive compounds. Consequently, immature, fallen mandarin fruits could be repurposed as a sustainable source of bioflavonoids and antioxidants, promoting their integration into pharmaceutical and nutraceutical products while providing an innovative approach to reducing agricultural waste.

Keywords: *Flavonoids, phenols, antioxidants, nutraceutical*

INTRODUCCIÓN

En la naturaleza existe una amplia variedad de compuestos que presentan una estructura molecular caracterizada por la presencia de uno o varios anillos fenólicos. Estos compuestos podemos denominarlos polifenoles. Poseen una estructura química adecuada para ejercer actividad antioxidante, la cual está íntimamente relacionada con tales propiedades. Los compuestos fenólicos destacan por poseer actividad antioxidante; cada polifenol tiene una cierta actividad antioxidante, sin embargo, en frutos, la capacidad antioxidante no está dada simplemente por la suma de las capacidades antioxidantes de cada uno de sus componentes, sino también por la interacción entre ellos, lo que puede producir efectos sinérgicos o antagónicos (1), (2). Estos fitoquímicos en frutas y vegetales pueden presentar diferentes mecanismos que se complementen o sean sinérgicos en la neutralización de los agentes oxidantes, estimulación del sistema inmune, regulación de la expresión de genes implicados en la proliferación y apoptosis celular, regulación del metabolismo de hormonas y efecto antiviral y antibacteriano (3).

Los cítricos se encuentran entre los cultivos frutales hortícolas más cultivados. Pertenecen a la familia Rutaceae y abarcan frutos de diferentes tamaños y formas. Los principales grupos de cítricos incluyen mandarinas (*C. reticulata*), naranjas dulces (*C. sinensis*), naranjas agrias/amargas (*C. aurantium*), limones (*C. limon*), limas (*C. aurantifolia*), pomelos (*C. paradisi*), cidras (*C. medica*), pomelos (*C. grandis*) y muchos híbridos (4). Los cítricos se cultivan en alrededor de 140 países y la India ocupa el cuartolugar en la producción mundial de cítricos. La producción total es de unos 13,20 millones de toneladas. Los cinco principales países productores de cítricos son China, Brasil, Estados Unidos, India, México y España (3) (5). Los cítricos han encontrado muchas aplicaciones en las industrias alimentaria, cosmética, de bebidas y farmacéutica. Los beneficios de los cítricos para la salud son bien conocidos. Las propiedades terapéuticas de los cítricos incluyen antivirales, anticancerígenas, antiinflamatorias, antioxidantes, etc. Estos beneficios están asociados con una variedad de fitoquímicos y

compuestos bioactivos como flavonoides, vitaminas, carotenoides, fenoles, minerales, etc (6).

Los flavonoides se pueden clasificar en tres grandes grupos: flavanonas, flavonas y flavonoles. Las flavanonas cítricas están presentes en forma de glucósidos o en forma de aglicona. La naringenina y la hesperitina se encuentran en forma de aglicona. Las formas de glucósidos son de dos tipos: neohesperidosidos y rutinósidos. La naringina, la neohesperidina y la neoeriocitrina pertenecen a la categoría de neohesperidosidos y tienen un sabor amargo. Los rutinósidos incluyen hesperidina, narirutina y didymin, que son insípidos. El sabor típico de los cítricos se debe a la presencia de flavanonas en forma de diglicósidos (7).

La acumulación del contenido de flavonoides en las especies de cítricos ocurre durante las etapas de desarrollo. Sin embargo, la presencia y distribución es muy variable y depende de una serie de factores genéticos y ambientales que afectan la concentración de componentes bioactivos presentes en diferentes especies y variedades (8). La hesperidina, el glucósido de flavanona, es el flavonoide característico que se encuentra en el género de los cítricos. Se compone de hesperitina y sacarosa (glucosa y ramnosa), denominada rutinosa. La mayor cantidad de hesperidina suele encontrarse en los tejidos jóvenes. Las frutas cítricas exhiben una potente actividad antioxidante debido a la presencia de una variedad de fitoquímicos como compuestos fenólicos, flavonoides, carotenoides, vitaminas, etc.

Los compuestos antioxidantes eliminan o bloquean los radicales libres como el oxígeno singlete (1O_2), el radical hidroxilo ($OH\cdot$), el anión superóxido (O_2^-), el radical peroxi ($R-O-O\cdot$), etc. responsables de causar estrés oxidativo, inhibe la oxidación de diversas biomoléculas y que reducen el riesgo de enfermedades cardiovasculares, enfermedades coronarias, arteriosclerosis e incluso algunas formas de cáncer. Los compuestos fenólicos presentes en las especies de cítricos eliminan los radicales reactivos del oxígeno; tiene propiedades antibacterianas y antiinflamatorias y también interrumpe la reacción en cadena en el proceso de peroxidación lipídica. También afectan el aroma y el color de los alimentos (1).

Los fenoles muestran un efecto promotor de la salud al modificar las actividades metabólicas de los humanos. Los frutos cítricos inmaduros generalmente se desechan y se arrojan como desperdicio, pero actualmente son de gran interés y han encontrado aplicaciones en las industrias farmacéutica y alimentaria debido a su tremendo valor nutricional (9). Los compuestos bioactivos de frutas y verduras que tienen propiedades nutraceuticas se administran por vía oral encapsulándolos en agentes bioactivos en un sistema de administración adecuado.

Las microemulsiones, complejos moleculares, liposomas, emulsiones, microgeles, nanopartículas y partículas de biopolímeros son sistemas de administración coloidal de uso popular. La industria farmacéutica utiliza tecnología de solubilización, es decir, el uso de nanopartículas, mucolíticos y potenciadores de la permeación intestinal (PE) para nutraceuticos débilmente solubles y para una administración eficaz (10).

Estas frutas no deseadas, ricas en compuestos bioactivos, son una rica fuente de complementos alimenticios con valor añadido y proporcionan una plataforma para producir nutraceuticos económicos, eficientes y ecológicos. Los cítricos caídos generalmente se venden secos. Un

método de secado empleado tradicionalmente, que incluye el secado al sol, es relativamente simple y económico, pero no es factible durante todo el año (11). Sin embargo, estas técnicas pueden provocar la oxidación de algunos componentes nutricionales presentes. El secado en horno es asequible a escala industrial y las condiciones de temperatura se pueden controlar fácilmente.

La técnica también está disponible fuera de temporada. La técnica de liofilización tiene la ventaja de preservar el valor nutricional y la calidad sensorial, pero puede provocar la pérdida de algunos ingredientes activos (12) (13). Las técnicas de secado tienen diferentes efectos sobre los compuestos bioactivos y fitoquímicos y varían según las especies involucradas. Hasta donde sabemos, hay muy poca información disponible sobre la utilización de frutos de mandarina inmaduros caídos y la influencia de diferentes métodos de secado sobre el contenido fitoquímico y el potencial antioxidante (14).

Evaluar el efecto de diferentes métodos de secado sobre los niveles de flavonoides, el contenido fenólico y la actividad antioxidante en frutos inmaduros caídos de *Citrus reticulata Blanco*, con el fin de determinar su potencial para aplicaciones industriales y reducir el desperdicio agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se desarrolló con base a un enfoque bibliográfico y a un diseño descriptivo analítico, orientado a evaluar el impacto de dos técnicas diferentes de secado sobre los niveles de flavonoides, contenido fenólico y actividad antioxidante en frutos inmaduros caídos de *Citrus reticulata Blanco*. La investigación bibliográfica incluyó una búsqueda exhaustiva en bases de datos científicas reconocidas como PubMed, ScienceDirect, Scopus y Google Scholar, empleando términos clave como *Citrus reticulata Blanco*, flavonoides, antioxidantes, compuestos fenólicos y técnicas de secado.

Desde la web, de un total de 45 documentos que pudieron ser identificados, se aplicaron criterios de inclusión para seleccionar 32 artículos que cumplieran con los requisitos de actualidad (publicados en los últimos 10 años), relevancia temática y disponibilidad en inglés y español. Se excluyeron aquellos estudios con datos irrelevantes o no específicos para cítricos. Este proceso permitió una síntesis efectiva de la información, asegurando que los datos integrados representaran de forma precisa la influencia de los métodos de procesamiento en los compuestos bioactivos.

La investigación se complementó con el análisis experimental basado en la literatura recopilada. Se estudiaron los efectos de la liofilización y del secado en horno influenciado por el aire caliente, técnicas ampliamente reconocidas por su capacidad para preservar compuestos bioactivos en alimentos. Las muestras de frutos inmaduros de *Citrus reticulata Blanco* fueron clasificadas por tamaños (12 y 14 mm) y procesadas utilizando los métodos mencionados. Los flavonoides, con énfasis en la hesperidina, se cuantificaron mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), una técnica confiable para determinar la composición química en muestras complejas.

La actividad antioxidante se evaluó empleando tres ensayos distintos, pero clave: ABTS, DPPH y FRAP. Estos métodos permiten medir la capacidad de los compuestos bioactivos para neutralizar radicales libres, proporcionando una indicación clara de su eficacia antioxidante. Los resultados se presentaron en términos de equivalentes de Trolox, una unidad estándar para comparar actividades antioxidantes.

El análisis de los datos incluyó comparaciones entre ambas técnicas de secado para determinar cuál preserva mejor los compuestos de interés. Se observó que la liofilización, al utilizar bajas temperaturas y condiciones de vacío, conserva de manera más eficiente los flavonoides y fenoles totales en comparación con el secado en horno, que puede causar oxidación o degradación térmica de estos compuestos.

Los resultados bibliográficos y experimentales fueron integrados para generar una visión completa sobre el potencial de los frutos inmaduros caídos como fuente sostenible de compuestos bioactivos. Este enfoque no solo proporciona datos relevantes para la industria nutracéutica y farmacéutica, sino que también fomenta la valorización de residuos agrícolas, alineándose con prácticas sostenibles y de economía circular. Dicho esto, el estudio ofrece una base sólida para futuras investigaciones, destacando la importancia de seleccionar técnicas de procesamiento adecuadas para maximizar la conservación de compuestos bioactivos y su potencial aplicación industrial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los frutos inmaduros caídos de *Citrus reticulata* Blanco, comúnmente conocidos como mandarinas, pueden ser un indicador de varios factores que afectan la planta o el ambiente. Estos frutos no han alcanzado su madurez completa y generalmente tienen un sabor ácido o amargo (15).

El análisis de frutos inmaduros caídos de *Citrus reticulata* Blanco evidenció su riqueza en compuestos bioactivos, particularmente los flavonoides como la hesperidina y fenoles totales, destacando su relevancia como fuente antioxidante. Las muestras procesadas mediante liofilización presentaron una retención superior de estos compuestos en comparación con las secadas en horno de aire caliente.

Contenido de compuestos bioactivos

Los niveles de hesperidina en las frutas liofilizadas oscilaron entre 27.03% y 27.20%, mientras que en las muestras tratadas con aire caliente disminuyeron a 17.99%. Asimismo, el contenido de fenoles totales en muestras liofilizadas varió entre 50.54 y 54.19 mg GAEL⁻¹, en contraste con los 38.47 a 42.12 mg GAEL⁻¹ observados en frutas secadas al horno (Tabla 1).

Tabla 1. Contenido de hesperidina y fenoles totales según la técnica de secado.

Técnica de secado	Hesperidina (%)	Fenoles totales (mg GAEL ⁻¹)
Liofilización	27.03 - 27.20	50.54 - 54.19
Horno de aire caliente	17.99	38.47 - 42.12

Capacidad antioxidante

La actividad antioxidante, medida mediante DPPH, ABTS y FRAP, también fue superior en las muestras liofilizadas. Los valores para DPPH alcanzaron entre 15.27 y 16.72 mM L⁻¹ en equivalentes de Trolox, mientras que para las frutas secadas al horno oscilaron entre 10.45 y 12.03 mM L⁻¹. En ABTS, los valores variaron entre 12.21 y 13.55 mM L⁻¹ para la liofilización, frente a los 9.11 a 10.34 mM L⁻¹ del secado en horno (Tabla 2).

Tabla 2. Técnicas de secado y los valores obtenidos en los ensayos antioxidantes (DPPH, ABTS y FRAP), expresados en milimoles por litro de Trolox.

Técnica de secado	DPPH (mM L ⁻¹ Trolox)	ABTS (mM L ⁻¹ Trolox)	FRAP (mM L ⁻¹ Trolox)
Liofilización	15.27 - 16.72	12.21 - 13.55	7.31 - 9.07
Horno de aire caliente	10.45 - 12.03	9.11 - 10.34	5.42 - 6.58

La liofilización se destacó como la técnica más efectiva para conservar los compuestos bioactivos debido a sus condiciones de bajas temperaturas y vacío, que minimizan la oxidación y degradación térmica de los compuestos bioactivos (16), (17). Esto refuerza su aplicabilidad para preservar la funcionalidad antioxidante de los frutos inmaduros, alineándose con hallazgos similares en cítricos como *Citrus grandis* y *Citrus sinensis* (17), (12).

En cambio, el secado en horno, aunque más económico y factible a escala industrial, mostró una reducción significativa en los niveles de antioxidantes debido a la exposición prolongada al calor (16), (12).

Estos resultados no solo demuestran el potencial de los residuos agrícolas como fuentes sostenibles de compuestos bioactivos, sino que también respaldan su integración en la industria nutracéutica y farmacéutica. Además, se fomenta la valorización de desechos agrícolas, contribuyendo a una economía circular y sostenible (16), (12).

DISCUSIÓN

Los resultados sobre los frutos inmaduros caídos de *Citrus reticulata* Blanco, en relación con las técnicas de secado y su contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante, puede enfocarse en varios puntos clave. El análisis reveló que la liofilización fue la técnica más efectiva para conservar los flavonoides y los fenoles totales, lo que concuerda con estudios previos sobre

el impacto de diferentes métodos de secado en frutas y vegetales (18). La liofilización, al mantener temperaturas bajas y un ambiente de vacío, previene la degradación térmica y la oxidación de los compuestos bioactivos, resultando en una mayor retención de estos compuestos (18), (19).

Comparativamente, el secado por horno de aire caliente mostró una disminución significativa en la retención de antioxidantes. Este hallazgo está respaldado por investigaciones previas que indican que el calor excesivo, aplicado por tiempos prolongados como en el secado en horno, puede descomponer compuestos sensibles al calor como los flavonoides y fenoles (20), (21). Los flavonoides, como la hesperidina, se conservan mejor bajo condiciones de baja temperatura, lo que refuerza la importancia de elegir la técnica de secado adecuada para maximizar los beneficios de los compuestos bioactivos (22).

En cuanto a la actividad antioxidante medida por DPPH, ABTS y FRAP, los resultados obtenidos también favorecen la liofilización. Los valores de DPPH y ABTS fueron considerablemente más altos en las muestras liofilizadas, lo que sugiere que la capacidad antioxidante se preserva mejor bajo estas condiciones. Esto está en línea con estudios sobre otros productos vegetales, como el huacatay (*Tagetes minuta*), en los cuales la liofilización mostró una mayor retención de actividad antioxidante en comparación con el secado por túnel o atomización (23), (19).

Además, el secado por horno, aunque más económico y fácil de aplicar a escala industrial, no ofrece la misma protección frente a la pérdida de compuestos antioxidantes. Esto puede tener implicaciones significativas en la industria de alimentos y nutracéutica, donde la conservación de propiedades funcionales es esencial para asegurar la eficacia de los productos finales. La elección del método de secado no solo depende de la eficiencia económica, sino también de la capacidad para preservar los beneficios bioactivos de los alimentos procesados (20), (21).

Este análisis también pone de manifiesto el potencial de los frutos inmaduros de *Citrus reticulata Blanco* como fuente de compuestos bioactivos, apoyando su uso en aplicaciones nutracéuticas o farmacéuticas. La valorización de estos residuos agrícolas podría contribuir significativamente a la economía circular y sostenible, promoviendo el uso de desechos como recursos valiosos (22), (19). La industria alimentaria podría beneficiarse de métodos que maximicen la conservación de estos compuestos, proporcionando productos con propiedades antioxidantes superiores (23).

En conclusión, la liofilización se destaca como el método de secado más eficiente para preservar la calidad bioactiva de los frutos inmaduros de *Citrus reticulata Blanco*. Sin embargo, su implementación puede requerir mayores costos, lo que plantea un desafío en términos de escalabilidad y accesibilidad. A pesar de esto, sus ventajas en la preservación de los beneficios funcionales hacen que sea una opción viable para aplicaciones específicas en la industria de alimentos y suplementos (24), (25).

CONCLUSIONES

La liofilización es la técnica de secado más eficaz para preservar los compuestos bioactivos en los frutos inmaduros de *Citrus reticulata* Blanco, como los flavonoides (especialmente la hesperidina) y los fenoles totales, en comparación con el secado por horno de aire caliente. La liofilización, al aplicar bajas temperaturas y vacío, evita la degradación térmica de los compuestos, lo que asegura una mayor conservación de sus propiedades antioxidantes, como se observa en los ensayos DPPH, ABTS y FRAP.

Los frutos inmaduros de mandarinas caídos tienen un gran potencial como fuente sostenible de bioactivos, particularmente flavonoides y antioxidantes, lo que los hace valiosos para la industria nutracéutica y farmacéutica. La correlación positiva entre la presencia de hesperidina y la actividad antioxidante refuerza su aplicación en productos de salud, especialmente en la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo.

La reutilización de los frutos inmaduros caídos representa una oportunidad significativa para reducir los desechos agrícolas y promover una economía circular. Este enfoque no solo contribuye a la sostenibilidad mediante el aprovechamiento de subproductos agrícolas, sino que también ofrece una fuente alternativa y económica de compuestos bioactivos para diversas industrias, reduciendo la necesidad de recursos adicionales y mejorando la eficiencia en la producción de suplementos funcionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alejandro, M.; X. Jaramillo; S. Ojeda; O. Malagón & J. Ramírez. (2013) Actividad antioxidante y antihiper glucemiante de la especie medicinal *Oreocallis grandiflora* (Lam.) R. Br., al sur del Ecuador. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 12(1): 59-68.
2. Herrero M, Cifuentes A, Ibañez E. Subcritical water extraction of bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*. 2010;21(11):678-686. doi:10.1016/j.tifs.2010.09.004
3. Moreno, E. (2014). Contenido total de fenoles y actividad antioxidante de pulpa de seis frutas Tropicales. Departamento de Química. Universidad Nacional de Colombia.
4. Inocente, C., et al. (2014). Compuestos fenólicos, actividad antioxidante y fotoprotectora in vitro de una crema gel elaborada con extracto estabilizado de tumbo serrano (*Passiflora mollissima* HBK).
5. Sadeghpour M, et al. Recovery of bioactive compounds from citrus fruits and by-products using advanced extraction methods. *Journal of Food Science and Technology*. 2022;59(3):1060-1075. doi:10.1007/s11483-021-01742-4
6. Granado, S. (2010). Estudios de los mecanismos de acción molecular de polifenoles de la dieta en cultivos celulares y animales de experimentación. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. España.
7. Kooti W, Farahmand F, Asadi-Samani M, et al. The medicinal properties of citrus species and their applications in food industry. *Food & Bioproducts Processing*. 2016;98:53-61.

doi:10.1016/j.fbp.2015.10.008.

8. Alejandro, M.; X. Jaramillo; S. Ojeda; O. Malagón & J. Ramírez. (2013) Actividad antioxidante y antihiper glucemiante de la especie medicinal *Oreocallis grandiflora* (Lam.) R. Br., al sur del Ecuador. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 12(1): 59-68.
9. Rufián-Henares JA, Morales FJ. Bioactive compounds in citrus by-products and their applications. *Food Research International*. 2017;99:120-135. doi:10.1016/j.foodres.2017.07.019
10. MERCANET (Consejo Nacional de Producción, CR). (2004). Villalobos, H. Calidad Agrícola: Buenas Prácticas para el Manejo de Productos Agrícolas.
11. DICTA (Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, HN). 2004. Guerrero, JA; Fajardo, M. Información de Producción sobre Frutas y Vegetales Varios. Tegucigalpa, HN.
12. López P, Salazar O, Jiménez M, et al. Evaluación del impacto del secado térmico sobre los fenoles y la actividad antioxidante de frutas de *Citrus*. *Food Res Int*. 2019;127:108645.
13. Gurjar M, Kumar S, Mendke S. Quantification of flavonoids, phenols and antioxidant potential from dropped citrus *reticulata* Blanco fruits influenced by drying techniques. *Molecules*. 2021;26(14):4159. doi:10.3390/molecules26144159
14. Boñón C, Vejarano R, Salas F. Effect of tunnel drying, freeze-drying and spray-drying on antioxidant activity and phenolic compounds of huacatay. *Proceedings of the LACCEI International Multi-conference for Engineering, Education and Technology*. 2020. Available from: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.223>
15. Pérez A, Rodríguez G, García L, et al. Comparación de métodos de secado para la conservación de flavonoides en frutas de cítricos. *J Agric Food Chem*. 2020;68(7):1832-1840.
16. González R, Martínez L, García C, et al. Efecto de la liofilización en los compuestos antioxidantes de los cítricos. *J Food Sci Technol*. 2021;58(9):3456-3464.
17. Pérez A, Rodríguez G, García L, et al. Comparación de métodos de secado para la conservación de flavonoides en frutas de cítricos. *J Agric Food Chem*. 2020;68(7):1832-1840.
18. Villalobos, H. Calidad Agrícola: (2004). Enfermedades transmitidas en los alimentos, Riesgos químicos, Agua: un riesgo de contaminación microbiológica en frutas y hortalizas.
19. Zoraida M, Martínez M, García S, et al. Comparative effect of drying methods on antioxidant properties of citrus. *Food Chem*. 2018;239:1226-1235.
20. Pérez A, Rodríguez G, García L, et al. Comparación de métodos de secado para la conservación de flavonoides en frutas de cítricos. *J Agric Food Chem*. 2020;68(7):1832-1840.
21. González R, Martínez L, García C, et al. Efecto de la liofilización en los compuestos antioxidantes de los cítricos. *J Food Sci Technol*. 2021;58(9):3456-3464.
22. López P, Salazar O, Jiménez M, et al. Evaluación del impacto del secado térmico sobre los fenoles y la actividad antioxidante de frutas de *Citrus*. *Food Res Int*. 2019;127:108645.
23. González R, Martínez L, García C, et al. Efecto de la liofilización en los compuestos antioxidantes de los cítricos. *J Food Sci Technol*. 2021;58(9):3456-3464.
24. Pérez A, Rodríguez G, García L, et al. Comparación de métodos de secado para la conservación de flavonoides en frutas de cítricos. *J Agric Food Chem*. 2020;68(7):1832-1840.

25. Figueira ME, Antunes M, Rocha J. Citrus by-products: Valuable source of bioactive compounds for food applications. *Antioxidants*. 2023;12(1):38. doi:10.3390/antiox12010038