

**Efectos de los métodos de deshidratación en las propiedades nutricionales y sensoriales de
frutos rojos: una perspectiva para su aprovechamiento en Colombia**

Jinneth Jimena López González

Asesor

Ruth Mary Benavides Guevara

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Básicas, tecnología e Ingeniería (ECBTI)

Ingeniería de Alimentos

2026

**Efectos de los métodos de deshidratación en las propiedades nutricionales y sensoriales de
frutos rojos: una perspectiva para su aprovechamiento en Colombia**

Jinneth Jimena López González

Trabajo de grado como requisito para optar al título de:
Ingeniero de Alimentos

Asesor

Ruth Mary Benavides Guevara

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Básicas, tecnología e Ingeniería (ECBTI)

Ingeniería de Alimentos

2026

Resumen

Los frutos rojos, entre ellos la mora (*Rubus glaucus*), el arándano (*Vaccinium corymbosum*), la frambuesa (*Rubus idaeus*) y la fresa (*Fragaria × ananassa*), se caracterizan por su elevado contenido de compuestos bioactivos, tales como antocianinas, polifenoles y vitamina C, los cuales les confieren importantes propiedades nutricionales y funcionales. Sin embargo, su alta perecibilidad y susceptibilidad al deterioro poscosecha generan pérdidas significativas a lo largo de la cadena de suministro, lo que representa un desafío para su aprovechamiento agroindustrial en Colombia. En este contexto, la deshidratación constituye una alternativa tecnológica para prolongar la vida útil de estos productos, reducir pérdidas y facilitar su comercialización. El objetivo de esta monografía fue analizar, mediante una revisión bibliográfica sistemática, el efecto de los diferentes métodos de deshidratación sobre las propiedades nutricionales y sensoriales de los frutos rojos, con el fin de aportar una perspectiva para su aprovechamiento en Colombia.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo y descriptivo, mediante la consulta y análisis de literatura científica publicada principalmente entre 2015 y 2025 en bases de datos especializadas. Se evaluaron tecnologías de secado convencionales y emergentes, incluyendo secado convectivo con aire caliente, liofilización, osmodeshidratación, secado por infrarrojos, secado asistido por microondas y ventana de refractancia. Los resultados evidenciaron que el método de deshidratación influye significativamente en la conservación de compuestos bioactivos y atributos sensoriales. La liofilización presentó los mayores niveles de retención de antocianinas, polifenoles y vitamina C, además de una mejor preservación del color, aroma y estructura del producto. Por su parte, métodos como la ventana de refractancia y las

tecnologías híbridas mostraron resultados favorables al combinar una adecuada conservación de nutrientes con menores tiempos de procesamiento.

En contraste, el secado convectivo tradicional generó mayores pérdidas de compuestos sensibles al calor debido a la exposición prolongada a temperaturas elevadas. Se concluye que la selección adecuada de la tecnología de deshidratación constituye un factor determinante para mantener la calidad nutricional y sensorial de los frutos rojos, representando una estrategia viable para disminuir las pérdidas poscosecha, diversificar la oferta agroindustrial y fortalecer la competitividad de este sector en Colombia.

Palabras Clave: frutos rojos, deshidratación, compuestos bioactivos, propiedades nutricionales, propiedades sensoriales.

Abstract

Berries, including blackberry (*Rubus glaucus*), blueberry (*Vaccinium corymbosum*), raspberry (*Rubus idaeus*), and strawberry (*Fragaria × ananassa*), are characterized by their high content of bioactive compounds, such as anthocyanins, polyphenols, and vitamin C, which grant them important nutritional and functional properties. However, their high perishability and susceptibility to postharvest deterioration cause significant losses throughout the supply chain, representing a challenge for their agro-industrial utilization in Colombia. In this context, dehydration constitutes a technological alternative to extend the shelf life of these products, reduce losses, and facilitate their commercialization.

The objective of this monograph was to analyze, through a systematic literature review, the effect of different dehydration methods on the nutritional and sensory properties of berries, aiming to provide a perspective for their utilization in Colombia. The research was developed under a qualitative and descriptive approach, through the consultation and analysis of scientific literature published mainly between 2015 and 2025 in specialized databases. Conventional and emerging drying technologies were evaluated, including convective hot-air drying, freeze-drying, osmotic dehydration, infrared drying, microwave-assisted drying, and refractance window drying.

The results showed that the dehydration method significantly influences the preservation of bioactive compounds and sensory attributes. Freeze-drying presented the highest retention levels of anthocyanins, polyphenols, and vitamin C, as well as better preservation of the product's color, aroma, and structure. On the other hand, methods such as refractance window and hybrid technologies showed favorable results by combining adequate nutrient preservation with shorter processing times. In contrast, traditional convective drying caused greater losses of

heat-sensitive compounds due to prolonged exposure to elevated temperatures.

It is concluded that the proper selection of dehydration technology constitutes a determining factor in maintaining the nutritional and sensory quality of berries, representing a viable strategy to reduce postharvest losses, diversify the agro-industrial offer, and strengthen the competitiveness of this sector in Colombia.

Keywords: red fruits, dehydration, nutritional properties, sensory properties, bioactive compounds, agro-industrial utilization.

Tabla de Contenido

Introducción	13
Problema de Investigación y Justificación	15
Descripción del Problema.....	15
Formulación de la Pregunta Problema	16
Justificación.....	17
Antecedentes	18
Objetivos	25
Objetivo General.....	25
Objetivos Específicos.....	25
Metodología	26
Tipo y Enfoque de Investigación.....	26
Procedimiento Metodológico.....	26
Criterios de Selección de Documentos.....	27
Fuentes de Información Consultadas	28
Tratamiento y Análisis de la Información.....	29
Referentes Conceptuales	30
Generalidades de los Frutos Rojos	30
Arándano azul (<i>Vaccinium corymbosum</i>)	31
Generalidades.....	31
Descripción Botánica y Morfológica.....	33
Clasificación Taxonómica.....	34

Producción a Nivel Mundial – Nacional.....	34
Fresa (<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i>).....	36
Generalidades.....	36
Descripción Botánica y Morfológica.....	38
Clasificación Taxonómica.....	39
Producción a Nivel Mundial – Nacional.....	39
Mora de Castilla (<i>Rubus glaucus</i> Benth).....	41
Generalidades.....	41
Descripción Botánica y Morfología.....	42
Clasificación Taxonómica.....	43
Producción a Nivel Mundial – Nacional.....	44
Frambuesa (<i>Rubus idaeus</i>).....	46
Generalidades.....	46
Descripción Botánica y Morfológica.....	46
Clasificación Taxonómica.....	47
Producción a Nivel Mundial – Nacional.....	48
Pérdidas Postcosecha en Frutos Rojos.....	49
Definición y Magnitud del Problema.....	49
Factores que Contribuyen a las Pérdidas Postcosecha.....	51
Factores Intrínsecos de los Frutos Rojos.....	51
Factores Asociados a la Cosecha.....	52
Factores Asociados al Acondicionamiento.....	52
Factores Asociados a la Conservación y Almacenamiento.....	53

Factores Asociados al Transporte y Distribución	54
Alteraciones Bioquímicas Durante la Postcosecha	54
Respiración y Metabolismo Energético	54
Degradación de Antocianinas y Cambios de color	55
Pardeamiento Enzimático	55
Degradación de Vitaminas y Compuestos Bioactivos	56
Alteraciones Biológicas: Deterioro Microbiológico.....	57
Hongos Patógenos Principales.....	57
Impacto Socioeconómico de las Pérdidas Postcosecha.....	58
Estrategias para la Reducción de Pérdidas Postcosecha.....	59
Métodos de Conservación.....	60
Refrigeración.....	60
Congelación.....	61
Secado o Deshidratación.....	61
Secado Solar.....	62
Secado Convectivo con Aire Caliente.....	63
Liofilización.....	63
Osmodeshidratación.....	64
Secado por Infrarrojos.....	64
Secado por Microondas y Microondas-Vacío.....	65
Ventana de Refractancia.....	66
Secado Híbrido y Tecnologías Emergentes.....	66
Efectos del Secado en la Calidad de los Frutos Rojos.....	66

Deshidratación de Frutos Rojos	68
Estudios en Frambuesa.....	70
Aplicaciones Agroindustriales de los Frutos Rojos Deshidratados	71
Análisis y Discusión de Resultados	72
Análisis Comparativo de los Métodos de Deshidratación.....	72
Secado Convectivo con Aire Caliente	72
Liofilización.....	74
Osmodeshidratación.....	76
Secado por Infrarrojos.....	77
Secado por Microondas y Combinaciones Híbridas	78
Ventana de Refractancia	79
Efectos sobre Propiedades Nutricionales: Análisis por Compuesto.....	80
Antocianinas	80
Vitamina C.....	81
Polifenoles Totales y Capacidad Antioxidante	81
Efectos Sobre Propiedades Sensoriales de los Frutos Rojos	82
Implicaciones para el Aprovechamiento en Colombia.....	84
Consideraciones Tecnológicas.....	84
Consideraciones de Mercado.....	85
Integración con Políticas Públicas	86
Conclusiones.....	87
Recomendaciones	90
Referencias Bibliográficas	93

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Clasificación taxonómica del arandano azul (<i>Vaccinium corymbosum</i>)</i>	34
Tabla 2 <i>Clasificación taxonómica de la fresa (<i>Fragaria x ananassa</i>)</i>	39
Tabla 3 <i>Principales países importadores de fresa a nivel mundial</i>	40
Tabla 4 <i>Principales departamentos productores a nivel nacional</i>	40
Tabla 5 <i>Clasificación taxonómica de la mora de Castilla (<i>Rubus glaucus</i>)</i>	43
Tabla 6 <i>Evolucion de la balnza comercial de mora en Colombia (2015 – 2019)</i>	45
Tabla 7 <i>Clasificación taxonomica de la frambuesa (<i>Rubus idaeus</i>)</i>	47
Tabla 8 <i>Efecto de la vitamina C en la deshidratacion de mora Castilla</i>	68
Tabla 9 <i>Capacidad antioxidante Total</i>	69
Tabla 10 <i>Concentracion de fenoles totales en mg/100g</i>	69

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Variedad de frutos rojos</i>	30
Figura 2 <i>Arandano azul (Vaccinium corymbosum)</i>	32
Figura 3 <i>Panorama de la producción y exportación de arandano azul</i>	35
Figura 4 <i>Frutos de fresa (Fragaria x ananassa)</i>	37
Figura 5 <i>Mora de Castilla (Rubus glaucus)</i>	42
Figura 6 <i>Distribución de exportaciones e importaciones de mora</i>	45
Figura 7 <i>Distribución de la producción mundial de frambuesa por países</i>	49
Figura 8 <i>Sistema de refrigeración industrial</i>	60
Figura 9 <i>Equipo de congelación para frutas y hortalizas</i>	61
Figura 10 <i>Invernadero para el secado de frutas</i>	62
Figura 11 <i>Deshidratador de bandeja</i>	63
Figura 12 <i>Proceso de liofilización</i>	64
Figura 13 <i>Deshidratador por infrarojos</i>	65
Figura 14 <i>Glucosidos y agliconas fenólicos totales en frambuesas</i>	70

Introducción

La demanda de alimentos saludables y sostenibles continúa en aumento a nivel mundial, por ello, preservar y optimizar los nutrientes presentes en frutas y verduras se ha convertido en una prioridad para la industria alimentaria y la salud pública (Pateiro et al., 2022). Colombia, como país agrícola, se destaca por el desarrollo de su agroindustria frutícola, donde los frutos rojos han ganado relevancia significativa en los mercados nacionales e internacionales. De acuerdo con cifras del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la producción de mora alcanzó 143.773 toneladas en 2020, mientras que las exportaciones de arándano crecieron un 669% en los últimos años (Ministerio de Agricultura, 2021; DANE, 2025). Esta tendencia responde tanto a las propiedades funcionales de estos frutos como a la creciente demanda de productos naturales con alto contenido de compuestos bioactivos (Shah et al., 2023).

Los frutos rojos constituyen un componente relevante de la diversidad agrícola colombiana, destacándose no solo por sus características sensoriales, como color y sabor, sino también por su alto contenido de compuestos bioactivos con propiedades funcionales. (Bravo Espinoza, & García 2025). Entre los frutos rojos más representativos en Colombia se destacan la mora (*Rubus glaucus*), el arándano (*Vaccinium corymbosum*), la frambuesa (*Rubus Idaeus*) y la fresa (*Fragaria × ananassa*), especies que han mostrado un incremento en su producción y demanda tanto a nivel nacional como internacional debido a sus propiedades funcionales y alto valor nutricional ((Agronet, 2026; García Rubio et al., 2014). Estos cultivos se adaptan principalmente entre los climas templados a fríos, razón por la cual se desarrollan exitosamente en zonas elevadas de la región Andina colombiana, particularmente en el altiplano cundiboyacense y en los valles interandinos, donde las condiciones agroclimáticas favorecen su rendimiento y calidad (Fischer, G. 2023).

Por otro lado, se considera que la deshidratación de frutas es una de las técnicas más utilizadas para la conservación de alimentos, ya que implica la eliminación controlada del agua con el fin de inhibir el crecimiento microbiano y ralentizar las reacciones enzimáticas responsables del deterioro (Mujumdar, 2014; Barbosa-Cánovas et al., 2007; Fito Maupoey et al., 2001). Estos métodos permiten prolongar la vida útil, facilitar el almacenamiento y reducir el peso del producto, lo cual también disminuye los costos logísticos y mejora su aprovechamiento industrial. Sin embargo, en el estudio de Stamenković et al. (2019) reportaron una pérdida del 94% al 97.93% de vitamina C en frambuesas sometidas a secado convectivo, y Méndez-Lagunas et al. (2017) observaron una reducción de hasta el 78% en fenoles totales y una reducción del 45% en antocianinas durante la fase de secado de fresas entre 50 y 60 °C. Igual, en el estudio de Koraqi et al. (2023), demostraron que el secado por aire caliente en arándanos a 60 °C requiere tiempos prolongados de hasta 1290 minutos y aumenta la degradación térmica de pigmentos y vitaminas.

Estos resultados destacan la necesidad de analizar cómo cada método de deshidratación influye en las características nutricionales y sensoriales de los frutos rojos. Por lo tanto, esta revisión bibliográfica sistemática tiene como objetivo analizar los efectos de los métodos de deshidratación en los atributos fisicoquímicos y sensoriales de los frutos rojos, centrándose en las ventajas y desventajas para la población colombiana. Con el fin de proporcionar recomendaciones basadas en evidencia científica para la optimización de los procesos de conservación y así disminuir las pérdidas poscosecha de frutos rojos para su aprovechamiento en Colombia.

Problema de Investigación y Justificación

Descripción del Problema

Las exportaciones colombianas de frutos rojos ha sido uno de las principales atrayentes para inversionistas, principalmente por nuevos proyectos de cultivos como los arándanos, se evidencia que es una de las frutas más exportadas a estados unidos en el 2024. Esta afirmación se apoya de los informes especializados por Analdex 2021 y Analdex 2024, en el cual se muestra que para el año 2020 un incremento del 309 % en el valor de las exportaciones de berries colombianas que están conformadas por fresas, frambuesas, moras y arándanos. Este crecimiento continúa posteriormente, dado que para los años 2020 y 2021 se obtuvo un crecimiento al pasar de 212 a 273 toneladas en exportaciones, al resaltar que cerca del 97% de las exportaciones de frutos rojos para el año 2021 fueron de arándanos y 3% entre frambuesas, zarzamora, moras y fresas a pesar de que esta última matriz vegetal, fue el primer producto que comenzó a comercializarse. Estos porcentajes que se han alcanzado en los últimos años ha sido el resultado de un incremento de la producción de arándano debido a la rentabilidad derivada del precio del cual goza en el mercado (Analdex 2021).

Por otro lado, cabe destacar que los frutos rojos se caracterizan por una alta tasa respiratoria, al considerarlos altamente perecederos que pueden conllevar a una corta vida útil con elevadas pérdidas postcosecha (Rodríguez, et al., 2021). Según el estudio de Shah et al. (2023), las pérdidas postcosecha en frutos rojos oscilan entre el 30% y el 60% dependiendo de la etapa de la cadena de suministro, mientras que la frambuesa presenta una vida útil máxima de apenas 7 días en condiciones óptimas de refrigeración. En el contexto colombiano, se reporta que

las pérdidas postcosecha de mora superan el 70% de la producción total, cifra que evidencia la magnitud de la problemática (García et al., 2020). Las principales causas de este deterioro incluyen la deshidratación superficial, la pérdida de firmeza por degradación de pared celular, el pardeamiento enzimático mediado por polifenol oxidasa, y la susceptibilidad a patógenos fúngicos como *Botrytis cinerea*, que puede causar hasta el 70% de las pérdidas en campo o postcosecha (Petrasch et al., 2019; Robledo et al., 2013). Adicionalmente, el Departamento Nacional de Planeación (2016) estima que Colombia desperdicia aproximadamente 32 kg de alimentos per cápita al año, y que el 64% de las pérdidas ocurren en las etapas de producción, postcosecha y almacenamiento, siendo las frutas y hortalizas las categorías más afectadas con el 62% del total de pérdidas.

Por otro lado, se reporta que la distribución de estos productos se focaliza principalmente en dos presentaciones, fresco y congelado, y en una menor proporción se encuentra la presentación deshidratada o en jugo (Domínguez, 2015; Robledo, 2013). En la comercialización en fresco, la fruta se almacena a 0 °C lo antes posible y, al congelar esta matriz vegetal, las características de la fruta pueden modificarse (Robledo, 2013). En este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación.

Formulación de la Pregunta Problema

¿Qué métodos de deshidratación son más efectivos para preservar las propiedades nutricionales y sensoriales de los frutos rojos?

Justificación

Los frutos rojos han mostrado un crecimiento importante en Colombia, tanto en área sembrada como en volumen de producción, lo cual genera oportunidades para la diversificación agroindustrial del país (Agronet, 2026). Sin embargo, su alta perecibilidad representa un desafío significativo para la comercialización y sostenibilidad del cultivo, considerando que su vida útil bajo refrigeración óptima no supera los 7 días (Shah et al., 2023). De hecho, en Colombia, las pérdidas de frutas y verduras son de aproximadamente 6.08 millones de toneladas cada año (DNP, 2016). Es consecuencia es necesario plantear estrategias de conservación efectivas, como el uso de la deshidratación, que puede ser una alternativa viable para aumentar la vida útil de la materia prima al disminuir las pérdidas poscosecha. Esta revisión es coherente con la Ley 1990 de 2019, donde abordar la necesidad de disminuir las pérdidas y el desperdicio de alimentos, al promover sistemas alimentarios sostenibles, así como el acceso de alimentos nutritivos y prevenir las pérdidas en la cadena agroalimentaria, particularmente en frutas y verduras. Por otro lado, mediante esta revisión se está apoyando el acceso y consumo de alimentos en cantidad, variedad, calidad y seguridad adecuada para la población colombiana (CONPES 113 de 2008).

Mediante esta monografía se pretende analizar diferentes métodos de deshidratación y su efecto en las propiedades nutricionales y sensoriales de frutos rojos, con el fin de aportar información que permita comprender cómo estos procesos influyen en las características fisicoquímicas o sensoriales de los frutos y así contribuir al conocimiento sobre su manejo y aprovechamiento en la industria alimentaria.

Antecedentes

La deshidratación es uno de los métodos más antiguos de conservación de alimentos, con registros de su uso que datan de alrededor del año 20,000 a.C. En el antiguo Egipto, se secaban frutas como uvas, higos y manzanas, mientras que, en la Edad Media, civilizaciones como la mongola producían leche mediante secado solar (Sabarez, 2016). No obstante, fue hasta el siglo XX cuando se implementaron métodos de secado mecánico como la liofilización, el secado por atomización y el secado por convección, tecnologías que permitieron un mayor control de las condiciones del proceso y una mejor conservación de las propiedades nutricionales y sensoriales de los alimentos (Hayashi, 1989). Diversos estudios científicos han evaluado el impacto de los métodos de deshidratación sobre la calidad de frutas, especialmente aquellas ricas en compuestos bioactivos como los frutos rojos, y la industria alimentaria ha sido uno de los principales beneficiarios de estas investigaciones. A continuación, se presentan cinco trabajos de gran relevancia que fundamentan el presente estudio.

Márquez y Ciro (2003) desarrollaron una investigación orientada a determinar las curvas de secado de la mora de Castilla (*Rubus glaucus*) en dos tamaños de partícula, mora licuada y triturada, utilizando tres temperaturas de deshidratación: 35 °C, 50 °C y 65 °C, además de realizar un análisis granulométrico para establecer el módulo de fineza, el índice de uniformidad y el diámetro promedio de partícula en cada tipo de muestra. Los investigadores utilizaron moras de Castilla frescas, calibre B y con grado de madurez entre 5 y 6 conforme a la Norma Técnica Colombiana NTC 4106, sometiendo las frutas a trituración mecánica y licuado con semillas para posteriormente deshidratarlas en un secador de bandejas de flujo paralelo con velocidad de aire constante de 1,5 m/s y humedad relativa entre 35% y 40%, registrando la pérdida de peso en función del tiempo hasta que dos pesadas consecutivas arrojaran una diferencia inferior a 0,1

gramos. Los resultados evidenciaron que el tamaño de partícula influye significativamente en la velocidad de secado, observándose que la mora licuada presentó mayor eficiencia en la deshidratación al alcanzar menores contenidos de humedad en menos tiempo; específicamente, a 35 °C la mora licuada alcanzó una humedad de equilibrio de 17,40% en 45 horas mientras que la triturada lo hizo en 56 horas con 28,06%, y en términos granulométricos la mora licuada generó un producto más fino con diámetro promedio de 0,55 mm frente a 3,175 mm de la triturada, con modelos de regresión exponencial que mostraron coeficientes de determinación superiores a 0,94 en todos los tratamientos. Los autores concluyeron que el secado de mora de Castilla resulta más eficiente cuando se utiliza fruta licuada debido a su mayor superficie de intercambio que favorece la transferencia de calor y masa, que el aumento de temperatura reduce significativamente el tiempo de secado y el contenido de humedad de equilibrio, y que es posible utilizar el fruto completo incluyendo semillas favoreciendo el aprovechamiento integral de la materia prima. Este estudio aporta al presente trabajo de grado evidencia experimental directa sobre el comportamiento de un fruto rojo colombiano durante el secado convectivo, proporcionando parámetros de referencia para la optimización de procesos de deshidratación de mora de Castilla en condiciones locales.

Zhang et al. (2023) evaluaron el efecto de tres métodos de secado distintos —secado por aire caliente (HAD), secado por aire caliente asistido por microondas (MHAD) y secado por congelación al vacío (VFD)— sobre los compuestos antioxidantes y los compuestos orgánicos volátiles del orujo de arándano, con el propósito de analizar cómo estas técnicas influyen tanto en la capacidad antioxidante como en el perfil aromático y establecer recomendaciones para el aprovechamiento industrial de este subproducto. Los investigadores utilizaron orujo de arándano obtenido tras el prensado de frutas frescas, representando aproximadamente el 20% del peso

fresco del fruto, sometiendo las muestras a HAD a 50 °C durante 24 horas, a 60 °C durante 16 horas y a 80 °C durante 8 horas; MHAD con una etapa de microondas a 70 W durante 30 minutos seguida de HAD a 60 °C por 6 horas; y VFD con congelación inicial a -80 °C durante 24 horas seguida de liofilización a -49 °C por 48 horas, determinando el contenido total de fenoles mediante el método de Folin-Ciocalteu, las antocianinas por el método de diferencia de pH y UPLC-ESI-MS, la actividad antioxidante mediante ensayos DPPH y FRAP, y el perfil de compuestos volátiles mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de movilidad iónica con análisis estadístico multivariado. Los resultados mostraron que el orujo de arándano presentaba mayores concentraciones de fenoles y antocianinas que la fruta entera, que el tratamiento VFD fue el más eficaz en conservar estos compuestos alcanzando 21,72 g/100 g de fenoles y 1964 mg/100 g de antocianinas con la mayor capacidad para eliminar radicales DPPH y el mayor poder reductor FRAP, que el método MHAD permitió reducir el tiempo de secado en un 62,5% aunque con pérdida considerable de antocianinas, y que se identificaron 49 compuestos orgánicos volátiles diferentes con 21 marcadores discriminantes clave entre tratamientos incluyendo 2-hexanol, benzaldehído, metilpirazina y furaneol. Los autores concluyeron que el método de secado influye significativamente en la calidad funcional y sensorial del producto final, que, aunque el VFD fue el más eficaz para preservar compuestos bioactivos presenta desventajas en términos de costo y tiempo, y que el secado por aire caliente a 60 °C constituye una alternativa viable al ofrecer buen equilibrio entre conservación de antioxidantes, calidad aromática y eficiencia económica. Este estudio aporta al presente trabajo de grado una comparación rigurosa entre múltiples métodos de secado aplicados a un fruto rojo, proporcionando fundamento científico para evaluar las ventajas y limitaciones de cada tecnología en términos de preservación de compuestos bioactivos y viabilidad industrial.

En el estudio de Stamenković, et al. (2019) analizaron el efecto del secado por convección como una alternativa a la liofilización debido a su mayor accesibilidad, simplicidad y rentabilidad para las frambuesas Polana. Se probaron temperaturas de 60, 70 y 80 °C y velocidades de aire de 0,5 y 1,5 m·s. Mediante secado convectivo demostró que la degradación del ácido ascórbico en fresas y frambuesas afecta ligeramente la temperatura en el rango de 80 a 90 °C. Mientras que la liofilización permitió obtener los niveles más altos de conservación del ácido L-ascórbico, dado a la degradación térmica. El contenido polifenólico mejor conservado se obtuvo a $T = 70$ °C y una velocidad del aire de $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Mientras la liofilización conservó fenoles totales y el secado por convección redujo el contenido polifenólico en las muestras. El contenido de antocianina no fue afectado por secado convectivo o liofilización. En conclusión, la frambuesa Polana secada por convección con una temperatura del aire de 60 °C y una velocidad del aire de $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ puede considerarse una alternativa suficiente a la liofilización.

En el estudio de León (2020) desarrolló una investigación con el objetivo de evaluar el efecto de tres métodos de secado —convección forzada, liofilización y ventana de refractancia— sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas y estructurales de la guayaba (*Psidium guajava*), empleando la deshidratación osmótica como pretratamiento para mejorar la retención de calidad y la estabilidad microbiológica. El investigador utilizó un diseño experimental unifactorial completamente al azar con guayaba fresca en estado de maduración 2-3 que fue seleccionada, lavada, desinfectada, despulpada y cortada en rodajas de 3-4 mm con inmersión en ácido ascórbico al 1,5% para preservar color y enzimas, aplicando posteriormente deshidratación osmótica en soluciones de maltitol 50%, fructosa 50% y mezcla alulosa-polidextrosa 25/25% en relación 1:3 fruta-solución durante 3 horas entre 45-65 °C, para luego secar mediante convección forzada a 75-80 °C por 8 horas, liofilización a -40 °C con 130 µmHg de vacío por 24 horas, y

ventana de refractancia con temperatura del agua de 90 °C por 4 horas, evaluando humedad, fibra dietaria, vitamina C, capacidad antioxidante, fuerza máxima de fractura y recuento de mohos y levaduras con análisis por triplicado y comparaciones mediante ANOVA y prueba de Tukey. Los resultados mostraron que la guayaba fresca presentó humedad de aproximadamente 79,5%, pH 4,1, fibra dietaria de 23,9 g/100 g y capacidad antioxidante de 1342 $\mu\text{mol Eq. Trolox/g}$, que no hubo diferencias significativas en el contenido de humedad final entre métodos, que la fibra dietaria alcanzó su mayor valor con liofilización (40,6%), y que la ventana de refractancia mostró los mejores resultados en capacidad antioxidante (3092 $\mu\text{mol Eq. Trolox/g}$) y contenido de vitamina C (25,4 mg/100 g) además de la mayor fuerza de fractura (395,7 N), cumpliendo todos los tratamientos con los límites microbiológicos de la legislación colombiana para frutas deshidratadas. El autor concluyó que la ventana de refractancia constituye el método más adecuado para obtener fruta deshidratada con alta calidad fisicoquímica y buena estabilidad microbiológica, que la liofilización favorece la retención de fibra dietaria aunque con mayores costos y tiempos de proceso, y que la deshidratación osmótica previa contribuye a mejorar la textura, reducir la actividad de agua y facilitar el secado en los tres métodos. Este estudio aporta al presente trabajo de grado evidencia sobre la aplicación de la ventana de refractancia como alternativa tecnológica para frutas tropicales, metodología potencialmente transferible a frutos rojos colombianos que requiere mayor investigación específica.

Calín-Sánchez et al. (2020) desarrollaron una revisión con el propósito de analizar y comparar en profundidad tanto las técnicas tradicionales como las más recientes aplicadas al secado de frutas, vegetales y hierbas aromáticas, con especial atención a su influencia en las propiedades fisicoquímicas, funcionales y sensoriales de los productos, buscando identificar las limitaciones de los métodos convencionales y explorar alternativas tecnológicas que permitan

mejorar la retención de compuestos bioactivos, color, aroma y textura, además de evaluar la eficiencia energética y el impacto ambiental de los procesos. Los autores realizaron una revisión bibliográfica exhaustiva integrando resultados de numerosos estudios experimentales sobre secado convectivo, por aspersion, liofilización, deshidratación osmótica, secado por bomba de calor, microondas, infrarrojo, radiofrecuencia, ventana de refractancia, secado por expansión y combinaciones como convectivo-microondas o vacío-microondas, describiendo para cada método el principio de funcionamiento, el agente de secado, las condiciones de operación, el tipo de materia prima tratada y sus principales ventajas y desventajas, incluyendo análisis comparativos que recogen los efectos sobre parámetros como color, porosidad, densidad aparente, contracción, contenido de polifenoles, capacidad antioxidante, compuestos volátiles y percepción sensorial. El análisis reveló que aunque el secado prolonga significativamente la vida útil de frutas, vegetales y hierbas aromáticas, el proceso provoca inevitablemente modificaciones en su calidad cuya magnitud depende del tipo de producto, del método empleado y de las condiciones de operación, observándose que el secado convectivo presenta pérdidas significativas de color, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante además de generar encogimiento y estructuras densas, que la liofilización preserva eficazmente color natural, compuestos bioactivos y estructura porosa aunque con elevados costos de operación, y que técnicas novedosas como el secado vacío-microondas logran buen balance entre preservación de nutrientes, reducción de tiempo de secado y eficiencia energética, evidenciándose además que pretratamientos como la deshidratación osmótica mejoran la retención de color y reducen el daño estructural. Los autores concluyeron que la elección del método de secado debe adaptarse a las características específicas de la materia prima y a los objetivos de calidad del producto final, que no existe una técnica única óptima para todos los casos pero las tecnologías emergentes y

combinadas representan alternativas prometedoras, y que el desarrollo de procesos de secado sostenibles requiere integrar criterios de eficiencia energética, reducción de emisiones, preservación de atributos sensoriales y nutricionales, y viabilidad económica. Este estudio aporta al presente trabajo de grado una visión integral y actualizada del estado del arte en tecnologías de secado de productos vegetales, proporcionando criterios fundamentados para la evaluación comparativa de métodos y la formulación de recomendaciones aplicables al aprovechamiento agroindustrial de frutos rojos en Colombia.

Objetivos

Objetivo General

Analizar mediante una revisión bibliográfica el efecto de los métodos de deshidratación en las propiedades nutricionales y sensoriales de frutos rojos con el fin de brindar una perspectiva para su aprovechamiento en Colombia

Objetivos Específicos

Identificar los principales métodos de deshidratación aplicados a frutos rojos mediante una revisión de literatura científica reciente.

Evaluar el impacto de los métodos de deshidratación en las propiedades nutricionales y sensoriales de los frutos rojos, con el propósito de establecer estrategias para su aprovechamiento en el contexto colombiano.

Metodología

Tipo y Enfoque de Investigación

La presente monografía corresponde a una investigación documental de tipo descriptivo con enfoque cualitativo, fundamentada en la revisión sistemática de literatura científica. Este tipo de investigación permite analizar, sintetizar e interpretar información existente sobre un fenómeno específico, sin recurrir a la recolección de datos primarios en campo o laboratorio (Hernández-Sampieri et al., 2014). El enfoque cualitativo resulta apropiado para comprender las relaciones entre los métodos de deshidratación y sus efectos sobre las propiedades nutricionales y sensoriales de los frutos rojos, permitiendo la integración de hallazgos provenientes de múltiples fuentes científicas.

La revisión bibliográfica sistemática constituye una metodología rigurosa que sigue protocolos estandarizados para la identificación, selección y síntesis de evidencia científica (Page et al., 2021). A diferencia de las revisiones narrativas tradicionales, este enfoque minimiza los sesgos de selección mediante criterios explícitos de inclusión y exclusión, lo que otorga mayor transparencia y reproducibilidad al proceso investigativo.

Procedimiento Metodológico

El desarrollo de la investigación siguió las directrices establecidas en la Declaración PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), que proporciona una lista de verificación de 27 ítems y un diagrama de flujo de cuatro fases para la conducción y reporte de revisiones sistemáticas (Page et al., 2021).

El procedimiento se organizó de la siguiente manera: para la primera etapa, buscamos fuentes, en las cuales se realizó una búsqueda sistemática de literatura en las bases de datos científicas, como Scopus, Web of Science, PubMed, SciELO y Google Scholar, entre otras que

son aceptadas internacionalmente.

Las búsquedas se realizaron entre agosto y diciembre de 2024, empleando algunos de los términos principales en español e inglés, por ejemplo, deshidratación de frutos rojos, secado de bayas, propiedades nutricionales de la frambuesa, deshidratación de antocianinas, secado convectivo de mora, liofilización de arándano, pérdidas postcosecha de frutos rojos y sus expresiones en inglés (berry dehydration, drying methods raspberry, anthocyanin retention, convective drying blackberry, freeze-drying blueberry, postharvest losses berries).

La segunda etapa del proceso coincidió con el primer filtrado, considerando las limitaciones de tiempo para priorizar artículos publicados entre 2015 y 2025, a pesar de tener publicaciones seminales o muy relevantes en el pasado. Se consultaron los títulos y resúmenes para evaluar la relevancia de cada documento con el objetivo de la monografía.

La evaluación de elegibilidad se realizó mediante la lectura completa de los documentos seleccionados, siguiendo criterios claros de inclusión y exclusión en la tercera etapa. Se revisaron los textos completos y se confirmó la calidad metodológica de los estudios.

Finalmente, el cuarto paso fue la integración de la información extraída de los documentos como síntesis e integración, que se centró en categorías temáticas enfocadas de acuerdo con los objetivos de este estudio.

Criterios de Selección de Documentos

Los criterios de inclusión fueron los siguientes: estudios científicos publicados en revistas indexadas con revisión por pares, trabajos experimentales que evalúan técnicas de deshidratación en bayas (frambuesa, mora, fresa, arándano), informes sobre los efectos en las propiedades nutricionales (antocianinas, polifenoles, vitaminas, capacidad antioxidante) y propiedades sensoriales (color, textura, sabor), documentos en español, inglés o portugués, e

informes técnicos realizados por autoridades colombianas relacionados con la producción y poscosecha de bayas.

Como criterios de exclusión se definieron estudios que no especificaran parámetros de proceso (temperatura, tiempo, método), investigaciones enfocadas exclusivamente en aspectos agronómicos sin relación con poscosecha o procesamiento, artículos de opinión, editoriales o resúmenes de congresos sin datos originales, y documentos duplicados o versiones preliminares de estudios ya incluidos.

Fuentes de Información Consultadas

Las fuentes de información se clasificaron en tres categorías principales. Las fuentes primarias incluyeron artículos científicos originales publicados en revistas de alto impacto en el área de ciencia y tecnología de alimentos, tales como Food Chemistry, Drying Technology, LWT - Food Science and Technology, Journal of Food Science, Journal of Agricultural and Food Chemistry, y Journal of the Science of Food and Agriculture.

Las fuentes secundarias comprendieron artículos de revisión sistemática y meta-análisis sobre tecnologías de deshidratación y calidad de berries, así como capítulos de libros especializados en procesamiento de alimentos.

Las fuentes terciarias incluyeron bases de datos estadísticas oficiales como Agronet, el Sistema de Información de la Oferta Agropecuaria (SIOC) del Ministerio de Agricultura, y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), además de documentos de política pública como los CONPES relacionados con seguridad alimentaria y normativas técnicas colombianas.

Tratamiento y Análisis de la Información

La información recopilada fue organizada mediante matrices de análisis que permitieron sistematizar los hallazgos según las siguientes categorías: tipo de fruto rojo estudiado, método de deshidratación empleado, parámetros de proceso utilizados (temperatura, tiempo, velocidad de aire), compuestos bioactivos evaluados, porcentajes de retención o pérdida reportados, y cambios en atributos sensoriales.

El análisis de la información se realizó mediante la técnica de análisis de contenido, identificando patrones, coincidencias y divergencias entre los estudios revisados. Se prestó especial atención a la comparación de resultados entre diferentes métodos de deshidratación para establecer las condiciones óptimas de procesamiento que maximicen la retención de compuestos bioactivos y minimicen la degradación de atributos sensoriales.

Los resultados de la revisión bibliográfica se presentan de forma descriptiva y comparativa, utilizando tablas de síntesis que facilitan la visualización de los efectos de cada método sobre las propiedades nutricionales y sensoriales de los frutos rojos estudiados. Esta aproximación permite generar recomendaciones fundamentadas en evidencia científica para el aprovechamiento agroindustrial de estos frutos en el contexto colombiano.

Referentes Conceptuales

Generalidades de los Frutos Rojos

Son denominadas un tipo de frutas pequeñas, que tradicionalmente no se cultivaban, sino que crecían en arbustos silvestres del bosque, este fruto es una baya y hoy en día se cultivan en climas que varían entre los 12 grados centígrados y los 18 grados centígrados. Pueden ser dulces o ácidas, son jugosas y llamativas por sus tonos que varían del morado oscuro al rojo intenso; contienen grandes cantidades de carotenoides que son los responsables del color de estos frutos y de su alto poder antioxidante. Estos frutos tienen un bajo valor calórico y son ricas en vitamina C, que interviene en la formación de colágeno, huesos, dientes y glóbulos rojos; a la vez favorece la absorción del hierro de los alimentos y ofrece resistencia al organismo contra infecciones (Franky, 2012).

Figura 1

Variedad de frutos rojos



Nota. Fotografía ilustrativa de frutos rojos que incluye arándanos, frambuesas, moras y fresas. Adaptado de "Cuáles son los frutos rojos que retrasan el envejecimiento cognitivo", por La Nación, 2023 (<https://www.lanacion.com.ar>).

Estos alimentos constituyen una fuente importante de fibra dietaria, la cual favorece el tránsito intestinal y contribuye a la salud digestiva. Además, contienen taninos con acción astringente y propiedades protectoras a nivel cardiovascular. Su perfil mineral incluye potasio,

hierro y calcio, elementos esenciales para diversas funciones fisiológicas del organismo humano (Franky, 2012). Estudios recientes han confirmado que el contenido de compuestos fenólicos en frutos rojos frescos puede alcanzar hasta 200 mg por cada 100 g, destacándose los flavonoides, los ácidos fenólicos y los taninos como los principales responsables de su elevada capacidad antioxidante (Pateiro et al., 2022).

Arándano Azul (*Vaccinium corymbosum*)

Generalidades.

El arándano es un fruto originario del hemisferio norte, por décadas los habitantes de esta zona del planeta se acostumbraban a degustar los arándanos directamente de las plantas silvestres que crecían en los diferentes bosques de la región. Con el tiempo se creó una fuerte tradición de consumo de esta fruta en las más diversas preparaciones (Franky, 2012).

El arándano posee piel tersa y pulpa jugosa con aroma característico y sabor agridulce agradable al gusto (Aldaba et al., 2016). Se caracteriza por ser un arbusto cuyos frutos presentan color azul oscuro o rojizo, forma esférica y tamaño pequeño, con diámetros que oscilan entre 5 y 16 mm dependiendo de la variedad (Aldaba et al., 2016). Actualmente, gran parte del arándano que se consume a nivel mundial proviene de cultivos comerciales, aunque persiste la recolección de variedades silvestres en algunas regiones.

El arándano es cultivado tanto en Europa como en América, siendo el arándano alto (*Vaccinium corymbosum*) la especie de mayor importancia comercial. También se cultivan otras variedades en menor proporción, como el arándano ojo de conejo (*Vaccinium ashei*) y el arándano rojo o agrio (*Vaccinium macrocarpon*), cada uno con características organolépticas y requerimientos agroclimáticos particulares (Aldaba et al., 2016).

Debido a la mayor conciencia de las personas por el cuidado de la salud el contenido y la

actividad fisiológica de los compuestos fenólicos y fitoquímicos, el arándano ha llamado el interés de los consumidores, así como el de muchas líneas de investigación sobre el beneficio de su ingesta. Las frutas denominadas "Berrys", el arándano azul es el tipo de arándano más conocido en el mundo y en la actualidad representa el 54% de la superficie cultivada de arándanos a nivel global (Aldaba et al., 2016). El arándano se considera una buena fuente importante de compuestos fenólicos, son reconocidos por su poder antioxidante, su consumo contribuye a una disminución del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, inhibe el crecimiento de células cancerosas, así como prevenir enfermedades neurodegenerativas tales como la enfermedad de Alzheimer (Aldaba et al., 2016). De hecho, este fruto del bosque tiene muy pocas calorías dado su bajo nivel de hidratos de carbono. También destaca su contenido en vitamina C, fibra y minerales. Por otra parte, el mayor beneficio de esta fruta proviene de su concentración en antocianinas y proantocianidinas, sustancias con gran capacidad antioxidante y un enorme potencial anticancerígeno (Aldaba et al., 2016).

Figura 2

*Arándano azul (*Vaccinium corymbosum*)*



Nota. Frutos maduros de arándano azul mostrando su coloración característica. Adaptado de "Arándano, qué es, clases, dónde se encuentra y principios activos", por J. Cebrián, 2023, Webconsultas: Revista de Salud y Bienestar (<https://www.webconsultas.com>).

Descripción Botánica y Morfológica

Se denomina un arbusto perenne debido a que la planta mantiene sus hojas vivas y verdes durante todo el año, puede alcanzar en su madurez hasta tres metros de altura, además posee hojas que pueden variar entre 1 a 8 cm de largo, son de forma ovalada y de color verde pálido (Mesa, 2015).

Las flores de los arándanos contienen axilares o terminales y se abren solitarias o en racimo, estas son de color blanco, la corola es esférica de color verde y tiende a sobresalir sobre el estigma, de igual manera. La flor tiene de ocho a diez estambres que se encuentran insertados en la base de la corola (Mesa, 2015). Son una fruta de forma esférica que mide entre 1.5cm a 0.7 cm de diámetro, contiene secreciones cerosas y su color va dependiendo de la variedad, destacándose los colores azules, negros y morados, las bayas pueden llegar a tener hasta 100 semillas al interior del endocarpio. Adicionalmente cuenta con un sistema radicular, fibroso y superficial, no tiene pelos radiculares por lo tanto las raíces jóvenes son las encargadas de la absorción (Mesa, 2015).

Las raíces de los arándanos se asocian con los hongos *Hymenoscyph us ericae* o *Pezizella ericae* simbióticos los cuales incrementan la captación de los nutrientes y eficiencia de aplicación de fertilizantes de suelo, también mejora el uso del agua y protegen principalmente la planta de elementos tóxicos como aluminio la cual la concentración incrementa cuando el pH disminuye (Mesa, 2015).

Clasificación Taxonómica.

Según (Mesa, 2015) reporta que el arándano taxonómicamente se clasifica así:

Tabla 1

Clasificación taxonómica del arándano azul (Vaccinium corymbosum): comparación entre fuentes

Categoría taxonómica	Mesa (2015)	ITIS (2024)
Reino	Vegetal	<i>Plantae</i>
Subreino	—	<i>Viridiplantae</i>
Infrarreino	—	<i>Streptophyta</i>
Superdivisión	—	<i>Embryophyta</i>
División	Pterophytas	<i>Tracheophyta</i>
Subdivisión	Angiosperma	<i>Spermatophytina</i>
Clase	Dicotiledónae	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	Dilleniidae	—
Superorden	—	<i>Asteranae</i>
Orden	Ericales	<i>Ericales</i>
Familia	Ericaceae	<i>Ericaceae</i>
Subfamilia	Vaccinioidea	<i>Vaccinioideae</i>
Tribu	Vaccinieae	<i>Vaccinieae</i>
Género	<i>Vaccinium</i>	<i>Vaccinium L.</i>
Especie	<i>V. corymbosum</i> × <i>V. darrowii</i>	<i>Vaccinium corymbosum L.</i>

Nota. La columna "Mesa (2015)" corresponde a la fuente citada en el documento original. La columna "ITIS (2024)" presenta la clasificación según el Integrated Taxonomic Information System (<https://www.itis.gov>, TSN 23573). El término "Pterophytas" en la fuente original es taxonómicamente incorrecto, ya que corresponde a helechos y no a angiospermas. La indicación de híbrido (*V. corymbosum* × *V. darrowii*) en Mesa (2015) hace referencia a variedades comerciales desarrolladas para adaptación a climas subtropicales.

Producción a Nivel Mundial – Nacional.

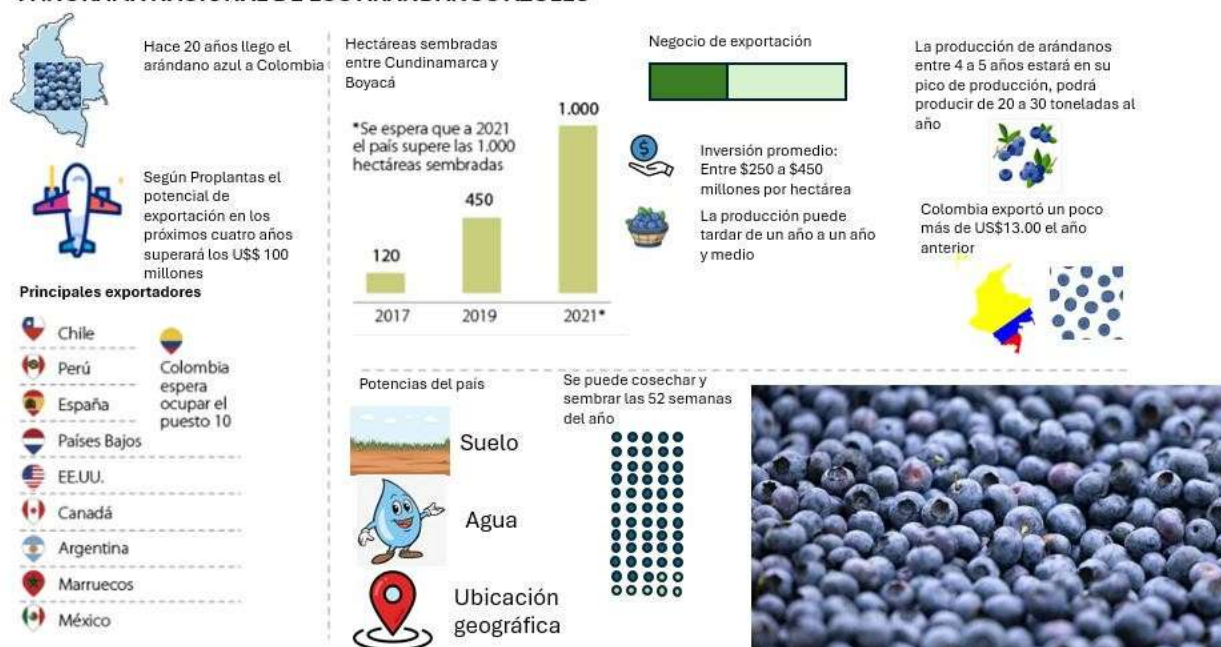
A nivel internacional el mercado del arándano durante el año 2019 alcanzó cifras alrededor de US\$732,7 millones en exportaciones a nivel mundial, mostrando un crecimiento de

46,5% al cierre del mismo año. En los últimos se ha venido generando un crecimiento exponencial en la producción de Perú, país que se ha posicionado como el mayor exportador a nivel mundial en arándano durante el año 2020, pero no es el único que ha presentado crecimiento, dado que países como Chile, España, Países bajos, Estados Unidos, Canadá, Argentina, Marruecos y México han presentado un crecimiento continuo en los últimos años (Ibarra, 2021)

Figura 3

Panorama de la producción y exportación de arándano azul en Colombia (2021)

PANORAMA NACIONAL DE LOS ARÁNDANOS AZULES



Nota. Síntesis de indicadores productivos y comerciales del arándano en Colombia. Elaboración propia con base en datos de Ibarra (2021) y estadísticas del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - SIOC (2021).

v Se considera que el arándano azul es un fruto especial a nivel nacional debido a los beneficios que tiene por el alto contenido de nutrientes, desde el año 2009 se aprobó el cultivo agroindustrial en Colombia, desde ese momento tanto los cultivos y los cultivadores han ido creciendo debido a las nuevas tendencias del cuidado de la salud. El sector que consume arándanos de la población va cada vez en aumento, tanto para consumo como para la industria

medicinal (Ibarra, 2021).

En el país los cultivos de arándanos se ubican en su gran mayoría en la región del Altiplano Cundiboyacense por sus condiciones perfectas de producción por encima de los 2200 metros, es por esta razón que las frutas logran acumular más azúcares lo que las hace más atractivas para los mercados internacionales (Ibarra, 2021).

De acuerdo con la Figura 3, se logra evidenciar que Colombia tiene grandes expectativas sobre las posibilidades para la exportación de este producto, según la imagen en el año 2021 lo ideal es tener más de 1000 hectáreas sembradas para una producción de 7.700 toneladas lo que generaría una exportación aproximada superior a los US\$100 millones (Ibarra, 2021).

Fresa (*Fragaria* × *ananassa*)

Generalidades.

La fresa es una especie originaria de Europa, principalmente de zonas templadas. Su cultivo comenzó a desarrollarse en Francia hacia el siglo XV y, con el paso del tiempo, su producción y consumo se extendieron a otras regiones de Europa y posteriormente al continente americano, debido a la expansión realizada por exploradores y colonizadores europeos (Editores de Britannica., 2023).

Desde el punto de vista botánico, la fresa no se considera un fruto verdadero, sino que corresponde a un engrosamiento del receptáculo floral. Esta estructura carnosa tiene la función de sostener los verdaderos frutos de la planta, denominados aquenios, los cuales se encuentran distribuidos en la superficie y pueden presentarse en cantidades aproximadas entre 150 y 200 por cada fresa (Editores de Britannica., 2023).

En cuanto a sus características físicas, la fresa puede presentar una forma cónica o ligeramente redondeada, con un tamaño que varía según la variedad, alcanzando diámetros

aproximados entre 15 y 22 mm. Se distingue por su color rojo intenso, su aroma característico y su sabor, el cual puede variar de ácido a dulce, siendo atributos sensoriales valorados por el consumidor (Editores de Britannica., 2023).

Desde el aspecto nutricional, la fresa se caracteriza por su bajo aporte energético, siendo los hidratos de carbono su principal componente. Además, es una fuente importante de vitamina C, con contenidos que pueden ser superiores a los de algunos cítricos como la naranja. También contiene diversos ácidos orgánicos, entre ellos el ácido cítrico, málico, oxálico y pequeñas cantidades de ácido salicílico (Moreiras et al., 2013).

El color de la fresa es debido a unos pigmentos vegetales (Flavonoides) conocidos como antocianinas, también se constituyen como una de las frutas con mayor capacidad antioxidante, con presencia de polifenoles (ácido elágico) que ayudan como antiinflamatorio y previene el fotoenvejecimiento.

Figura 4

Frutos de fresa (Fragaria × ananassa)



Nota. Fresas maduras mostrando su forma cónica característica y aquenios distribuidos en la superficie. Imagen con fines ilustrativos. Fuente: Archivo fotográfico comercial.

Descripción Botánica y Morfológica.

La fresa se define como una especie hortícola herbácea perenne de vida relativamente corta. Se caracteriza porque las hojas y demás órganos vegetativos se desarrollan a partir de la corona, estructura leñosa que constituye el eje central de la planta. Su ciclo productivo comercial generalmente abarca entre uno y tres años, dependiendo de las condiciones de manejo y la variedad cultivada (Hancock, 1999; CCB, 2015).

Las flores se pueden llegar agrupar en inflorescencias de 5 a 6 pétalos y la misma cantidad de pétalos de color blanco, cuenta con una corona roseta de aproximadamente 2,5 cm en la cual contiene tejidos vasculares, en la base contiene hojas y yemas que pueden generar coronas nuevas, con respecto a la raíz, se encuentra de un aspecto fibroso, las raíces estructurales sirven como soporte y se originan en la corona. Las raíces terciarias absorben agua y nutrientes, y aproximadamente el 90% del sistema radicular se desarrolla en los primeros 30 cm de profundidad del suelo. Esta distribución superficial facilita que, del tallo o estolón rastrero, que brota de la corona a partir del segundo nudo, se forme una nueva planta hija mediante propagación vegetativa (Cámara de Comercio de Bogotá [CCB], 2015).

Durante el ciclo fenológico del cultivo se definen que se recomienda hacerlo al inicio de la época de lluvias, con el fin de asegurar la adaptación del cultivo y garantizar el desarrollo de la planta, preferiblemente la recolección de se lleva a cabo en época seca (CCB, 2015).

Clasificación Taxonómica.

Según (Zaragoza, R. 2013), reporta que la fresa taxonómicamente se clasifica así:

Tabla 2

Clasificación taxonómica de la fresa (Fragaria × ananassa): comparación entre fuentes

Categoría taxonómica	Zaragoza (2013)	ITIS (2024)
Reino	Plantae	Plantae
Superreino	Eukaryota	—
Subreino	Embryobionta	Viridiplantae
Infrarreino	—	Streptophyta
Superdivisión	—	Embryophyta
División	Magnoliophyta	Tracheophyta
Subdivisión	—	Spermatophytina
Clase	Magnoliopsida	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae	—
Superorden	—	Rosanae
Orden	Rosales	Rosales
Familia	Rosaceae	Rosaceae
Subfamilia	Rosoideae	Rosoideae
Tribu	Potentilleae	Potentilleae
Subtribu	Fragariinae	Fragariinae
Género	Fragaria	Fragaria L.
Especie	F. ananassa	Fragaria × ananassa (Weston) Duchesne ex Rozier

Nota. La columna "Zaragoza (2013)" corresponde a la fuente citada en el documento original. La columna "ITIS (2024)" presenta la clasificación según el Integrated Taxonomic Information System (<https://www.itis.gov>, TSN 24630). La fresa cultivada es un híbrido interespecífico entre *Fragaria chiloensis* y *Fragaria virginiana*, originado en Europa en el siglo XVIII. La notación correcta incluye el símbolo "×" para indicar su origen híbrido.

Producción a Nivel Mundial – Nacional.

A nivel mundial, durante el año 2013 los principales países importadores de fresa fueron Reino Unido con 470.770 toneladas anuales, Canadá con 123.463 toneladas, Estados Unidos con

110.457 toneladas, Francia con 90.587 toneladas y Países Bajos con 28.937 toneladas (CCB, 2015).

Tabla 3

Principales países importadores de fresa a nivel mundial (2013)

País	Importaciones (toneladas)
Reino Unido	470.770
Canadá	123.463
Estados Unidos	110.457
Francia	90.587
Países Bajos	28.937

Nota. Elaboración propia con base en datos de comercio internacional reportados por CCB (2015).

La producción de fresa mantiene una demanda sostenida debido a su perfil nutricional, que incluye altos contenidos de vitamina C, vitamina B6, hierro, cobre, magnesio y fósforo (Moreiras et al., 2013). Según datos de la Cámara de Comercio de Bogotá, para el año 2013 Colombia produjo 42.453 toneladas de fresa, siendo Cundinamarca el departamento con mayor participación con 22.562 toneladas, seguido por Antioquia con 12.545 toneladas, Norte de Santander con 3.360 toneladas, Cauca con 2.808 toneladas y Boyacá con 542 toneladas (CCB, 2015).

Tabla 4

Principales departamentos productores a nivel nacional (2013)

Departamento	Producción (toneladas)	Participación (%)
Cundinamarca	22.562	53.1
Antioquia	12.545	29.5
Norte de Santander	3.360	7.9
Cauca	2.808	6.6
Boyacá	542	1.3

Otros	636	1.6
Total nacional	42.453	100.0

Nota. Elaboración propia con base en datos de la Cámara de Comercio de Bogotá - CCB (2015) y estadísticas del Ministerio de Agricultura.

Mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth)

Generalidades.

La mora de castilla es uno de los frutos que se ha convertido en una alternativa agrícola en regiones del país con clima frío. El cultivo de la mora a pesar de la demanda y las extensiones de siembra que existen en el momento es una especie que tiene gran acogida en el sector por sus altos contenidos de vitaminas y propiedades para el bienestar humano. (German, F. Giraldo, M. 2010). Es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las rosáceas, las especies más conocidas en Colombia son la del género *Rubus* y se cultivan en Antioquia, Cundinamarca, Boyacá, Valle y la sabana de Bogotá. (German, F. Giraldo, M. 2010)

Las condiciones ambientales óptimas para el desarrollo de la mora de Castilla comprenden altitudes entre 1800 y 2400 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas que oscilan entre 11 y 18 grados centígrados. Por encima de los 2400 metros, los rendimientos disminuyen y se afecta tanto la calidad como el tamaño de los frutos. En cuanto al suelo, el ideal para este cultivo corresponde a suelos de textura franca, con buena capacidad de retención de humedad, ricos en materia orgánica y con un pH ligeramente ácido entre 5,5 y 6,5. Aunque la mora puede desarrollarse en suelos ácidos, requiere disponibilidad adecuada de macronutrientes, particularmente nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, para alcanzar rendimientos comerciales satisfactorios (Germán & Giraldo, 2010).

Figura 5*Mora de Castilla (Rubus glaucus Benth)*

Nota. Frutos maduros de mora de Castilla mostrando su coloración característica púrpura oscuro. Imagen con fines ilustrativos. Fuente: Archivo fotográfico.

Descripción Botánica y Morfología.

Las moras es una planta de habito perenne, de tallos rastreros o semi erguidos, espinosos, hojas trifoliadas, lanceoladas, verdes por el haz y vellosa por el envés, las ramas florecen en racimos terminales, las flores son blancas de estambres numerosos y se auto fecundan (Germán, F. Giraldo, M. 2010)

Los frutos se pueden encontrar de 2 a 4 cm, longitud de color que va de rojo a morando intenso en racimos largos sobre tallos y ramas secundarias, en la maduración los frutos lo hacen de manera dispareja por que la floración no es homogénea (Germán, F. Giraldo, M. 2010).

La propagación de las semillas se realiza en un tiempo de seis meses aproximadamente, de los cuales tres corresponden a semillero y tres corresponden a vivero, una vez germinadas, las plántulas con débiles, muy susceptibles a enfermedades y de lento crecimiento, se trasplanta a bolsa cuando la tercera hoja verdadera está formada (Germán, F. Giraldo, M. 2010).

Clasificación Taxonómica.

Según Salcedo, D. (2019), reporta que la mora taxonómicamente se clasifica así:

Clasificación taxonómica de la mora de Castilla (*Rubus glaucus*): comparación entre fuentes

Tabla 5

Clasificación taxonómica de la mora de Castilla (Rubus glaucus): comparación entre fuentes

Categoría taxonómica	Salcedo (2019)	ITIS (2024)
Reino	Vegetal	Plantae
Subreino	—	Viridiplantae
Infrarreino	—	Streptophyta
Superdivisión	—	Embryophyta
División	Antofita	Tracheophyta
Subdivisión	—	Spermatophytina
Clase	Dicotiledónea	Magnoliopsida
Subclase	Arquiclamídea	—
Superorden	—	Rosanae
Orden	Rosales	Rosales
Familia	Rosaceae	Rosaceae
Subfamilia	—	Rosoideae
Tribu	—	Rubeae
Género	Rubus	Rubus L.
Subgénero	Eubatus	Rubus
Especie	glaucus	Rubus glaucus Benth.
Nombre científico	Rubus glaucus Benth	Rubus glaucus Benth.

Nota. La columna "Salcedo (2019)" corresponde a la fuente citada en el documento original. La columna "ITIS (2024)" presenta la clasificación según el Integrated Taxonomic Information System (<https://www.itis.gov>, TSN 506228). El término "Antofita" en la fuente original corresponde a nomenclatura tradicional equivalente a angiospermas. *Rubus glaucus* Benth. fue descrita originalmente por George Bentham en 1845 con base en colecciones de la región andina del actual Ecuador. La especie es tetraploide y presenta apomixis, lo que contribuye a su estabilidad genética en cultivos comerciales.

Producción a Nivel Mundial – Nacional.

A nivel mundial, la producción de mora y otras especies del género *Rubus* ha experimentado un crecimiento sostenido durante las últimas décadas. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, la producción global de moras y frambuesas alcanzó aproximadamente 900.000 toneladas anuales en 2021, con México, Serbia, Polonia y Estados Unidos como los principales productores. El mercado internacional de estas frutas se caracteriza por una demanda creciente impulsada por el reconocimiento de sus propiedades funcionales y su versatilidad para el procesamiento agroindustrial (FAO, 2023).

En el contexto nacional, Colombia presenta dos núcleos principales de producción de mora con potencial para el desarrollo de mercados internos y externos: la región andina central (Cundinamarca, Boyacá, Santander) y la zona cafetera (Antioquia, Caldas, Risaralda). Estas regiones concentran ventajas comparativas derivadas de condiciones agroclimáticas favorables y tradición productiva establecida. Según estadísticas del Ministerio de Agricultura (2021), la producción nacional alcanzó 143.773 toneladas en 2020, con un área cosechada de 14.603 hectáreas y un rendimiento promedio de 7 toneladas por hectárea.

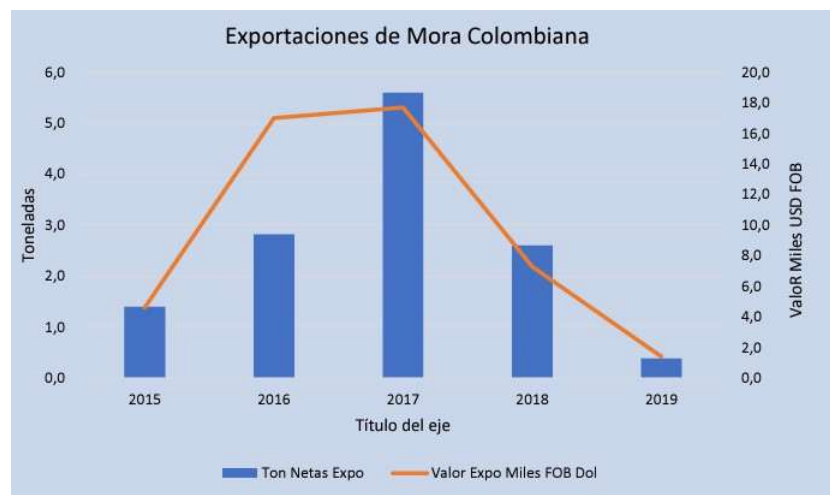
Aproximadamente el 55% de la producción colombiana se comercializa en fresco para consumo directo en supermercados y plazas de mercado, donde se utiliza principalmente para la preparación de bebidas y dulces. Cerca del 20% se destina a la agroindustria para la elaboración de jugos, pulpas, mermeladas, conservas, confites y colorantes naturales (Ministerio de Agricultura, 2021).

Las exportaciones de Mora son principalmente en fresco, mientras que la totalidad de las importaciones son de mora con algún nivel de transformación.

Tabla 6*Evolución de la balanza comercial de mora en Colombia (2015-2019)*

	2015	2016	2017	2018	2019	Total
Ton Netas Expo	1,4	2,8	5,6	2,6	1	13,4
Ton Netas Impo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Balanza Comercial	1,4	2,8	5,6	2,6	1,	13,4

Nota. El comercio exterior de mora presenta balanza comercial positiva, con exportaciones principalmente en fresco e importaciones de producto con algún nivel de transformación. Elaboración propia con base en datos del Sistema de Información de la Oferta Agropecuaria - SIOC, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021).

Figura 6*Distribución de exportaciones e importaciones de mora por tipo de producto*

Nota. Las exportaciones corresponden principalmente a mora fresca, mientras que las importaciones se concentran en productos procesados. Elaboración propia con base en datos de Minagricultura - SIOC (2021).

Habiendo caracterizado las tres primeras especies de frutos rojos cultivadas en Colombia (arándano, fresa y mora de Castilla), corresponde ahora abordar la frambuesa, especie que, si bien presenta menor tradición productiva en el país, ha mostrado un crecimiento sostenido que la posiciona como cultivo emergente de interés agroindustrial. Al igual que las especies anteriores,

la frambuesa comparte la alta percibibilidad característica de los frutos rojos, lo que hace pertinente el análisis de tecnologías de deshidratación para su aprovechamiento.

Frambuesa (*Rubus idaeus*)

Generalidades.

La frambuesa es una frutilla y están en el género *Rubus Idaeus*. de la familia Rosaceae los taxonomistas reconocen 12 subgéneros dentro de *Rubus*, pero las frambuesas pertenecientes al subgénero *Idaeobatus* especialmente caracterizado porque los frutos maduros se separan del receptáculo han adquirido significado comercial (Lara. I. 2023).

El fruto de la frambuesa es redondo, pequeño y cónico, con una base que no excede los 2 centímetros de diámetro. La piel de esta fruta que la recubre es de textura aterciopelada y suave, en frutos jóvenes luce entre roja, amarilla y verde, pero al alcanzar la madurez, se da un rojo intenso (Lara. I. 2023)

Las primeras frambuesas cultivadas datan de hace aproximadamente 500 años, que la convierte en un cultivo realmente nuevo, la frambuesa roja europea, así como entre otras especies asiáticas llegaron a las colonias americanas en el siglo XVIII y durante los siglos XIX y XX se comenzó a realizar el cruce de diferentes variedades silvestres para mejorar las características tanto como en tamaño como a la resistencia de enfermedades (Lara. I. 2023).

Descripción Botánica y Morfológica.

Es un arbusto de aproximadamente 40 a 60 cm de altura que crece en lugares pedregosos de las montañas, cuenta con un tallo subterráneo y corto que emite ramas aéreas de dos años de vida, normalmente se desarrollan durante el primer año y en el segundo florecen y dan fruto, de igual forma en el segundo año la corteza se vuelve de un color grisáceo (Lara. I. 2023). En las raíces en su mayoría son finas y otras más gruesas leñosas que sirven de soporte a la planta, en la

parte de las hojas están compuestas por hojas alternas y formadas por 5-7 foliolos ovales con un color verde intenso y con bastante velocidad con algunas espinas (Lara. I. 2023).

Clasificación Taxonómica.

Según (Lara. I. 2023), reporta que la frambuesa taxonómicamente se clasifica así:

Tabla 7

Clasificación taxonómica de la frambuesa (Rubus idaeus): comparación entre fuentes

Categoría taxonómica	Lara (2023)	ITIS (2024)
Subreino	Eukaryota	Viridiplantae
Reino	Viridiplantae	Plantae
Filo	Streptophyta	—
Infrarreino	—	Streptophyta
Superdivisión	—	Embryophyta
División	—	Tracheophyta
Subdivisión	—	Spermatophytina
Subfilo	Streptophytina	—
Clase	—	Magnoliopsida
Subclase	Rosids	—
Superorden	—	Rosanae
Orden	Rosales	Rosales
Familia	Rosaceae	Rosaceae
Subfamilia	Rosoideae	Rosoideae
Tribu	—	Rubeae
Género	Rubus	Rubus L.
Especie	Rubus idaeus	Rubus idaeus L.

Nota. La columna "Lara (2023)" corresponde a la fuente citada en el documento original. La columna "ITIS (2024)" presenta la clasificación según el Integrated Taxonomic Information System (<https://www.itis.gov>, TSN 24947). Se observan diferencias significativas en la jerarquía taxonómica entre ambas fuentes, particularmente en el uso de "Filo" versus "División" y en la ubicación del término "Eukaryota". *Rubus idaeus* L. fue descrita por Carlos Linneo en 1753. La especie incluye dos subespecies principales: *R. idaeus* subsp. *idaeus* (frambuesa europea) y *R. idaeus* subsp. *strigosus* (frambuesa americana).

Producción a Nivel Mundial – Nacional.

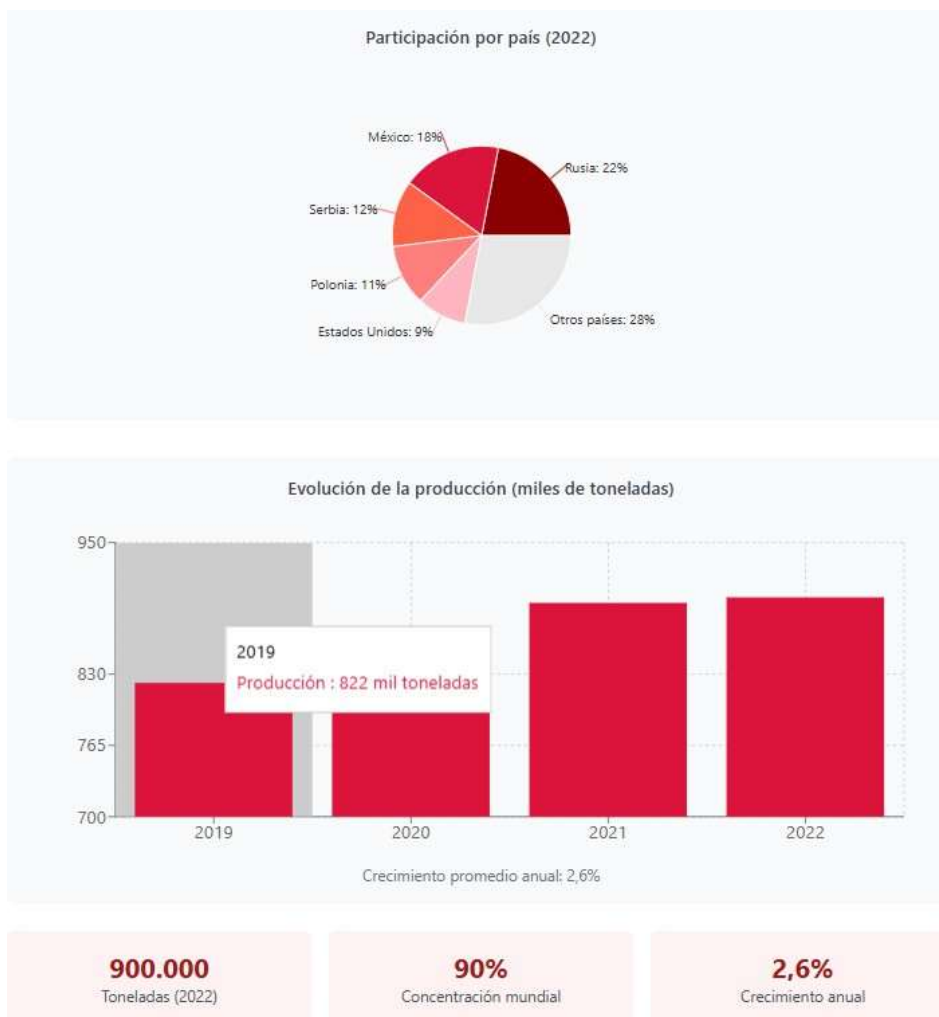
La producción mundial de frambuesa se sitúa entre 900.000 y 1.000.000 de toneladas anuales, concentrándose aproximadamente el 90% en un grupo reducido de países productores. Durante el período 2019-2022, la producción global creció a una tasa promedio anual superior al 2,6%, aunque el consumo mundial atraviesa una etapa de demanda insatisfecha que origina precios elevados en mercados de países desarrollados. Rusia lidera la producción mundial con el 22% del volumen total, seguido por México con el 18%, Serbia con el 12% y Polonia con el 11% (FAO, 2023; Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú, 2024).

En el contexto colombiano, los cultivos de frambuesa no presentan extensiones significativas comparadas con otros frutos rojos como la mora o la fresa. El sector cundiboyacense registra la mayor productividad del país debido a las condiciones agroclimáticas favorables para este cultivo, que requiere temperaturas entre 14 y 18 °C y altitudes superiores a 2.000 metros sobre el nivel del mar. La producción se orienta principalmente al mercado de producto fresco y congelado, con un rendimiento aproximado de 20 toneladas por hectárea al año, del cual cerca del 65% se comercializa como fruta fresca (Malagón, 2012; Agronet, 2026).

El crecimiento del cultivo de frambuesa en Colombia ha sido impulsado por el reconocimiento de sus beneficios nutricionales y funcionales, así como por las oportunidades de diversificación que ofrece a los productores de la región andina. Sin embargo, la alta perecibilidad de este fruto, con una vida útil que no supera los 7 días bajo refrigeración óptima, representa un desafío significativo que limita su expansión comercial y justifica la exploración de alternativas de conservación como la deshidratación (Shah et al., 2023).

Figura 7

Distribución de la producción mundial de frambuesa por países



Nota. La producción mundial de frambuesa se sitúa entre 900.000 y 1.000.000 de toneladas anuales. Rusia lidera con el 22% del volumen total, seguido por México (18%), Serbia (12%) y Polonia (11%). Durante el período 2019-2022, la producción mundial creció a una tasa promedio anual superior al 2,6%. Elaboración propia con base en datos del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú (2024) y FAO (2023).

Pérdidas Postcosecha en Frutos Rojos

Definición y Magnitud del Problema

Las pérdidas postcosecha constituyen uno de los principales desafíos para la cadena productiva de frutos rojos a nivel mundial. Se definen como la disminución cuantitativa o cualitativa de los productos agrícolas que ocurre entre el momento de la cosecha y el consumo

final, abarcando todas las etapas intermedias de manejo, almacenamiento, procesamiento, transporte y distribución (FAO, 2019). En el caso específico de los frutos rojos, estas pérdidas adquieren particular relevancia debido a las características intrínsecas de perecibilidad que presentan estas especies.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, alrededor del 13.8% de los alimentos se desperdician desde el nivel posterior a la cosecha hasta el nivel minorista a escala global (FAO, 2019), aunque este número es mucho más alto para frutas y verduras con una pérdida que típicamente fluctúa entre el 28% y el 55% (Opara et al., 2023). Este escenario es un desperdicio no solo de recursos económicos sino también de insumos agrícolas: agua, energía y mano de obra utilizados para la producción.

En América Latina, las pérdidas postcosecha de frutas y verduras son especialmente altas, ya que la infraestructura de almacenamiento en tiendas refrigeradas es limitada y las cadenas de frío no están bien establecidas, los sistemas de transporte son deficientes y pocas tecnologías de conservación son accesibles para pequeños y medianos productores. En Colombia, 6.08 millones de toneladas de pérdidas y desperdicios de alimentos equivalen al 58% del total, representando aproximadamente 9.76 millones de toneladas por año reportadas por el Departamento Nacional de Planeación (2016). El 64% del volumen total perdido se da en las etapas de producción, post-cosecha y almacenamiento, mientras que el 19.8% se genera solo durante la etapa post-cosecha.

En cuanto a las bayas, Shah et al. (2023) registraron que las pérdidas post-cosecha de bayas variaron entre el 30% y el 60% según la especie, los procedimientos de manejo y la etapa de la cadena de suministro en la que se pesan las pérdidas. García et al. (2020), quienes reportaron cifras aún más preocupantes para el caso colombiano, mostraron que las pérdidas post-cosecha de mora de Castilla pueden superar el 70% del volumen de producción en ciertas

áreas del país. Tales pérdidas tienen un impacto económico global estimado de aproximadamente 750 mil millones de dólares por año en toda la lista de frutas y verduras (Opara et al., 2023).

Factores que Contribuyen a las Pérdidas Postcosecha

Factores Intrínsecos de los Frutos Rojos

Los frutos rojos son fisiológica y estructuralmente vulnerables a la descomposición postcosecha. Una causa intrínseca importante es su alta tasa respiratoria, que acelera su metabolismo y acorta su vida útil. Uno de estos frutos con una alta tasa respiratoria son las frambuesas, que tienen una de las tasas respiratorias más altas entre las frutas, limitando su tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente a 2-3 días y hasta 7 días bajo refrigeración óptima a 0 °C con 90-95% de humedad relativa del aire (Huynh et al., 2019; Shah et al., 2023).

Otra consideración crítica es la estructura frágil de estos frutos. Estos frutos rojos no tienen una cutícula protectora gruesa, y su epidermis es mucho más delgada y permeable, lo que permite que el agua se evapore libremente y proporciona solo una pequeña barrera contra los microorganismos patógenos invasores. Además, como tienen un contenido de agua de más del 85% cuando están frescos, son particularmente vulnerables a daños mecánicos durante la cosecha, el embalaje y el envío.

Los compuestos bioactivos (en particular antocianinas y polifenoles), aunque poseen un valor nutricional atractivo, también son fuentes de inestabilidad. Estos pigmentos están influenciados por elementos ambientales, temperatura, luz, oxígeno y pH, lo que resulta en variaciones de color que tienen un impacto negativo en la aceptabilidad comercial del producto, incluso si no existe una alteración microbiológica significativa (Huang, et al., 2012).

Factores Asociados a la Cosecha

El momento y la técnica de la cosecha juegan un papel importante en cómo se comportarán las frutas rojas después de la cosecha. Cosechar en un nivel de madurez inadecuado, ya sea prematuramente o demasiado maduro, limita tanto su calidad sensorial como su vida útil. Las frutas recolectadas demasiado pronto no obtienen sus propiedades organolépticas completamente formadas, mientras que las recolectadas demasiado tarde en su madurez son propensas al deterioro mecánico y al ataque de hongos. Otra fuente clave de pérdidas es el manejo durante la cosecha.

Las frutas rojas son frágiles, por lo que necesitan una recolección manual cuidadosa y el uso excesivo de manos aplastantes o ásperas puede resultar en lesiones celulares que hacen que se estropeen más rápido. Las heridas y magulladuras resultantes se convierten en puntos de entrada para microorganismos patógenos y sitios donde comienzan las reacciones de pardeamiento enzimático.

También hay influencias en la calidad postcosecha en el entorno de la cosecha. Cosechar en lugares calurosos aumenta la tasa respiratoria y la senescencia; además, la presencia de rocío y lluvia durante la cosecha aumentará la susceptibilidad a enfermedades fúngicas. Debido a estas consideraciones, se recomienda la cosecha temprano en la mañana cuando la temperatura es baja y todas las frutas han perdido el rocío nocturno.

Factores Asociados al Acondicionamiento

El acondicionamiento insuficiente después de la cosecha contribuye significativamente a las pérdidas en las bayas. El retraso en el preenfriamiento después de la cosecha mantiene una tasa respiratoria elevada y una producción de etileno por parte de las frutas, lo que resulta en un rápido deterioro. Se estima que cada hora de retraso en el enfriamiento puede reducir la vida útil

en aproximadamente un día, dependiendo de las condiciones ambientales.

La selección y clasificación incorrectas resultan en la mezcla de frutas enfermas comprometidas o frutas que muestran síntomas iniciales de enfermedades con frutas sanas, lo que a su vez facilita la propagación de patógenos durante el almacenamiento y el transporte. El empaquetado en contenedores inapropiados (por ejemplo, contenedores llenos en exceso o sin la ventilación adecuada) puede causar de manera similar daños por compresión en las capas inferiores y dificultar la eliminación del calor del campo.

Factores Asociados a la Conservación y Almacenamiento

La vida útil de las bayas se ve afectada por las condiciones de almacenamiento durante el tiempo que las bayas están almacenadas. El factor más importante es la temperatura, ya que determina directamente la tasa metabólica de los procesos biológicos y el crecimiento de microorganismos. El almacenamiento a temperaturas superiores a las óptimas acelera la degradación exponencialmente, mientras que temperaturas excesivamente bajas pueden causar daños por frío en especies particulares.

Las condiciones de almacenamiento del entorno deben mantener una alta humedad relativa, del 90 al 95 por ciento, para reducir las pérdidas de agua debido a la transpiración. Sin embargo, las gotas que se forman en la superficie de la fruta favorecen el crecimiento de enfermedades fúngicas patógenas, por lo que se debe mantener una adecuada circulación de aire para evitar la formación de películas de agua. La composición del entorno de almacenamiento también modifica la conservación.

Las atmósferas modificadas, con disminución de oxígeno y aumento de dióxido de carbono, pueden extender la vida útil de las bayas, reduciendo la tasa respiratoria y retrasando la senescencia. Sin embargo, concentraciones inadecuadas pueden inducir fermentación anaeróbica,

el desarrollo de sabores desagradables o daños fisiológicos.

Factores Asociados al Transporte y Distribución

El transporte es un proceso importante, y si la temperatura y la humedad no se mantienen adecuadas y suficientes, se producirán pérdidas severas. Las interrupciones en la cadena de frío, la vibración durante el tránsito y los tiempos de transporte son otros factores que degradan las bayas. Bajo las condiciones colombianas, por ejemplo, la debilidad de la infraestructura vial y la topografía montañosa en las principales zonas de producción dificultan el transporte refrigerado eficiente, causando tiempos de tránsito prolongados y exposición a condiciones ambientales adversas. Esto presenta un problema particular para los pequeños productores que a menudo no tienen acceso a vehículos refrigerados y cuyos productos necesitan ser comercializados en mercados locales con espacio de almacenamiento limitado (Huynh, et al., 2019).

Alteraciones Bioquímicas Durante la Postcosecha

Respiración y Metabolismo Energético

La respiración es un evento metabólico que está involucrado en la tasa de deterioro de la fruta. La respiración juega un papel central en la degradación postcosecha del tejido de las bayas y es responsable del deterioro. De esta manera, todos los carbohidratos almacenados en nuestras células se oxidan lentamente para generar la energía necesaria para la respiración celular y recibiremos dióxido de carbono, agua y calor como subproductos (Huynh, et al., 2019).

El ritmo depende de la temperatura, el nivel de oxígeno, el estado de madurez y las características varietales. Las bayas se denominan no climatéricas, lo que significa que durante el proceso de maduración no demuestran un aumento abrupto en la tasa respiratoria y la producción de etileno, a diferencia de las frutas climatéricas como los plátanos o las manzanas. Sin embargo, mantienen tasas respiratorias relativamente altas que agotan gradualmente las reservas de energía

y conducen a la senescencia. Para las fresas, Iriarte y Giner (2014) utilizaron ecuaciones tipo Michaelis-Menten para modelar su tasa respiratoria y mostraron una fuerte dependencia de la temperatura que es similar a un modelo tipo Arrhenius.

Degradación de Antocianinas y Cambios de Color

Las antocianinas son los pigmentos que dan color a los frutos rojos, los cuales varían según la especie y el tipo, desde un rojo brillante hasta un púrpura oscuro. Química y estructuralmente, pertenecen al grupo de los flavonoides, y los compuestos son susceptibles a múltiples factores de degradación.

Tan et al. (2021) informaron que los principales procesos involucrados en la degradación de la antocianina después de la cosecha son la oxidación directa por oxígeno molecular, la actividad enzimática por polifenol oxidasa y peroxidasa, y varias reacciones de condensación con otros constituyentes fenólicos. La temperatura también juega un papel crítico, ya que Buckow et al. (2010) encontraron que la vida media de las antocianinas del arándano a pH 3 se redujo significativamente por la temperatura: 265 días a 10°C, 87 días a 20°C, 23 días a 30°C, y solo 9 días a 40°C.

La degradación de las antocianinas se evidencia más a menudo visualmente en forma de pérdida de la coloración característica y un tono marrón o amarillento, lo que da menos visibilidad y aceptabilidad comercial del producto. Esto puede ser el caso incluso si la fruta tiene propiedades microbiológicas satisfactorias; estos pigmentos deben conservarse durante el tratamiento post-cosecha.

Pardeamiento Enzimático

El pardeamiento enzimático es uno de los cambios bioquímicos dominantes en los frutos rojos y representa aproximadamente el 50% de las pérdidas en algunos frutos tropicales y

subtropicales (Sui et al., 2023; Moon et al., 2020). Un proceso enzimático comienza cuando las enzimas polifenol oxidasa (PPO) y peroxidasa (POD), normalmente compartimentadas en los plastidios, entran en contacto con sus sustratos fenólicos ubicados en las vacuolas debido a daños celulares por corte, magulladuras o senescencia.

La reacción de pardeamiento enzimático consiste en la oxidación de compuestos fenólicos, incluyendo catequinas, ácido clorogénico y catecol, a sus quinonas, que se polimerizan para producir melaninas de color marrón. Este proceso no solo afecta la apariencia de un producto, sino que también puede modificar su sabor, textura y calidad nutricional, ya que las sustancias fenólicas que son capaces de actividad antioxidante se degradan fácilmente mediante este método.

El pardeamiento enzimático se puede controlar mediante la exclusión de oxígeno, la reducción de la temperatura, la acidificación del medio, la aplicación de agentes reductores como el ácido ascórbico, así como tratamientos térmicos que inactivan las enzimas responsables. La elección de la técnica más adecuada depende del tipo de producto, su uso final y las condiciones de procesamiento disponibles.

Degradación de Vitaminas y Compuestos Bioactivos

Los frutos rojos tienen un alto contenido de vitamina C, un compuesto altamente sensible a la degradación una vez que se cosecha el cultivo. La oxidación del ácido ascórbico sigue una cinética de primer orden dependiente de la temperatura, con pérdidas que superan el 50% cuando se almacena a temperatura ambiente durante períodos prolongados. El ácido ascórbico, de hecho, puede acelerar la degradación de las antocianinas bajo ciertas condiciones, creando un efecto antagónico entre la preservación de ambos compuestos.

Otros polifenoles además de las antocianinas, como los ácidos fenólicos, los flavonoles y los taninos condensados, también sufren transformaciones durante la postcosecha. Estas pueden

incluir oxidación, polimerización y conjugación con otros compuestos, resultando en cambios en la capacidad antioxidante total y las propiedades sensoriales del producto. Huang et al. (2012) reportaron el perfil antioxidante de arándano, mora y fresa (con valores TEAC de 14.98, 11.48 y 4.44 mmol Trolox/100g de peso seco, respectivamente), enfatizando la importancia de preservar estos compuestos durante el manejo postcosecha.

Alteraciones Biológicas: Deterioro Microbiológico

Hongos Patógenos Principales

Los hongos son los principales responsables de la destrucción microbiológica de los frutos rojos después de la cosecha. La fragilidad de estos frutos, junto con su alto contenido de azúcar y agua, los convierte en un medio adecuado para el crecimiento de hongos.

El moho gris ocurre principalmente en los frutos rojos, y *B. cinerea*, el agente causante del moho gris es el patógeno más prevalente. Petrasch et al. (2019) destacaron que el rechazo de los frutos en el mercado debido a estos hongos, así como una reducción de hasta el 70% en la producción si las condiciones son propicias para el crecimiento de este hongo, es bien conocido. En el campo, *B. cinerea* puede infectar los frutos y permanecer latente hasta que las condiciones de almacenamiento ideales permitan su desarrollo, o puede entrar a través de heridas durante el proceso de cosecha y manipulación.

Otro patógeno económicamente significativo es *Rhizopus stolonifer*, que causa la pudrición blanda y el moho negro, especialmente en las fresas. Liu et al. (2024) documentaron que este hongo causa pérdidas de hasta el 50% en fresas y afecta a más de 100 especies de frutos. El proceso se lleva a cabo de manera óptima a temperaturas que oscilan entre 20 y 30°C, por lo que la cadena de frío es el principal mecanismo de control.

Algunos hongos a menudo involucrados en el deterioro de los frutos rojos son *Mucor spp.*,

Colletotrichum spp. (causante de la antracnosis), *Penicillium spp.* y *Alternaria spp.* Feliziani y Romanazzi (2016) resumieron la etiología, epidemiología y manejo de las enfermedades post-cosecha en fresas, enfatizando un enfoque de manejo integrado, combinando el control en el campo y la intervención postcosecha. Factores que favorecen el desarrollo fúngico

En los frutos rojos, el desarrollo de hongos patógenos está condicionado por la interacción de múltiples factores relacionados con el huésped, el patógeno y el ambiente. Entre los factores del hospedero, el estado de madurez ejerce una influencia determinante: los frutos sobremaduros presentan mayor susceptibilidad debido a cambios en la composición de la pared celular, reducción de mecanismos de defensa y mayor disponibilidad de sustratos para el crecimiento fúngico.

Las heridas y daños mecánicos proporcionan puntos de entrada para los patógenos y eliminan las barreras físicas naturales de protección. Incluso microlesiones invisibles a simple vista pueden ser suficientes para permitir la germinación de esporas y el establecimiento de la infección. Por esta razón, la manipulación cuidadosa durante todas las etapas de la cadena postcosecha resulta fundamental para minimizar las pérdidas por enfermedades.

Las condiciones ambientales de almacenamiento modulan significativamente el desarrollo fúngico. Las temperaturas elevadas aceleran el crecimiento micelial y la producción de esporas, mientras que la humedad relativa alta y la presencia de agua libre sobre la superficie de los frutos favorecen la germinación de esporas. La ventilación inadecuada que permite la acumulación de etileno y dióxido de carbono también puede predisponer a los frutos al ataque fúngico.

Impacto Socioeconómico de las Pérdidas Postcosecha

Las pérdidas postcosecha en frutos rojos generan impactos económicos directos sobre productores, comercializadores y consumidores, además de efectos indirectos sobre la sostenibilidad de los sistemas alimentarios y el medio ambiente. Para los pequeños productores

que predominan en el sector de frutos rojos en Colombia, las pérdidas postcosecha pueden representar una proporción significativa de sus ingresos potenciales, afectando la viabilidad económica de sus unidades productivas.

A nivel macroeconómico, las pérdidas de alimentos implican el desperdicio de todos los recursos utilizados en su producción, incluyendo tierra, agua, energía, mano de obra e insumos agrícolas. La FAO estima que la huella de carbono de los alimentos perdidos y desperdiciados es de aproximadamente 3.3 gigatoneladas de CO₂ equivalente anualmente, lo que representa un importante contribuyente al cambio climático.

Las pérdidas post-cosecha, en términos de seguridad alimentaria, disminuyen la disponibilidad efectiva de alimentos nutritivos para la población. Estos alimentos, incluidas las bayas, son productos nutricionales que contienen altos niveles de vitaminas, antocianinas y otros agentes bioactivos, un problema dietético que, cuando se reduce, disminuirá el acceso a sustancias nutricionales valiosas para la salud de la población.

Estrategias para la Reducción de Pérdidas Postcosecha

Optimizar las pérdidas postcosecha de bayas requiere una solución holística con técnicas de manejo, uso de herramientas de conservación adecuadas y mejora de las instalaciones de la cadena de frío. Capacitar a los productores en buenas prácticas de cosecha y manejo postcosecha, invertir en infraestructura de preenfriamiento y almacenamiento refrigerado, y desarrollar empaques que protejan la fruta y optimicen su conservación son algunas de las estrategias más efectivas.

La refrigeración, congelación, atmósferas modificadas, deshidratación, etc., son métodos utilizados para conservar las bayas durante un almacenamiento prolongado y minimizar las pérdidas. La capacidad de la deshidratación en particular permite estabilizar un producto altamente

perecedero y almacenarlo sin refrigeración durante períodos prolongados, con la conveniencia de su transporte y comercialización. Es particularmente factible para la aplicación agroindustrial de frutas que no cumplen con los estándares de calidad para la comercialización en fresco, para minimizar las pérdidas y agregar valor a las frutas.

Métodos de Conservación

Debido a que la frambuesa es un alimento extremadamente perecedero, para el comercio internacional se debe introducir algún método de conservación, entre los cuales se pueden destacar los siguientes (Robledo et al., 2013):

Refrigeración

La refrigeración es un método físico de conservación que mantiene un producto a una temperatura máxima de 7°C y por encima del punto de congelación. Lo que se pretende en esta metodología es conservar mejor el sabor, la textura y la apariencia de la fruta, también disminuir la actividad de los microorganismos que deterioran los alimentos (Aguilar, 2012).

Figura 8

Sistema de refrigeración industrial



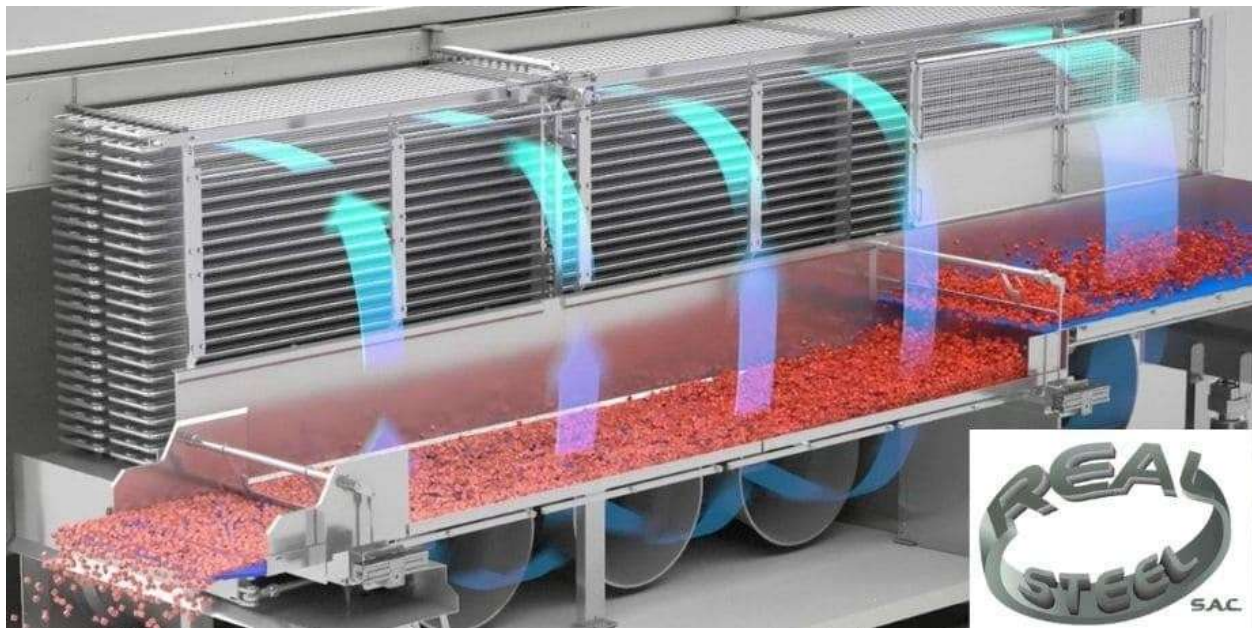
Nota. Sistema de refrigeración industrial para frutas y verduras de la empresa froztec, imagen tomada de <https://www.froztec.com/hubfs/website/sectores/frutas%20y%20verduras%204.png>

Congelación

Es un método de conservación que consiste en que la solución acuosa realiza el cambio de fase de líquido a sólido y detener el crecimiento y multiplicación de los microorganismos. La congelación no esteriliza ya que hay organismos que pueden sobrevivir a ciertas temperaturas bajo cero, pero nos permite conservar sin agregar ningún elemento químico (Velázquez, 2011&Aguilar, 2012).

Figura 9

Equipo de congelación para frutas y hortalizas



Nota. Tomado de la revista Industria Alimentaria por Real Steel S.A.C. recuperado de <https://www.industriaalimentaria.org/blog/contenido/seleccion-de-equipos-para-la-congelacion-de-frutas-y-hortalizas>

Secado o Deshidratación

Consiste en reducir el contenido de agua del producto para evitar la proliferación de bacterias, principalmente patógenas y enzimas (Aguilar, 2012). Algunos autores emplean denominaciones de acuerdo con el resultado final: desecación cuando se elimina parte del contenido acuoso del alimento, hasta que su humedad se equilibra con la del ambiente y

deshidratación cuando la eliminación de agua es prácticamente total (Aguilar, 2012).

Los principales objetivos además de aumentar la vida útil del son: mayor estabilidad en el almacenamiento, practicidad de empleo para el consumidor, disminución de costos de transporte y almacenaje, gracias a la disminución de peso y volumen (Aguilar, 2012).

Las principales ventajas que presenta este método, es que produce alimentos con alta concentración de nutrientes, los productos se hacen muy estables prolongando su vida en anaquel. Las desventajas son una calidad inferior a los productos naturales, pueden quedar bacterias muy resistentes al calor (productoras de esporas), presenta algunas reacciones enzimáticas, reacciones de oxidación de las grasas y pérdidas de vitaminas (Aguilar, 2012).

Secado Solar.

Es respetuoso con el medio ambiente, rentable y fácil de hacer. Los secadores solares tienen diversos diseños, entre los principales están los de tipo túnel o los basados en cámaras y se utilizan para secar numerosas frutas y verduras (Joshi et al., 2024).

Figura 10

Invernadero para el secado de frutas



Nota. Tomado de <https://cdn.portalfruticola.com/2020/02/5b0e1afb-invernadero-deshidrar-alimentos.jpg>

Secado Convectivo con Aire Caliente.

El calor se transfiere al sólido que se está secando mediante una corriente de aire caliente que además de transmitir el calor necesario para la evaporación del agua es también el agente transportador del vapor de agua que se elimina al sólido (Fito Maupoey et al., 2001).

Figura 11

Deshidratador de bandeja



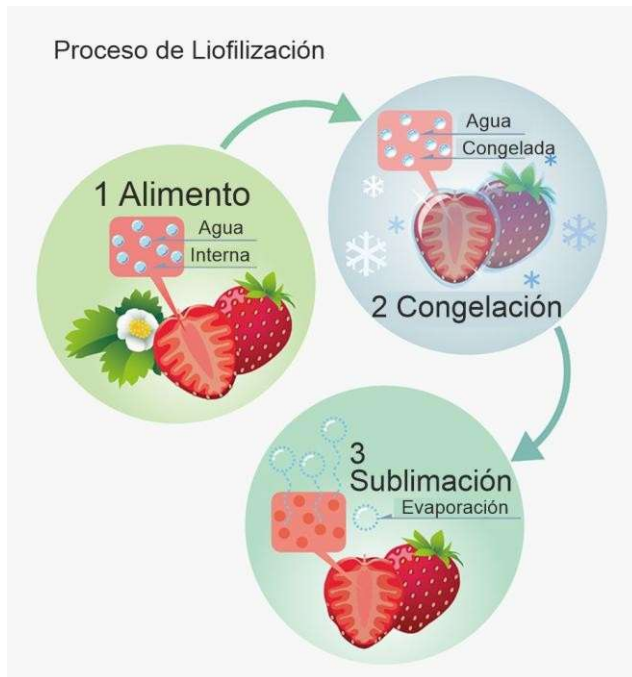
Nota. *Adaptado* de Deshidratación de mora de castilla (*Rubus glaucus*) bajo régimen convectivo con aire forzado por Marquez et. al., Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, Volumen 55, No. 2, p. 1592.

Liofilización.

La humedad se convierte en hielo y es entonces cuando se coloca al vacío a $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el hielo se elimina por sublimación, lo que significa que pasa directamente de un sólido a un gas, sin entrar nunca en forma líquida. La ventaja es que el alimento mantiene su estructura y sabor, y casi cualquier alimento puede liofilizarse (Sánchez-Pasos, et al., 2022).

Figura 12

Proceso de liofilización



Nota. Tomado de <https://senova.org/wp-content/uploads/2024/03/Proces-Lio-1.jpg>

Osmodeshidratación.

Cuando un producto se sumerge en una disolución concentrada de sal o azúcar, se produce un flujo de agua desde el interior de las células del alimento hacia la disolución más concentrada a través de una membrana semipermeable (membrana celular). Este flujo se establece a causa de una diferencia de potencial químico del agua en el alimento y en la solución que lo rodea (Fito Maupoey et al., 2001).

Secado por Infrarrojos.

Consiste en utilizar radiaciones infrarrojas para secar y calentar simultáneamente los materiales cargados de humedad (Joshi et al., 2024).

Figura 13

Deshidratador por infrarrojos



Nota. Tomado de https://m.media-amazon.com/images/I/71VcZuYRvmL._AC_UF894,1000_QL80_.jpg

Secado por Microondas y Microondas-Vacío.

El secado por microondas utiliza radiación electromagnética para generar calentamiento volumétrico mediante la rotación de moléculas polares, principalmente agua. A diferencia del secado convectivo, las microondas penetran el material y generan calor desde el interior, logrando tasas de secado significativamente mayores (Mujumdar, 2014). La combinación con vacío (MVD) permite reducir la temperatura de ebullición del agua, minimizando la degradación de compuestos termosensibles. Zhang et al. (2023) reportaron que el MVD en arándano produjo los niveles más altos de fenoles totales y antocianinas entre los métodos evaluados, con retención de capacidad antioxidante superior al 85%. Wojdyło et al. (2009) determinaron que potencias bajas (240 W) en fresa generan productos de mayor calidad. Las principales ventajas incluyen tiempos de proceso 50-70% menores que el secado convectivo y mejor preservación del color; las desventajas son el mayor costo del equipamiento y la posibilidad de calentamiento no uniforme.

Ventana de Refractancia.

La ventana de refractancia (Refractance Window®) es una tecnología de secado que transfiere energía térmica desde agua caliente (95-97°C) hacia una película delgada del producto extendida sobre una banda transportadora de plástico transparente al infrarrojo (Nindo y Tang, 2007). La temperatura del producto permanece entre 57 y 71°C debido a la evaporación continua, con tiempos de proceso típicos de 3-5 minutos para pulpas. Celli et al. (2016) reportaron retención de antocianinas del 93,8% en haskap berry, valores comparables a la liofilización, pero con tiempos dramáticamente menores. Este método resulta particularmente apropiado para pulpas y purés de frutos rojos, permitiendo obtener polvos estables con alta solubilidad (75,63%) y excelente preservación de color. Las limitaciones incluyen su aplicabilidad exclusiva a productos líquidos o semilíquidos y la disponibilidad comercial restringida del equipamiento.

Secado Híbrido y Tecnologías Emergentes.

Es cuando se combinan dos o más técnicas de secado, aprovechando las ventajas de cada método, esta es una solución atractiva para mejorar la eficiencia del proceso y la calidad general de producto (Joshi et al., 2024).

Efectos del Secado en la Calidad de los Frutos Rojos

El calentamiento de frutas durante el proceso de deshidratación conlleva a cambios significativos en textura sabor y color debido a la fragilidad de su estructura celular y a la sensibilidad de sus componentes aromáticos e inestabilidad de sus pigmentos (Márquez et al., 2003).

Al aplicar calor al producto puede ocasionar volatilización de componentes como, por

ejemplo, la vitamina A y C y elementos fácilmente oxidables, lo cual puede producir sustancias que deterioran el almacenamiento del producto (Márquez et al., 2003). Es las reacciones que se dan en los componentes nutricionales de las frutas el principal factor que influye es la temperatura (Márquez et al., 2003).

En cuanto a las berries de la cual hace parte la frambuesa, los efectos en la calidad de estas en los procesos de deshidratación en relación con las propiedades sensoriales, los atributos más afectados son el color, tamaño, brillo, forma, dulzor, amargor, adhesividad y sabor que está correlacionado con la temperatura de secado (Pateiro et al., 2022). Dentro de estos aspectos uno de los más fundamentales para mantener durante el secado es mantener el color natural, ya que es un factor de aceptabilidad para el consumidor final, la variación más frecuente en este aspecto es el pardeamiento enzimático que se produce por la oxidación de los compuestos fenólicos y la actividad del polifenol oxidasa, este proceso se acelera cuando el contenido de agua es intermedio y disminuye al final del secado (Pateiro et al., 2022).

Los cambios de color observados también pueden tener correlación con los contenidos de carbohidratos, glucosa y fructosa. Los azúcares (glucosa y fructosa) pueden sufrir la reacción de Maillard al reaccionar con compuestos amino debido a la exposición a altas temperaturas, secado prolongado y humedad (Pateiro et al., 2022). En el secado convectivo debe diseñarse para reducir el pardeamiento de tal modo que se acelere el tiempo de secado (Pateiro et al., 2022).

La frambuesa tiene gran cantidad de elementos bioactivos (compuestos fenólicos, polifenoles y vitaminas) (Pateiro et al., 2022). Las berries es una de las fuentes más importantes de compuestos fenólicos, con contenidos en fruta fresca de 200 mg por cada 100 g, entre ellos se destacan los flavonoides, los ácidos fenólicos y los taninos. lo que confiere propiedades promotoras de la salud ligadas a la actividad antioxidante (Pateiro et al., 2022).

La concentración y biodisponibilidad de estos compuestos pueden verse comprometidos por el proceso de deshidratación, ya que pueden degradarse durante el proceso (Pateiro et al., 2022). Los parámetros que más influyen son el tiempo de exposición, la luz, el oxígeno y la temperatura, por lo cual su optimización es crucial para obtener un producto de alta calidad (Pateiro et al., 2022).

Con respecto a la temperatura, se ha observado que a bajas temperaturas de secado hay un mayor contenido de compuesto bioactivos, pero el tiempo prolongado aumenta las reacciones de oxidación, para secado por convección ha demostrado que una temperatura eficiente en términos de contenido total de polifenoles es de 65 °C (Pateiro et al., 2022).

Deshidratación de Frutos Rojos

A continuación, se presentan estudios específicos que han evaluado el comportamiento de diferentes frutos rojos sometidos a procesos de deshidratación. En el estudio de (Márquez, Ciro, & Rojano, 2003) evaluaron siete tratamientos donde se evidencia el efecto de la pérdida de la vitamina C al aumentar la temperatura.

Tabla 8

Efecto de la vitamina C en la deshidratación de mora Castilla

PRODUCTO	TRATAMIENTO	PÉRDIDA (%)
Mora fresca	1	0
Mora escaldada*	-	7
Mora troceada y deshidratada a 35°C	2	21,3
Mora licuada y deshidratada a 35°C	3	15,3
Mora troceada y deshidratada a 50°C	4	53,3
Mora licuada y deshidratada a 50°C	5	52,6
Mora troceada y deshidratada a 65°C	6	74,6
Mora licuada y deshidratada a 65°C	7	74,0

Fuente: (Márquez, Ciro, & Rojano, 2003).

De acuerdo con los resultados de la Tabla 8, se reporta que la capacidad antioxidante de la mora es ligeramente afectada por la temperatura de deshidratación. (Márquez, Ciro, & Rojano, 2003).

Tabla 9

Capacidad antioxidante total

Tratamiento	Capacidad Antioxidante (%)
1	51,9 ± 1,1
2	50,6 ± 0,8
3	50,5 ± 0,5
4	49,6 ± 1,2
5	51,9 ± 1
6	48,9 ± 0,9
7	51,3 ± 0,8

Fuente: (Márquez, Ciro, & Rojano, 2003)

La investigación de (Márquez, Ciro, & Rojano, 2003), evidencio que el contenido de fenoles totales disminuyo ligeramente en un 26,7% respecto al tratamiento más severo mora licuada y deshidratada a 65°C.

Tabla 10

Concentración de fenoles totales en mg/100g.

Producto	Tratamiento	Fenoles totales (mg/100 g)
Mora fresca	1	176,7 ± 1,3
Mora troceada y deshidratada a 35°C	2	176,7 ± 2,1
Mora licuada y deshidratada a 35°C	3	176 ± 1,5
Mora troceada y deshidratada a 50°C	4	159,3 ± 2,9
Mora licuada y deshidratada a 50°C	5	163,6 ± 1,8
Mora troceada y deshidratada a 65°C	6	169,6 ± 2
Mora licuada y deshidratada a 65°C	7	139,4 ± 2,5

Fuente: (Márquez, Ciro, & Rojano, 2003)

Otra investigación evaluó la deshidratación de frutillas por secado convectivo, para

extender su vida útil. Establecieron tres temperaturas del aire de secado: 60°, 70° y 80 °C y una velocidad de 0,7 m/s. En la harina de frutillas se logró conservar o incrementar el contenido compuestos fenólicos totales, así como la capacidad antioxidante cuando la matriz vegetal se deshidrató a 70 °C. Sin embargo, el contenido de antocianinas y el color disminuye (Luisetti, Balzarini, Reinheimer, Stoppani, & Ciappini, 2023).

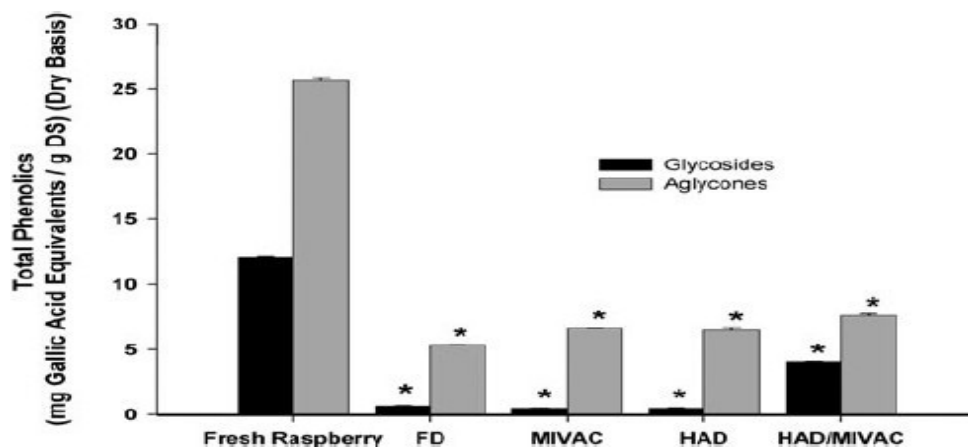
Estudios en Frambuesa

En la investigación de Mejía et al. (2010) usaron varios métodos de secado: liofilización (FD), microondas-vacío (MIVAC), secado por aire caliente (HAD) y una combinación de secado por aire caliente y microondas vacío (HAD/MIVAC). Para el secado con aire caliente se usó un secador a una temperatura de 76.6 °C (170 °F) durante 4.5 horas para alcanzar un contenido final de humedad de aproximadamente el 5%.

Los polifenoles totales se redujeron significativamente durante la deshidratación, la mayor retención se observó en HAD/MIVAC, se observó que los glucósidos son más sensibles en comparación con las agliconas (Mejia et al., 2010), como se evidencia en la Figura 16.

Figura 14

Glucósidos y agliconas fenólicos totales en frambuesas frescas y secas (base seca)



Nota. Comparación de cuatro tipos de secado en función de la concentración de Glicósidos y agliconas adaptado de Mejía et al. (2010).

Las antocianinas parecen ser más sensibles a la deshidratación que los polifenoles y el segundo tratamiento menos concentración tiene es el secado convectivo, en la actividad antioxidante tuvo un gran porcentaje de pérdidas en todas las situaciones, pero donde hubo mayor pérdida fue en el secado convectivo (Mejia et al., 2010).

Aplicaciones Agroindustriales de los Frutos Rojos Deshidratados

La deshidratación de frutos rojos representa una estrategia de aprovechamiento agroindustrial que permite aumentar la vida útil del producto y disminuir las pérdidas poscosecha. Además, facilita el almacenamiento, transporte y comercialización de materias primas con alta perecibilidad, favoreciendo su incorporación en diferentes matrices alimentarias

Las frambuesas deshidratadas son ingredientes versátiles, que pueden incorporarse en productos horneados como muffins, galletas y pasteles, además, se utilizan como excelentes complementos para cereales, barras de granola, ensaladas y yogur (Mejia, y otros, 2010). Su fácil almacenamiento, menor volumen y mayor tiempo de conservación permiten disponer de este producto incluso fuera de temporada, sin requerir un alto consumo energético para su conservación (Mejia et al., 2010).

Análisis y Discusión de Resultados

El análisis de los efectos de los métodos de deshidratación sobre las propiedades nutricionales y sensoriales de los frutos rojos requiere considerar la complejidad inherente a estos sistemas biológicos y la multiplicidad de factores que interactúan durante el procesamiento. La evidencia científica revisada permite establecer patrones generales de comportamiento, aunque también revela variabilidad significativa entre estudios debido a diferencias en las condiciones experimentales, las variedades utilizadas, los estados de madurez y los protocolos analíticos empleados.

La presente discusión integra los hallazgos de investigaciones realizadas en frambuesa, mora de Castilla, fresa y arándano, considerando tanto las similitudes fisiológicas y composicionales entre estas especies como las particularidades que pueden influir en su respuesta a los diferentes métodos de deshidratación. Este enfoque comparativo resulta especialmente relevante dado que la investigación específica sobre deshidratación de frambuesa permanece limitada en comparación con otros frutos rojos, siendo necesario extrapolar conocimientos de especies relacionadas para generar recomendaciones aplicables al contexto colombiano.

Análisis Comparativo de los Métodos de Deshidratación

Secado Convectivo con Aire Caliente

El secado convectivo con aire caliente constituye el método más ampliamente utilizado a nivel industrial debido a su relativo bajo costo de implementación y operación, su simplicidad tecnológica y su versatilidad para procesar diferentes tipos de productos. Sin embargo, la evidencia analizada indica consistentemente que este método genera las mayores pérdidas de

compuestos bioactivos termosensibles y vitamina C entre las tecnologías evaluadas. En el estudio de Stamenković et al. (2019) documentaron pérdidas de vitamina C entre 94% y 97,93% en frambuesas sometidas a secado convectivo, valores que reflejan la extrema sensibilidad de este nutriente a la exposición térmica prolongada. Méndez-Lagunas et al. (2017) reportaron pérdidas de hasta 78% en fenoles totales y 45% en antocianinas durante el secado de fresa a temperaturas entre 50 y 60°C, mientras que Koraqi et al. (2023) observaron tiempos de secado de hasta 1290 minutos para arándanos a 60°C, lo cual incrementa la degradación térmica acumulada.

El análisis de estos resultados sugiere que la principal limitación del secado convectivo radica en la combinación de temperaturas moderadamente elevadas con tiempos de exposición prolongados. Aunque las temperaturas empleadas (generalmente entre 50 y 70°C) resultan inferiores a las que causan degradación térmica instantánea de la mayoría de los compuestos bioactivos, la exposición extendida permite que procesos de degradación cinéticamente más lentos, como la oxidación y las reacciones de Maillard, avancen significativamente.

Los estudios de Márquez et al. (2003) en mora de Castilla colombiana proporcionaron evidencia valiosa sobre la relación entre temperatura, tamaño de partícula y retención de compuestos. Para 35°C, la pérdida de fenoles fue solo del 0.4% y para 65°C fue del 21.1%, confirmando la dependencia térmica de la degradación. Sin embargo, también encontraron que la cantidad de antioxidantes en todos los tratamientos estaba entre el 48.9% y el 51.9%, lo que indica que diferentes clases de compuestos bioactivos responden de manera diferente a las condiciones de procesamiento.

Se sabe que el secado convectivo produce cambios dramáticos en el color, la textura y la apariencia general del producto desde una perspectiva sensorial. Las reacciones de Maillard entre

azúcares reductores y aminoácidos crean un pardeamiento no enzimático que provoca un oscurecimiento progresivo que afecta la aceptabilidad visual. Estudios de Pateiro et al. (2022) encontraron que los carbohidratos, el contenido de glucosa y fructosa están relacionados con las transformaciones de color inducidas por el secado, lo que significa que la tasa de estas reacciones aumentó a una temperatura más alta y con un período de secado más prolongado.

El secado convectivo tiene ventajas significativas para el contexto colombiano, aunque no será una ventaja absoluta en términos de mantener la nutrición. Su bajo costo de instalación permite a los pequeños y medianos productores considerarlo, sin insumos especiales como vacío o gases, y puede utilizar diversas fuentes de energía como la energía solar térmica. Tales características indican que su uso está justificado donde la preservación del producto y la minimización de la pérdida postcosecha es una función principal, pero está limitado si se debe promover el valor nutricional.

Liofilización

Basado en la evidencia analizada, la liofilización parece ser el método de referencia para la preservación de compuestos bioactivos en frutos rojos, superando consistentemente a otras tecnologías en términos de retención de antocianinas, polifenoles, vitaminas y capacidad antioxidante. Este comportamiento se explica por las condiciones particulares de este proceso: la sublimación del agua ocurre a temperaturas muy bajas (generalmente inferiores a -40°C) y bajo vacío, minimizando las reacciones de degradación térmica y oxidativa.

Si et al. (2016) compararon cinco métodos de secado en frambuesa y determinaron que la liofilización produjo la mayor retención de antocianinas (60,70%), la mayor solubilidad en agua (45,26%) y el mayor contenido de sólidos solubles (63,46%). Sablani et al. (2011) confirmaron estos hallazgos en berries convencionales y orgánicos, observando que mientras la liofilización

preservó eficazmente los fitoquímicos, el secado por aire causó aproximadamente 60% de pérdida en fenoles y actividad antioxidante.

La preservación de la estructura celular constituye otra ventaja significativa de la liofilización. Al sublimarse el hielo desde una matriz congelada, se mantiene la arquitectura porosa del tejido original, lo que resulta en productos con excelente capacidad de rehidratación, textura crujiente y apariencia similar al fruto fresco deshidratado. Esta característica resulta particularmente valorada para aplicaciones en cereales, barras nutritivas y productos donde la rehidratación forma parte del uso final.

Se mejora y se conserva mucho más el color gracias a la liofilización. Koraqi et al. (2023) ha encontrado que los arándanos liofilizados se encogen menos y tienen menos disrupción celular, manteniendo colores más cercanos al producto fresco que los obtenidos con otros métodos. En los arándanos, la malvidina-3-O-galactósido es la antocianina más abundante, la cual tiene una estabilidad significativamente mayor (se observa mayor estabilidad bajo condiciones de liofilización).

No obstante, la liofilización tiene algunas limitaciones que restringen su aplicación en lugares como Colombia. Los tiempos de procesamiento son mucho más largos que otras técnicas, generalmente entre 24 y 48 horas para alcanzar esta humedad final. El requerimiento de energía es muy alto, ya que se debe mantener un vacío a baja temperatura todo al mismo tiempo. El precio del equipo es un obstáculo para los productores pequeños y medianos.

Estos factores indican que la liofilización se considera más adecuada para el proceso de alto valor agregado en el cual la preservación de las características nutricionales y sensoriales permite una mayor inversión en el procesamiento. Por ejemplo, los polvos de frutas rojas aplicados a suplementos dietéticos, ingredientes funcionales para alimentos, o incluso frutas

liofilizadas para mercados premium son nichos que pueden beneficiarse de esta tecnología.

Osmodeshidratación

La deshidratación osmótica, que incluye la exposición de frutas a soluciones hipertónicas de azúcares o sales, es única en cierto sentido porque permite eliminar agua a temperatura moderada. Este enfoque se emplea frecuentemente como un pretratamiento antes de otros procesos de secado, para minimizar la actividad inicial del agua, proteger compuestos sensibles al calor mediante la impregnación de solutos y mejorar la textura final del producto.

Giraldo Bedoya et al. (2004), también en Colombia, en moras ofrecieron evidencia importante sobre el desempeño de esta especie en presencia de deshidratación osmótica.

Empleando tres agentes edulcorantes de sacarosa, azúcar invertido y miel de caña en proporciones de 70°Brix, los investigadores encontraron que la miel de caña produjo el mayor poder osmótico con una pérdida de peso del 69.2%, pero que el ideal sensorial se alcanzó mediante el tratamiento con sacarosa más que con cualquier otro edulcorante. Los resultados experimentales demuestran que el agente osmótico elegido afectará no solo la eficacia del procedimiento sino también el tipo de producto.

Stojanovic y Silva (2007) investigaron los efectos de la osmo-concentración en arándanos, documentando una reducción aproximada del 60% en antocianinas y fenoles en 12 horas después del tratamiento con agentes osmóticos. Este grado de pérdida es el resultado de la lixiviación de compuestos solubles en agua, que han sido lixiviados en la solución osmótica, sin mencionar otras posibles reacciones de degradación durante el tiempo de contacto.

La coexistencia de la deshidratación osmótica con otras técnicas ha resultado en efectos efectivos. Amami et al. (2017) optimizaron el pretratamiento de fresas combinando ultrasonido con deshidratación osmótica y determinaron que las condiciones óptimas son 20.5 minutos de

ultrasonido, concentración de 47.5°Brix y temperatura de 31°C. El ultrasonido ayuda a la transferencia de masa al producir microcanales dentro del tejido, resultando en tiempos de procesamiento cortos y una mayor eficiencia del proceso.

En un contexto colombiano, la deshidratación osmótica ofrece beneficios tangibles dignos de consideración. El equipo debe ser relativamente simple y asequible, las temperaturas de procesamiento son lo suficientemente moderadas como para permitir la operación sin requerir grandes cantidades de energía, y los agentes osmóticos (azúcar, miel, panela, etc.) están disponibles. Como pretratamiento previo al secado convectivo, hay múltiples usos de este proceso en la práctica, donde aumenta la calidad final del producto sin una inversión técnica sustancial.

Secado por Infrarrojos

El secado por infrarrojos es otra tecnología emergente y prometedora en la deshidratación de bayas. La radiación infrarroja penetra en la superficie de un producto y produce calor interno a través de la absorción molecular, lo que puede permitir una formación de patrones de secado más uniforme y un tiempo de procesamiento más corto que el secado por convección.

En este estudio, Liu y Wang (2024) probaron el secado de frambuesas con radiación infrarroja lejana junto con vacío pulsado (FIR-PVD) y mostraron que el tiempo de secado fue de 376 minutos, mientras que con secado por aire caliente fue de 720 minutos y liofilización 1440 minutos. Los productos registraron contenidos totales de fenoles de 22.43 mg GAE/g de peso seco, antocianinas monoméricas totales de 13.03 mg de cianidina-3-glucósido/100g de peso seco, y capacidad antioxidante DPPH de 24.86 mmol Trolox/g de peso seco.

La mayor relación de rehidratación comparada obtenida por FIR-PVD fue de 3.62, lo que sugiere una capacidad mejorada de mantener la estructura porosa del producto. Esta propiedad es

particularmente importante para aplicaciones que dependen de la rehidratación antes del consumo o uso industrial.

La tecnología infrarroja ofrece ventajas adicionales en cuanto a eficiencia energética y control del proceso. La radiación proporciona una transferencia de energía más directa que el calentamiento por aire convectivo, y las aplicaciones actuales permiten una modulación precisa de la amplitud y distribución de la radiación. Sin embargo, una inversión inicial en equipos especializados y costos operativos más altos significan que el campo todavía tiene una adopción baja o nula en los países en desarrollo.

Secado por Microondas y Combinaciones Híbridas

Las tecnologías de secado por microondas que se aplican en combinación con vacío (microondas-vacío, MVD) han demostrado reducir significativamente los tiempos de procesamiento, al tiempo que mantienen la retención de compuestos bioactivos a niveles aceptables. Las microondas producen un calentamiento volumétrico que acelera la transferencia de masa a través del interior del producto, mientras que el vacío permite operar a una temperatura reducida.

Zhang et al. (2023) compararon cuatro métodos de secado en orujo de arándano, incluyendo secado por aire caliente, liofilización, microondas-vacío y microondas combinado con liofilización. El método MVD produce el mayor contenido de fenoles totales, antocianinas totales, azúcares totales y mejora los valores de color, además de una capacidad superior de eliminación de radicales ABTS y DPPH.

Wojdyło et al. (2009) evaluaron el impacto de potencias de microondas de 240 W, 360 W y 480 W en fresas deshidratadas y encontraron que la potencia más baja (240 W) producía productos de mejor calidad con más compuestos bioactivos preservados. Estos hallazgos apuntan

a la necesidad de optimizar los parámetros en las tecnologías de microondas. Resultados particularmente prometedores demuestran que la combinación de secado convectivo y microondas-vacío (HACD+MWVD) es un buen enfoque. En el estudio de Zielinska et al. (2016) reportaron un cambio de color (ΔE^*) para el método combinado en comparación con el secado convectivo solo, así como la retención de antocianinas y capacidad antioxidante.

Mejía et al. (2010) proporcionaron evidencia específica con frambuesas, comparando liofilización, microondas-vacío, secado por aire caliente y la combinación HAD/MIVAC. La mayor retención de polifenoles en forma de agliconas se observó con el método HAD/MIVAC (30%), mientras que la liofilización mostró el mejor desempeño para antocianinas en forma de aglicona. Estos resultados sugieren que la selección del método óptimo puede depender de los compuestos bioactivos de mayor interés para la aplicación específica.

Ventana de Refractancia

La ventana de refractancia (Refractance Window, RW) constituye una tecnología relativamente reciente que ha demostrado excelente capacidad para preservar compuestos termosensibles en purés y pulpas de frutas. El método utiliza la transferencia de energía térmica desde agua caliente (95-97°C) hacia una película delgada del producto extendida sobre una banda transportadora de plástico transparente al infrarrojo, logrando temperaturas del producto entre 57 y 71°C con tiempos típicos de solo 3-5 minutos (Nindo y Tang, 2007).

Celli et al. (2016) aplicaron ventana de refractancia a haskap berry (especie relacionada con los frutos rojos), obteniendo retención de antocianinas del 93,8% mediante el método de pH diferencial y 92,9% por HPLC, junto con solubilidad en agua del 75,63%. Estos valores de retención superan significativamente los obtenidos con secado convectivo y resultan comparables a la liofilización, pero con tiempos de proceso dramáticamente menores.

Para el contexto colombiano, la ventana de refractancia presenta características atractivas. Los tiempos de proceso cortos reducen la exposición térmica acumulada, el equipo no requiere vacío ni refrigeración, y puede procesar eficientemente pulpas y purés que representan productos de interés para la agroindustria de frutos rojos. Sin embargo, la tecnología se encuentra menos desarrollada comercialmente que otras alternativas, y la disponibilidad de equipamiento específico puede ser limitada.

Efectos Sobre Propiedades Nutricionales: Análisis por Compuesto

Antocianinas

Las antocianinas emergen de la revisión como los compuestos bioactivos que presentan mayor variabilidad en su respuesta a los diferentes métodos de deshidratación. Su estructura química, basada en el catión flavilio, las hace susceptibles a múltiples mecanismos de degradación incluyendo hidrólisis, oxidación, condensación y polimerización.

La síntesis de los estudios analizados permite establecer un ranking aproximado de retención de antocianinas según método: liofilización (60-95%) > ventana de refractancia (92-94%) > microondas-vacío (70-85%) > infrarrojo (65-80%) > osmodeshidratación (40-51%) > secado convectivo (40-56%). Sin embargo, estos rangos deben interpretarse con cautela considerando la variabilidad entre estudios, especies y condiciones experimentales.

La temperatura constituye el factor más crítico en la degradación de antocianinas, con estudios de Buckow et al. (2010) que establecieron energías de activación de 66,37 kJ/mol para la degradación térmica en arándano. El tiempo de exposición amplifica el efecto térmico, explicando por qué métodos de secado rápido como la ventana de refractancia pueden lograr retenciones comparables a la liofilización a pesar de utilizar temperaturas más elevadas.

Para la mora de Castilla colombiana, los estudios de Garzón et al. (2011) demostraron

que la adición de maltodextrina DE 20 durante la liofilización mejoró la estabilidad del color y la preservación de antocianinas durante el almacenamiento, sugiriendo que los encapsulantes pueden constituir una estrategia complementaria para mejorar la retención de estos pigmentos.

Vitamina C

La vitamina C (ácido ascórbico) se confirma como el nutriente más termosensible en los frutos rojos, con pérdidas que superan el 90% en métodos de secado convectivo según múltiples estudios. Stamenković et al. (2019) reportaron pérdidas de 94-97,93% en frambuesa, mientras que Márquez et al. (2003) observaron patrones de degradación en mora de Castilla que se correlacionaron directamente con la temperatura de secado.

La liofilización preserva la vitamina C de manera superior (retención 97-98%), seguida por la ventana de refractancia (85-95%) y el microondas-vacío (80-90%). El secado convectivo presenta las mayores pérdidas (retención 2-6%), haciendo que los productos resultantes contribuyan mínimamente al aporte de este nutriente.

Esta degradación masiva de vitamina C durante el secado convectivo tiene implicaciones importantes para el posicionamiento de los productos deshidratados. Si bien pueden mantener contenidos significativos de antocianinas, polifenoles y fibra, no pueden considerarse fuentes relevantes de vitamina C a menos que se empleen tecnologías de preservación superior como la liofilización.

Polifenoles Totales y Capacidad Antioxidante

Los polifenoles distintos a las antocianinas, incluyendo ácidos fenólicos, flavonoles y taninos, muestran comportamiento intermedio entre la extrema sensibilidad de la vitamina C y la mayor estabilidad relativa de las antocianinas encapsuladas en matrices celulares. Las pérdidas en secado convectivo oscilan entre 32% y 78% según las condiciones, mientras que la

liofilización preserva entre 80% y 95%.

Muñoz-Fariña et al. (2022) proporcionaron una perspectiva adicional al evaluar la bioaccesibilidad de los compuestos fenólicos en arándanos frescos y deshidratados.

Sorprendentemente, el secado convectivo preservó mejor la bioaccesibilidad (91,6% en etapa ileal) que la liofilización (48,7%) y la osmodeshidratación (27,6%). Este hallazgo sugiere que la retención de compuestos durante el procesamiento no necesariamente se traduce en mayor biodisponibilidad para el organismo, añadiendo complejidad a la evaluación nutricional de los productos deshidratados.

La capacidad antioxidante total, medida mediante ensayos DPPH, ABTS o FRAP, generalmente correlaciona con el contenido de polifenoles y antocianinas, siguiendo patrones similares de retención según método. Sin embargo, Mejía et al. (2010) observaron que las frambuesas deshidratadas mantuvieron actividad antiadipogénica independientemente del método empleado, sugiriendo que algunos efectos biológicos pueden preservarse incluso cuando la composición química se modifica.

Efectos Sobre Propiedades Sensoriales de los Frutos Rojos

Color. El color constituye el atributo sensorial más afectado durante la deshidratación de frutos rojos, con implicaciones directas sobre la aceptabilidad comercial del producto. Los cambios de color se originan por múltiples mecanismos incluyendo la degradación de antocianinas, el pardeamiento enzimático residual, las reacciones de Maillard entre azúcares y aminoácidos, y la oxidación de compuestos fenólicos.

Agudelo, L. (2012) establecieron correlaciones entre parámetros de color CIELab y la degradación de compuestos en fresa deshidratada. La coordenada a* (componente rojo-verde) correlacionó con la degradación de antocianinas a humedades relativas superiores al 43%,

mientras que L^* (luminosidad) disminuyó con el pardeamiento y b^* (componente amarillo-azul) aumentó con el desarrollo de pigmentos pardos.

La liofilización produce los productos con menor cambio de color total (ΔE^*), seguida por el microondas-vacío combinado con aire caliente. Zielinska y Michalska (2016) cuantificaron ΔE^* de 3,08-3,65 para HACD+MWVD frente a 7,90-8,21 para secado convectivo solo, indicando cambios visualmente perceptibles en este último caso.

Textura. La textura de los frutos rojos deshidratados se basa en la preservación de la estructura celular, así como en los cambios en las propiedades de la pared celular a lo largo del proceso de procesamiento. La liofilización preserva una estructura porosa que proporciona una consistencia crujiente y una buena capacidad de rehidratación, mientras que el secado convectivo típicamente induce encogimiento y densificación con texturas más duras y una capacidad de rehidratación reducida.

En otro estudio, Liu y Wang (2024) midieron las proporciones de rehidratación en 3.62 para la frambuesa secada usando FIR-PVD, lo cual fue mayor que lo obtenido con otros métodos. Este parámetro puede ser una consideración en aplicaciones donde el alimento deshidratado se rehidrata antes del consumo, por ejemplo, en preparaciones culinarias o productos instantáneos.

Fernandes et al. (2015) determinaron las propiedades mecánicas de la fresa deshidratada en condiciones de microondas-vacío y convectivas, informando que el microondas-vacío produjo productos más elásticos con mejor resistencia mecánica, mientras que el secado convectivo generó estructuras más frágiles propensas a desmoronarse.

Sabor y Aroma. Durante la deshidratación, los compuestos volátiles asociados con el olor característico de los frutos rojos sufren cambios considerables. Aprea et al. (2015) afirmaron

que se confirmó que 75 compuestos volátiles con actividad odorífera en el cultivar de frambuesa Meeker eran los principales contribuyentes al perfil aromático, siendo β -damascenona, furanona de fresa, hexanal, β -ionona y β -pineno los más destacados.

Giordano et al. (2023) estudiaron el efecto de varios métodos de secado en el perfil volátil de las fresas; el secado por ventana de refractancia y el secado por aspersion aumentaron los contenidos de aldehídos y cetonas, mientras que el secado asistido por ultrasonido aumentó los ésteres. Estos cambios en la composición volátil conducen a alteraciones en el perfil sensorial, que pueden interpretarse como desviaciones del sabor característico de la fruta fresca.

Los nuevos compuestos volátiles formados durante el secado, principalmente productos de las reacciones de Maillard como las pirazinas y los furanos son una fuente potencial para la aceptabilidad sensorial, pero su contribución depende de su naturaleza y concentración. Las temperaturas moderadas y los tiempos cortos minimizan la formación de compuestos indeseables, mientras que condiciones más severas pueden generar notas tostadas, caramelizadas o incluso quemadas.

Implicaciones para el Aprovechamiento en Colombia

Consideraciones Tecnológicas

Varios factores deben tenerse en cuenta durante la selección de tecnologías de deshidratación adecuadas para el contexto colombiano, como la disponibilidad de equipos, los costos de inversión y operación, los requisitos energéticos, la escala de producción objetivo y la naturaleza del mercado de destino.

Los pequeños y medianos fabricantes (que constituyen la mayor parte del sector de frutas rojas en Colombia) pueden acceder a tecnologías económicas como el secado solar mejorado y el secado convectivo con energía de origen local. Aunque estas técnicas implican una mayor tasa

de pérdida de compuestos bioactivos termosensibles, pueden ser una fuente clave para minimizar las pérdidas postcosecha y para producir productos que tengan una mayor vida útil.

La deshidratación osmótica como proceso de pretratamiento seguida de secado convectivo es un método de tratamiento intermedio que se sabe que mejora la retención de compuestos sin una gran innovación. La investigación realizada sobre la mora de Castilla por investigadores colombianos también establece las bases técnicas de cómo se puede utilizar lo mismo basado en materias primas autóctonas.

Un caso de uso de mayor valor agregado para mercados de exportación o segmentos nacionales premium justificaría la mayor inversión de capital en tecnologías de liofilización, microondas al vacío o ventana de refractancia. Estas alternativas son particularmente importantes para la creación de ingredientes funcionales, suplementos dietéticos y productos diferenciados basados en frutas rojas colombianas.

Consideraciones de Mercado

La fruta roja deshidratada ofrece un mercado competitivo con diversas características en varios segmentos de precio. El segmento alimentario en el extremo de los ingredientes se centra en la funcionalidad, estabilidad y costo en lugar del valor nutricional y/o precio, mientras que el segmento de consumo directo aprecia los atributos sensoriales, como el color, la textura y el sabor. Los mercados de productos funcionales y suplementos ponen mayor énfasis en los compuestos bioactivos y la evidencia de beneficios para la salud.

El método de deshidratación debe coincidir con el segmento de mercado estudiado. Los productos enfocados en la industria de jugos, mermeladas o colorantes pueden manejar mejor los cambios en las propiedades sensoriales en comparación con los snacks de frutas deshidratadas dirigidos al consumo, que requieren una mejor preservación de los atributos visuales y

organolépticos.

Estas tendencias hacia productos naturales, sin aditivos y características del producto tienden a promover el desarrollo de frutas rojas deshidratadas como ingredientes y productos finales. Debido a su diversidad de especies y variedades, entre ellas la mora de Castilla andina endémica, Colombia tiene ventajas comparativas en estos mercados emergentes.

Integración con Políticas Públicas

Los resultados de la presente investigación son consistentes con los objetivos de la Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional en el CONPES 113 de 2008, en particular en el uso de alimentos nutritivos y la minimización de pérdidas en la cadena agroalimentaria. También se alinean con las disposiciones formuladas en la Ley 1990 de 2019 sobre la prevención de pérdidas y desperdicios de alimentos.

Las capacidades tecnológicas para la deshidratación de frutos rojos pueden lograr varios objetivos de política pública, como la reducción de pérdidas post-cosecha estimadas en más del 70% para las moras, la generación de valor agregado en las áreas rurales productoras, la diversificación de las exportaciones agroindustriales y el aumento del acceso a alimentos nutritivos con una vida útil prolongada.

Estas recomendaciones del estudio podrían informar el diseño de programas de asistencia técnica, líneas de crédito para inversión en tecnología y estrategias de desarrollo agroindustrial regional. La transferencia de conocimiento de la investigación a los productores es un elemento integral en el desarrollo de estos potenciales identificados.

Conclusiones

La revisión sistemática de la literatura permitió la identificación y caracterización de seis métodos principales de deshidratación aplicados a las bayas: secado convectivo por aire caliente, liofilización, deshidratación osmótica, secado por infrarrojos, secado por microondas y microondas al vacío, y ventana de refractancia. Diversos principios operativos, demandas tecnológicas y efectos sobre la calidad del producto de cada método dictan la efectividad de su implementación en ciertas aplicaciones y contextos de producción.

El secado convectivo por aire caliente es la tecnología más comúnmente aplicada debido a su bajo costo y simplicidad operativa, pero es el proceso que causa las mayores pérdidas de compuestos bioactivos termosensibles. La liofilización es el método probado para retener las características nutricionales y sensoriales; sin embargo, su costo relativamente alto limita su aplicación a productos de alto valor agregado. La utilización de tecnologías emergentes como el secado por infrarrojos asistido por pulsos de vacío y la ventana de refractancia revela potencial para producir equilibrios apropiados para mantener la calidad, la eficiencia del procesamiento y la viabilidad económica.

La evidencia sugería que la vitamina C era el compuesto más sensible al calor en las frutas rojas, con una pérdida total de más del 90% en los métodos de secado por convección. Solo la liofilización logra retenciones superiores al 95%, mientras que la ventana de refractancia y el microondas al vacío son intermedios entre el 80% y el 95%. Esta degradación masiva tiene importantes consecuencias para el valor nutricional de los productos deshidratados, que no pueden considerarse fuentes significativas de vitamina C en ausencia de tecnologías de preservación mejoradas.

La liofilización preserva entre 60% y 95% las antocianinas, responsables del color distintivo de las frutas rojas y una parte importante de su capacidad antioxidante, la ventana de refractancia alcanza retenciones del 92-94%, mientras que el secado convectivo genera pérdidas del 44% al 60%. La temperatura y el tiempo de exposición constituyen los factores más determinantes, con estudios que establecen vidas medias de degradación fuertemente dependientes de las condiciones térmicas.

La actividad antioxidante total sigue patrones similares a los polifenoles y antocianinas, con la liofilización y las tecnologías de vacío mostrando desempeño superior. Sin embargo, algunos estudios sugieren que ciertos efectos biológicos pueden mantenerse independientemente del método de secado, indicando que la funcionalidad del producto puede preservarse parcialmente incluso cuando la composición química se modifica.

El color constituye el atributo sensorial más afectado durante la deshidratación, con cambios que resultan de la degradación de antocianinas, el pardeamiento enzimático residual, las reacciones de Maillard y la oxidación de compuestos fenólicos. La liofilización produce los menores cambios de color total, seguida por las combinaciones de microondas-vacío con aire caliente. El secado convectivo genera los mayores cambios, con valores de ΔE^* que superan los umbrales de percepción visual.

La textura de los productos deshidratados depende de la preservación de la estructura celular. La liofilización mantiene estructuras porosas con textura crujiente y excelente capacidad de rehidratación, mientras que el secado convectivo tiende a producir encogimiento, densificación y texturas más duras con menor rehidratabilidad. En las frambuesas, la tasa de rehidratación se ha incrementado mediante tecnologías de infrarrojo asistidas por vacío.

El perfil aromático se modifica debido a la pérdida de los compuestos volátiles originales

y la formación de nuevos compuestos durante el procesamiento. Las temperaturas moderadas y los tiempos cortos minimizan los cambios indeseables, mientras que condiciones más severas pueden generar notas tostadas o caramelizadas que desvían el perfil sensorial del producto del de la fruta fresca.

Colombia tiene buenas condiciones propicias para el desarrollo de la agroindustria de frutas rojas deshidratadas, con variedad de especies cultivadas, una tradición productiva establecida en el altiplano cundiboyacense y un posible mercado tanto a nivel nacional como para exportación. Sin embargo, las pérdidas postcosecha de más del 70% en la mora de Castilla demuestran la necesidad urgente de implementar tecnologías de conservación para aprovechar un cultivo actualmente desperdiciado.

Los trabajos científicos realizados en Colombia sobre la deshidratación de frutas rojas, incluidos los estudios en las universidades sobre deshidratación osmótica y secado convectivo de la mora de Castilla, sientan las bases técnicas para la implementación de procesos adaptados a las condiciones locales. Sin embargo, existen lagunas de conocimiento en cuanto a las frambuesas y tecnologías emergentes que necesitan más investigación.

Según los datos de revisión, la investigación sobre la deshidratación de frambuesas es relativamente limitada en comparación con otras frutas rojas, como las fresas y los arándanos, lo que requiere la extrapolación de conocimientos de especies relacionadas. Esta situación representa una oportunidad para el desarrollo de investigaciones que generen información directamente aplicable a esta especie de creciente importancia comercial en Colombia.

Recomendaciones

Se recomienda a los pequeños y medianos productores de frutos rojos en Colombia considerar la implementación de sistemas de secado solar mejorado o secado convectivo de bajo costo como estrategia inicial para reducir pérdidas postcosecha y generar productos con vida útil extendida. Aunque estos métodos implican mayores pérdidas de compuestos bioactivos termosensibles que tecnologías más avanzadas, su accesibilidad económica permite su adopción inmediata con impacto positivo sobre la sostenibilidad de las unidades productivas.

Con capacidad de inversión y acceso a mercados nacionales y de exportación de mayor valor, se sugiere que las empresas agroindustriales evalúen la viabilidad de tecnologías como la liofilización para el desarrollo de ingredientes funcionales, polvos encapsulados y productos diferenciados enfocados en mercados nacionales y de exportación premium. Para pulpas y purés, la ventana de refractancia merece especial consideración, dada su capacidad para preservar compuestos bioactivos con tiempos de procesamiento cortos.

Se sugiere implementar sistemas de trazabilidad y control de calidad que permitan la caracterización de las materias primas entrantes, el monitoreo de los parámetros del proceso y la verificación de los atributos del producto final. La documentación sistemática de estos factores facilita la optimización del proceso y el cumplimiento de los requisitos de mercados exigentes.

Se recomienda priorizar la investigación sobre la deshidratación de las frambuesas colombianas que genere información directamente aplicable a esta especie bajo condiciones de producción local. Los estudios deben incluir variedades cultivadas en el país, evaluar múltiples parámetros de calidad de manera integrada y considerar aspectos de escalado y viabilidad económica.

El desarrollo de protocolos optimizados para combinar pretratamientos (deshidratación

osmótica, escaldado, ultrasonido) con métodos de secado convencionales constituye un área de investigación prometedora que puede mejorar la calidad del producto sin requerir grandes inversiones tecnológicas. La validación de estos protocolos bajo condiciones reales de producción, no solo a escala de laboratorio, es esencial para su transferencia efectiva.

Se sugiere explorar el potencial de tecnologías emergentes como el secado por infrarrojos, la ventana de refractancia y combinaciones híbridas en las bayas colombianas. Estas investigaciones deben incluir análisis de costos y evaluaciones de escalabilidad para guiar las decisiones de inversión tecnológica.

La caracterización de la vida útil y la estabilidad de los productos deshidratados durante el almacenamiento representa un área que requiere más investigación. Los estudios deben evaluar la evolución de las propiedades nutricionales, sensoriales y microbiológicas bajo diferentes condiciones de temperatura, humedad y empaque, generando información para el diseño de especificaciones del producto y condiciones de almacenamiento adecuadas.

Se deben desarrollar programas de apoyo técnico y extensión rural que tengan la capacidad de permitir la transferencia de conocimientos con respecto a las tecnologías de conservación postcosecha para las bayas. Las buenas prácticas de cosecha y el procedimiento adecuado postcosecha, así como algunas técnicas básicas de deshidratación, pueden ayudar capacitando a los productores, y las pérdidas actuales se estiman en más del 70%.

Sería necesario establecer líneas de financiamiento para la compra de equipos de deshidratación por parte de pequeños y medianos productores, así como establecer centros de acopio y procesamiento a escala comunitaria para ayudar con la adopción de tecnologías que actualmente no están fácilmente disponibles de manera individual.

También se debería considerar la implementación de bayas deshidratadas en programas

de alimentación escolar y seguridad alimentaria, su estabilidad, almacenamiento y valor nutricional. Al hacerlo, también se puede desarrollar un mercado para los productores y proporcionar alimentos a necesidades alimentarias más comunes en comunidades susceptibles enriquecidas con contenidos elevados de compuestos bioactivos.

Fomentar la investigación a través de convocatorias específicas, asociaciones universidad-empresa y proyectos de transferencia de tecnología para desarrollar capacidades nacionales para el procesamiento de bayas. El compromiso con políticas de seguridad alimentaria, desarrollo rural y promoción de exportaciones contribuirá en gran medida a maximizar el impacto de estas inversiones.

La investigación sobre bioaccesibilidad y biodisponibilidad de compuestos bioactivos en frutos rojos deshidratados merece atención prioritaria, considerando que la retención de compuestos durante el procesamiento no necesariamente se traduce en mayor aprovechamiento biológico. Estos estudios pueden orientar la selección de métodos que maximicen no solo la retención sino el valor nutricional efectivo.

Se sugiere explorar el potencial de la encapsulación y la adición de agentes protectores para mejorar la estabilidad de compuestos bioactivos durante la deshidratación y el almacenamiento posterior. Los estudios en mora de Castilla con maltodextrina proporcionan fundamento inicial para investigaciones más amplias en esta dirección.

Finalmente, se recomienda el desarrollo de análisis económicos que evalúen la rentabilidad de tecnologías de deshidratación bajo condiciones colombianas, considerando costos de inversión, operación, energía, mano de obra y mantenimiento, así como los precios de mercado para los productos resultantes. Esta información resulta crítica para orientar las decisiones de inversión tecnológica de productores, agroindustriales y entidades de fomento.

Referencias Bibliográficas

- Agudelo, L. (2012). Interacciones agua-sólido en frutas liofilizadas y sus consecuencias sobre liofilizadas y sus consecuencias sobre aspectos estructurales, atributos aspectos estructurales, atributos cromáticos y distribución espacial de la cromáticos y distribución espacial de la luz.
- Aguilar, J. (2012). *Métodos De Conservación De Alimentos* (1era edición).
https://www.academia.edu/40500611/M%C3%89todos_de_conservaci%C3%93n_de_alimentos
- Agronet. (2026). Estadísticas agrícolas, área y producción de mora, fresa, arándanos en Colombia. Obtenido de <https://agronet.gov.co/>:
https://agronet.gov.co/estadisticas/agricola?producto_municipal=10010101#municipal
- Agudelo-Laverde, L. M., Schebor, C., & Buera, M. P. (2013). Water content effect on the chromatic attributes of dehydrated strawberries during storage, as evaluated by image analysis. *LWT - Food Science and Technology*, 52(2), 157-164. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.008>
- Analdex, (2021). www.analdex.org. Obtenido de www.analdex.org:
<https://analdex.org/2021/10/20/informe-exportaciones-de-berries/>
- Analdex, (2024). www.analdex.org. Obtenido de www.analdex.org:
<https://analdex.org/2025/06/06/informe-de-exportaciones-colombianas-de-frutas-2024/>
- Akpinar, E. K., & Bicer, Y. (2007). Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(10), 1068-1075. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2007.01.019>
- Aldaba, M. A., Parada, J. L., Cañete, G. S., & Lapuerta, J. R. (2016). El arándano: Propiedades nutricionales y funcionales. *Alimentación, Nutrición y Salud*, 23(3), 67-72.
- Amami, E., Khezami, W., Mezrigui, S., Badwaik, L. S., Bejar, A. K., Perez, C. T., & Kechaou, N. (2017). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the

- convective drying of strawberry. *Ultrasonics Sonochemistry*, 36, 286-300.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.12.007>
- Apra, E., Biasioli, F., & Gasperi, F. (2015). Volatile compounds of raspberry fruit: From analytical methods to biological role and sensory impact. *Molecules*, 20(2), 2445-2474. <https://doi.org/10.3390/molecules20022445>
- Barbosa-Cánovas, G. V., Fontana, A. J., Schmidt, S. J., & Labuza, T. P. (2007). *Water activity in foods: Fundamentals and applications*. Blackwell Publishing.
- Bravo Espinoza, D. Y., & Garcia Ponce, N. G. (2025). Aceptabilidad bebida funcional de frutos rojos, algas rojas (*Rhodymenia howeana*) con betalainas como antioxidantes contra los radicales libres Huaral–2023
- Buckow, R., Kastell, A., Terefe, N. S., & Versteeg, C. (2010). Pressure and temperature effects on degradation kinetics and storage stability of total anthocyanins in blueberry juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(18), 10076-10084.
<https://doi.org/10.1021/jf1015347>
- Calín-Sánchez, Á., Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Kharaghani, A., Masztalerz, K., Carbonell-Barrachina, Á. A., & Figiel, A. (2020). Comparison of Traditional and Novel Drying Techniques and Its Effect on Quality of Fruits, Vegetables and Aromatic Herbs. *Foods*, 9(9), 1–27. <https://doi.org/10.3390/foods9091261>
- Cámara de Comercio de Bogotá - CCB. (2015). *Manual: Fresa. Programa de Apoyo Agrícola y Agroindustrial*.
- Celli, G. B., Khattab, R., Ghanem, A., & Brooks, M. S. L. (2016). Refractance Window™ drying of haskap berry – Preliminary results on anthocyanin retention and physicochemical properties. *Food Chemistry*, 194, 218-221.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.012>
- Departamento Nacional de Planeación - DNP. (2016). *Pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia*.
<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Publicaciones/Pérdida%20y%20desperdicio%20de%20alimentos%20en%20colombia.pdf>
- DANE. (2025). *Estadísticas de exportaciones de arándano*. Departamento

- Administrativo Nacional de Estadística.
- Editores de Encyclopaedia Britannica. (2023). Strawberry. En Encyclopaedia Britannica. <https://www.britannica.com/plant/strawberry>
- Feliziani, E., & Romanazzi, G. (2016). Postharvest decay of strawberry fruit: Etiology, epidemiology, and disease management. *Journal of Berry Research*, 6(1), 47-63. <https://doi.org/10.3233/JBR-150113>
- Fernandes, F. A. N., Rodrigues, S., Law, C. L., & Mujumdar, A. S. (2015). Quality retention in strawberries dried by emerging dehydration methods. *Food Research International*, 79, 102-108. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.043>
- Fito Maupoey, P., Andrés, A. M., Barat, J. M., & Albors, A. M. (2001). Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Universidad Politécnica de Valencia.
- Fischer, G. (2023). Avances en el cultivo de las berries en el trópico. Avances en el cultivo de las berries en el trópico.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. (2019). The state of food and agriculture 2019: Moving forward on food loss and waste reduction. <https://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. (2023). FAOSTAT: Crops and livestock products. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Franky, M. (2012). Frutos rojos: Propiedades y beneficios para la salud. Editorial Médica Panamericana.
- García Muñoz, M. C., Botina Azaín, B. L., Jiménez Ortega, P. E., & Cardona, W. A. (2020). Identificación de las causas de deterioro de la calidad de la mora y propuestas para su reducción. Corporación colombiana de investigación agropecuaria-AGROSAVIA.
- García Rubio, J. C., García González de Lena, G., & Ciordia Ara, M. (2014). El cultivo del frambueso. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA).
- Garzón, G. A., Riedl, K. M., & Schwartz, S. J. (2011). Antioxidant activity, total phenolics content, anthocyanin, and color stability of isotonic model

- beverages colored with Andes berry (*Rubus glaucus* Benth) anthocyanin powder. *Journal of Food Science*, 76(1), S26-S34.
<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01935.x>
- Germán, F., & Giraldo, M. (2010). Manual técnico del cultivo de mora de Castilla. Corpoica. Giordano, M., Ferrante, A., & Ferreyra, R. M. (2023). Volatile profile of strawberry fruits and influence of different drying methods on their aroma and flavor: A review. *Molecules*, 28(15), 5810.
<https://doi.org/10.3390/molecules28155810>
- Giraldo Bedoya, D. P., Arango, L. M., & Márquez, C. J. (2004). Osmodeshidratación de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth) con tres agentes edulcorantes. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 57(1), 2253-2268.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472004000100008
- Hancock, J. F. (1999). *Strawberries*. CABI Publishing.
- Kiyoshi Hayashi, Takafumi Kasumi, Naoya Kubo, Kazutomo Haraguchi & Nobuzo Tsumura (1989) Effects of N-Acetylmuramidase from *Streptomyces rutgersensis* H-46 as a Food Preservative, *Agricultural and Biological Chemistry*, 53:12, 3173-3177.
<https://doi.org/10.1080/00021369.1989.10869845>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill.
- Huang, W. Y., Zhang, H. C., Liu, W. X., & Li, C. Y. (2012). Survey of antioxidant capacity and phenolic composition of blueberry, blackberry, and strawberry in Nanjing. *Journal of Zhejiang University Science B*, 13(2), 94-102.
<https://doi.org/10.1631/jzus.B1100137>
- Huynh, N. K., Wilson, M. D., Eyles, A., & Stanley, R. A. (2019). Recent advances in postharvest technologies to extend the shelf life of blueberries, raspberries and blackberries. *Journal of Berry Research*, 9(4), 687-707.
<https://doi.org/10.3233/JBR-190421>
- Ibarra, A. (2021). Panorama del arándano en Colombia. *Asohfrucol*.

- Iriarte, L., & Giner, S. A. (2014). Modeling respiration rate of strawberry for modified atmosphere packaging design. *International Journal of Food Properties*, 17(9), 2039-2051. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.784328>
- Joshi, A., Gupta, A. K., Mansi, Semwal, S., Deoli, N., Rather, M. A., Naik, B., Kumar, V., Jha, A. K., Rustagi, S., & Preet, M. S. (2024). Sustainable solutions for food security: Evaluating pre-treatment technologies in the growing fruits and vegetables industry of India. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 39, 101580. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101580>
- Koraqi, H., Petkoska, A. T., Osmani, M., Nita, S., Basha, M., Abazi, S., & Gashi, R. (2023). Influence of different drying techniques on the drying kinetics, total bioactive compounds, anthocyanin profile, color, and microstructural properties of blueberry fruit. *ACS Omega*, 8(46), 43713-43725. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c05749>
- Lara, I. (2023). *Frambuesa: Características botánicas y agronómicas*. Universidad Agraria.
- León, P. (2020). Evaluación del efecto de tres diferentes métodos de secado sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de la guayaba (*Psidium guajava*). Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD.
- Ley 1990 de 2019. Por medio de la cual se crea la política para prevenir la pérdida y el desperdicio de alimentos. Congreso de la República de Colombia. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/30037776>
- Liu, Q., Zhang, M., & Fang, Z. (2024). *Rhizopus stolonifer* and related control strategies in postharvest fruit: A review. *Heliyon*, 10(8), e29522. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29522>
- Liu, Z. L., & Wang, S. Y. (2024). Far-infrared radiation heating-assisted pulsed vacuum drying (FIR-PVD) enhanced the drying efficiency and quality attributes of raspberries. *Agriculture*, 14(12), 2246. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122246>

- Luisetti, J., Balzarini, M. F., Reinheimer, M. A., Stoppani, F., & Ciappini, M. C. (2023).
Influencia del proceso de secado convectivo en el contenido de antocianinas, compuestos fenólicos totales, capacidad antimicrobiana y antioxidante en frutillas (*Fragaria annanasa* var. San Andrea). *Revista Tecnología y Ciencia*, (48), 56–72. <https://doi.org/10.33414/rtyc.48.56-72.2023>
- Malagón, P. (2012). Algunos ASPSistemas del Cultivo de Frambuesa en la Sabana de Bovamos de Colombia.
<https://www.scribd.com/document/390493983/Cultivo-de-Frambuesa>
- Márquez, C. J., Ciro, H. J., & Rojano, B. A. (2003). Efecto de un proceso de deshidratación con aire forzado en la composición química y nutricional de la mora de Castilla (*Rubus glaucus*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 56(1), 1865-1876.
- Mejía-Meza, E. I., Yáñez, J. A., Remsberg, C. M., Takemoto, J. K., Davies, N. M., Rasco, B., & Clary, C. (2010). Effect of dehydration on raspberries: Polyphenol and anthocyanin retention, antioxidant capacity, and antiadipogenic activity. *Journal of Food Science*, 75(1), H5-H12.
<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01383.x>
- Méndez-Lagunas, L., Rodríguez-Ramírez, J., Cruz-Gracida, M., Sandoval-Torres, S., & Barriada-Bernal, G. (2017). Convective drying kinetics of strawberry (*Fragaria ananassa*): Effects on antioxidant activity, anthocyanins and total phenolic content. *Food Chemistry*, 230, 174-181.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.010>
- Mesa, N. C. (2015). El cultivo del arándano. Universidad Nacional de Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). Cifras sectoriales: Mora. Sistema de Información de la Oferta Agropecuaria - SIOC.
<https://sioc.minagricultura.gov.co>
- Moon, K. M., Kwon, E. B., Lee, B., & Kim, C. Y. (2020). Recent trends in controlling the enzymatic browning of fruit and vegetable products. *Molecules*, 25(12), 2754. <https://doi.org/10.3390/molecules25122754>

- Moreiras, O., Carbajal, A., Cabrera, L., & Cuadrado, C. (2013). *Tablas de composición de alimentos* (16.^a ed.). Ediciones Pirámide.
- Mujumdar, A. S. (Ed.). (2014). *Handbook of industrial drying* (4.^a ed.). CRC Press.
- Muñoz-Fariña, O., López-Casanova, V., García-Figueroa, O., Roman-Benn, A., Ah-Hen, K., Bastías-Montes, J. M., Quevedo-León, R., & Ravanal-Espinoza, M. C. (2022). Bioaccessibility of phenolic compounds in fresh and dehydrated blueberries. *Food Chemistry Advances*, 2, 100171. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100171>
- Nindo, C. I., & Tang, J. (2007). Refractance Window dehydration technology: A novel contact drying method. *Drying Technology*, 25(1), 37-48. <https://doi.org/10.1080/07373930601152673>
- Rodríguez, L. B. D., & de Hernández, R. M. A. (2021). Tecnologías postcosecha para promover la vida de anaquel de frutos pequeños. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 22(1).
- Opara, U. L., Caleb, O. J., & Belay, Z. A. (2023). Global research network analysis of fresh produce postharvest technology: Innovative trends for loss reduction. *Postharvest Biology and Technology*, 208, 112645. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112645>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pateiro, M., Vargas-Ramella, M., Franco, D., Gomes da Cruz, A., Zengin, G., Kumar, M., Dhama, K., & Lorenzo, J. M. (2022). The role of emerging technologies in the dehydration of berries: Quality, bioactive compounds, and shelf life. *Food Chemistry: X*, 16, 100465. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100465>
- Petrusch, S., Knapp, S. J., van Kan, J. A. L., & Blanco-Ulate, B. (2019). Grey mould

- of strawberry, a devastating disease caused by *Botrytis cinerea*. *Molecular Plant Pathology*, 20(6), 877-892. <https://doi.org/10.1111/mpp.12794>
- Radojćin, M.; Pavkov, I.; Bursać Kovačević, D.; Putnik, P.; Wiktor, A.; Stamenković, Z.; Kešelj, K.; Gere, A. Effect of Selected Drying Methods and Emerging Drying Intensification Technologies on the Quality of Dried Fruit: A Review. *Processes* 2021, 9, 132. <https://doi.org/10.3390/pr9010132>
- Robledo, P., Defilippi, B., & Becerra, C. (2013). Cosecha y poscosecha de frambuesa. *Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, 264. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7645>
- Ruiz, M. (2016). Secado convectivo de fresa y su efecto en la actividad antioxidante [INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL]. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/LITER_CIIDIROA/X/2_83/Ruiz%20Hernandez%2c%20M.%20Y..pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sabarez, H. (2016). Drying of Food Materials. CSIRO Food and Nutrition. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03416-8>
- Sablani, S. S., Andrews, P. K., Davies, N. M., Walters, T., Saez, H., Syamaladevi, R. M., & Mohebbi, M. (2011). Effects of air and freeze drying on phytochemical content of conventional and organic berries. *Drying Technology*, 29(2), 205-216. <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.483047>
- Salcedo, D. (2019). Caracterización morfológica y taxonómica de la mora. Universidad de Nariño.
- Shah, H. M. S., Khan, A. S., Singh, Z., & Ayyub, S. (2023). Trends in maintaining postharvest freshness and quality of *Rubus* berries. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(5), 4044-4076. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13235>
- Sánchez-Pasos, D., Bach, C. J. M., Bach, J. B. R., & Bach, C. G. (2022). Effect of Drying by Lyophilization and Atomization on the Characteristics and Properties of Fruit Powders: A Systematic Review. In *Proceedings of the 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and*

- Technology: "Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions (pp. 1-9). Si, X., Chen, Q., Bi, J., Wu, X., Yi, J., Zhou, L., & Li, Z. (2016). Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry powders. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(6), 2055-2062. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7317>
- Stamenković, Z., Pavkov, I., Radojčin, M., Tepić, A., Kevrešan, Ž., Bikić, S., & Ponjičan, O. (2019). Convective drying of fresh and frozen raspberries and change of their physical and nutritive properties. *Foods*, 8(7), 251. <https://doi.org/10.3390/foods8070251>
- Stojanovic, J., & Silva, J. L. (2007). Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries. *Food Chemistry*, 101(3), 898-906. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.044>
- Sui, X., Zhang, T., & Jiang, L. (2023). Enzymatic browning and polyphenol oxidase control strategies. *Current Opinion in Biotechnology*, 81, 102921. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2023.102921>
- Tan, J., Han, Y., Han, B., Qi, X., Cai, X., Ge, S., & Xue, H. (2021). Anthocyanins: Factors affecting their stability and degradation. *Molecules*, 27(1), 171. <https://doi.org/10.3390/molecules27010171>
- Velazquez, M. (2011). Congelación de Alimentos [Universidad Autónoma Agraria Antonio narro división de ciencia animal departamento de ciencia y tecnología de alimentos]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/479/61825s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wojdyło, A., Figiel, A., & Oszmiański, J. (2009). Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(4), 1337-1343. <https://doi.org/10.1021/jf802507j>
- Zaragoza, R. (2013). Taxonomía y clasificación de la fresa. Universidad de Huelva.

- Zhang, L., Liao, L., Qiao, Y., Wang, C., Shi, D., An, K., & Hu, J. (2023). Effects of four drying methods on the quality, antioxidant activity and anthocyanin components of blueberry pomace. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5, 35. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00150-3>
- Zielinska, M., & Michalska, A. (2016). Microwave-assisted drying of blueberry fruits: Drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture. *Food Chemistry*, 212, 671-680. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.003>