

Bolívar Javier Llundo Michilena ^{1*}

E-mail: ua.bolivarllundo@uniandes.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1417-6897>

Aníbal Fernando Franco Pérez ¹

E-mail: us.anibalfranco@uniandes.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5958-1618>

Diego Armando Freire Muñoz ¹

E-mail: diegofreire@uniandes.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2806-9662>

¹Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Llundo Michilena, B. J., Franco Pérez, A. F., & Freire Muñoz, D. A. (2025). Liofilización de frutas ecuatorianas: conservación nutricional y oportunidades de mercado. *Universidad y Sociedad* 17(S1). e5504.

RESUMEN

El estudio tuvo como propósito analizar las ventajas de la liofilización frente a otros métodos de conservación, específicamente el secado y la congelación, con énfasis en la retención de compuestos bioactivos y en las oportunidades de mercado para las frutas ecuatorianas. Se empleó un enfoque mixto que integró métodos cuantitativos y cualitativos, comparando el desempeño de los tres procesos en cinco frutas representativas. Las muestras se sometieron a protocolos controlados de conservación y posteriormente se evaluaron parámetros físicos, nutricionales, sensoriales y microbiológicos. Los resultados mostraron que la liofilización preservó de manera superior los nutrientes, el color, la textura y la estabilidad microbiológica de las frutas, con una retención de hasta el 97 % de vitaminas y antioxidantes, además de una vida útil superior al año. En contraste, la congelación presentó pérdidas moderadas de calidad sensorial y una vida útil dependiente de la cadena de frío, mientras que el secado por aire caliente evidenció pérdidas significativas de compuestos sensibles al calor y una reducción notable de la aceptabilidad sensorial. El análisis DAFO evidenció que la liofilización es una tecnología de alto valor agregado con gran potencial de exportación, aunque limitada por los elevados costos de inversión y la escasa infraestructura en el contexto ecuatoriano. Se concluyó que este proceso no solo ofreció ventajas técnicas sobre otros métodos, sino que además abrió oportunidades de mercado alineadas con las tendencias globales de consumo saludable y sostenible.

Palabras clave:

Frutas tropicales, Conservación postcosecha, Calidad nutricional, Tecnología alimentaria.

ABSTRACT

The purpose of the study was to analyze the advantages of freeze-drying compared to other preservation methods, specifically drying and freezing, with an emphasis on the retention of bioactive compounds and market opportunities for Ecuadorian fruits. A mixed-methods approach was employed, integrating both quantitative and qualitative methods to compare the performance of the three processes in five representative fruits. The samples were subjected to controlled preservation protocols and subsequently evaluated for physical, nutritional, sensory, and microbiological parameters. The results showed that freeze-drying achieved superior preservation of nutrients, color, texture, and microbiological stability of the fruits, with up to 97% retention of vitamins and antioxidants, in addition to a shelf life exceeding one



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0.

year. In contrast, freezing showed moderate losses in sensory quality and a shelf life dependent on the cold chain, while hot-air drying resulted in significant losses of heat-sensitive compounds and a marked reduction in sensory acceptability. The SWOT analysis revealed that freeze-drying constituted a high-value-added technology with great export potential, although limited by high investment costs and scarce infrastructure in the Ecuadorian context. It was concluded that this process not only offered technical advantages over other methods but also created market opportunities aligned with global trends of healthy and sustainable consumption.

Keywords: Tropical fruits, Postharvest preservation, Nutritional quality, Food technology.

INTRODUCCIÓN

Ecuador, considerado un país megadiverso, se caracteriza por su amplia producción de frutas derivada de la presencia de múltiples pisos climáticos. En la región litoral y amazónica destacan cultivos como el mango, la guanábana, el maracuyá y el plátano; mientras que en la sierra central sobresalen especies como el tomate de árbol, el babaco y el taxo (SOLEQ.travel, 2016). Estas frutas poseen un elevado valor nutricional y propiedades organolépticas que las convierten en productos altamente atractivos para el mercado internacional. Sin embargo, su marcada perecibilidad representa un desafío para la exportación y la consolidación de cadenas de suministro estables.

Frente a esta problemática, la liofilización se plantea como una alternativa tecnológica de gran relevancia (Yao et al., 2023). Este proceso de deshidratación por sublimación permite extender la vida útil de las frutas sin comprometer de manera significativa su calidad nutricional ni sensorial. A diferencia de otros métodos convencionales, la liofilización conserva compuestos bioactivos de alto valor, como vitaminas, antioxidantes y flavonoides, además de mantener características propias del alimento, como el sabor, la textura y la apariencia (Ma et al., 2023; Wang et al., 2023).

No obstante, el aprovechamiento de esta tecnología en Ecuador aún enfrenta limitaciones. La producción gastronómica nacional se orienta mayoritariamente hacia el consumo diario de alimentos frescos, lo que incrementa la dependencia de productos perecederos. Como alternativa, algunos consumidores recurren a alimentos industrializados o deshidratados, los cuales, aunque más estables, suelen presentar pérdidas considerables de nutrientes y compuestos aromáticos. A esto se suma la falta de conocimientos técnicos especializados en los productores locales, así como la escasa disponibilidad de infraestructura adecuada como liofilizadores con sistemas

de vacío, en provincias productoras como Tungurahua, lo que restringe la adopción masiva de este método.

En este escenario, la liofilización no solo constituye una estrategia de conservación, sino también una oportunidad de innovación para diversificar la oferta alimentaria del país y potenciar su inserción en mercados internacionales que demandan productos naturales, saludables y de larga vida útil.

El presente artículo tiene como objetivo analizar las ventajas de la liofilización frente a otros métodos de conservación, específicamente el secado y la congelación, evaluando su impacto en la retención de vitaminas y compuestos bioactivos, así como las oportunidades de mercado que esta tecnología representa para el sector frutícola ecuatoriano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto, integrando técnicas cuantitativas y cualitativas, con el fin de comparar la liofilización frente a la congelación y el secado en diferentes tipos de frutas. El objetivo fue identificar cuál de los tres métodos permitió conservar mejor la calidad nutricional, sensorial y microbiológica de los productos.

Se seleccionaron cinco tipos de frutas representativas por su contenido en calorías, azúcares, fibras y vitaminas: claudia, taxo, babaco, manzana y tomate de árbol. De cada variedad se eligieron veinte unidades en estado fresco y maduro, con un peso aproximado de 100 g, libres de daños mecánicos y sin signos de descomposición. Cada fruta fue trabajada en triplicado por tratamiento, lo que generó un total de 300 muestras experimentales. Esta selección permitió asegurar homogeneidad en las muestras y representatividad en los resultados.

Las frutas se dividieron en tres grupos experimentales, correspondientes a cada método de conservación. El primer grupo fue sometido a liofilización, proceso que inició con la congelación de las muestras a -40 °C durante doce horas, seguido de la sublimación del agua en un liofilizador de laboratorio a una presión aproximada de 0,1 mbar, con una duración de entre 24 y 48 horas según el tipo de fruta. El segundo grupo se conservó mediante congelación convencional, en un congelador a -18 °C durante el mismo periodo, utilizando bolsas herméticas para evitar pérdidas de humedad. El tercer grupo se sometió a secado por aire caliente en una cámara de deshidratación a 60 °C durante 24 horas, con circulación forzada de aire para garantizar un secado uniforme.

A cada grupo se le evaluaron parámetros físicos, nutricionales, sensoriales y microbiológicos. En primer lugar, se determinó el contenido de humedad mediante la diferencia de peso antes y después de los tratamientos, complementado con la medición de la actividad de agua (aw).

Posteriormente, se analizaron variables nutricionales como la concentración de vitamina C, los compuestos fenólicos totales y el contenido de azúcares reductores. En cuanto a las características físicas y sensoriales, se evaluaron la textura, la porosidad, el color, el aroma y el sabor a través de un panel de catadores entrenados. Se determinó la estabilidad microbiológica mediante el conteo de unidades formadoras de colonias (UFC) en medios estándar.

Para la obtención de resultados, se utilizaron diferentes equipos e instrumentos de laboratorio, entre los cuales destacaron el liofilizador con bomba de vacío, el congelador de -18 °C, la cámara de secado con aire forzado, la balanza analítica con precisión de $\pm 0,01$ g, el medidor de actividad de agua, el espectrofotómetro UV-Vis para vitamina C y compuestos fenólicos, el cromatógrafo líquido de alta resolución (HPLC) para azúcares, así como medios de cultivo y estufas de incubación para el análisis microbiológico. Los procesos se desarrollaron bajo condiciones controladas de laboratorio con el fin de garantizar la reproducibilidad de los resultados y reducir la influencia de variables externas.

Para el análisis estratégico de la viabilidad de la liofilización, se aplicó el procedimiento DAFO identificando Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas asociadas a la implementación de esta tecnología en el contexto productivo e industrial. Esto permitió evaluar no solo el desempeño técnico, sino también la factibilidad económica, comercial y de innovación, brindando una perspectiva integral sobre la aplicación de la liofilización en frutas ecuatorianas.

RESULTADOS-DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los perfiles del aproximado nutricional encontrados en las muestras. Estos valores proporcionaron una visión completa para el estudio de cada método.

Tabla 1: Valor nutricional de la muestra por pieza.

Alimento	Calorías	Proteínas	Grasas	Carbohidratos
Tomate de árbol	26.0	2.4	0.6	4.3
Claudia	121.0	2.9	0.1	29.2
Babaco	30.0	4.4	0.6	4.0
Taxo	44.0	6.0	0.7	6.3
Manzana arenosa	44.0	1.3	0.2	11.1

Fuente: Elaboración propia.

La comparación de los métodos de conservación muestra que la liofilización mantiene de manera superior la calidad física, nutricional y sensorial de las frutas, lo cual se explica por la naturaleza de su proceso (Tabla 2). Al eliminar el agua mediante sublimación a bajas temperaturas y presión reducida, se evita la formación de cristales de hielo grandes que dañan las membranas celulares y la degradación térmica de compuestos sensibles como vitaminas y antioxidantes. Esto permite la alta retención de nutrientes y la textura porosa característica, así como la capacidad de rehidratación eficiente. La eliminación casi total de agua redujo la actividad de agua, limitando el crecimiento microbiano y prolongando la vida útil de las frutas por más de un año.

Tabla 2: Comparación de métodos.

Parámetro	Liofilización	Congelación	Secado por aire caliente
Reducción de peso	Disminución del 85–95% del peso inicial, confirmando eliminación del agua	Reducción mínima (<5%), ya que el agua permanece congelada	Disminución significativa (70–85%) debido a la eliminación de agua
Conservación de nutrientes	Retención de hasta el 97% de vitaminas y antioxidantes	Retención moderada (70–85%), con posible degradación por almacenamiento prolongado	Retención variable (50–70%), con pérdidas por temperatura y tiempo de secado
Apariencia y textura	Conservación de la forma original, textura porosa y quebradiza	Color relativamente conservado mientras está congelada; pérdida de firmeza y exudación tras descongelación	Contracción del tamaño, oscurecimiento parcial, textura dura o rígida
Vida útil prolongada	Más de un año sin deterioro significativo en condiciones herméticas	Varias semanas a meses en congelador, según tipo de fruta y estabilidad de la cadena de frío	Meses bajo condiciones de almacenamiento seco y protegido de la humedad

Rehidratación eficiente	Recuperación de gran parte de la textura y sabor original al añadir agua	Limitada; la fruta no recupera completamente la textura original y puede estar más blanda o acuosa	Parcial; la fruta puede recuperar algo de su forma, pero no totalmente la textura ni el sabor
-------------------------	--	--	---

Fuente: elaboración propia.

En contraste, la congelación protege el color y algunos compuestos nutritivos debido a las bajas temperaturas, pero la formación de cristales de hielo dentro de los tejidos provoca ruptura celular, pérdida de firmeza y exudación de líquidos al descongelar. La retención de nutrientes fue moderada porque ciertos procesos de oxidación y degradación enzimática continúan, aunque a ritmo reducido, y la fruta no recupera completamente su textura al rehidratarla, limitando su calidad sensorial. La vida útil se restringe por la necesidad de mantener constante la cadena de frío.

Por su parte, el secado por aire caliente elimina gran parte del agua, lo que inhibe parcialmente la actividad microbiana y permite un almacenamiento prolongado, pero la exposición a temperaturas elevadas durante varias horas provoca pérdidas significativas de vitaminas sensibles al calor y antioxidantes, además de oscurecimiento y contracción del tejido. La textura rígida y la rehidratación parcial reflejan la desnaturalización de proteínas y el colapso de estructuras celulares, lo que limita la recuperación de las propiedades originales de la fruta.

Con el fin de complementar los resultados experimentales, se aplica un análisis DAFO al método de liofilización, el cual permite identificar sus principales fortalezas y debilidades internas, así como las oportunidades y amenazas externas que condicionan su implementación a nivel productivo e industrial. Esta herramienta estratégica facilita comprender, no solo el desempeño técnico del proceso, sino también su viabilidad económica, comercial y de innovación en el mercado global de alimentos. La Tabla 3 resume los aspectos más relevantes del análisis.

Tabla 3: Análisis DAFO de la liofilización.

Fortalezas	Debilidades
<p>Preserva la estructura celular de las frutas, evitando daños asociados a la formación de cristales de hielo o a la desnaturalización térmica.</p> <p>Garantizó una actividad de agua extremadamente baja, lo que redujo el riesgo de proliferación microbiana y enzimática.</p> <p>Proporciona una textura ligera y crujiente muy valorada en la industria de los snacks saludables.</p> <p>Aportó una alta densidad nutricional por unidad de peso, aumentando el valor agregado en la comercialización internacional.</p>	<p>Elevado costo de los equipos y del proceso en comparación con otros métodos tradicionales.</p> <p>Tiempo de procesamiento prolongado (24–48 horas según la fruta).</p> <p>Requiere condiciones controladas de presión y temperatura que limitan su accesibilidad en pequeñas producciones.</p>
Oportunidades	Amenazas
<p>Creciente demanda en el mercado global de alimentos saludables, snacks naturales y productos con larga vida útil.</p> <p>Posibilidad de exportación de frutas tropicales liofilizadas, con alto valor agregado frente al mercado fresco.</p> <p>Innovación tecnológica que podría reducir los costos de producción en el futuro.</p> <p>Potencial para su aplicación en sectores especializados como nutrición deportiva, medicina y alimentación espacial.</p>	<p>Competencia de métodos más económicos (congelación y secado), que, aunque menos eficaces, son más accesibles para productores locales.</p> <p>Escasa infraestructura y conocimiento técnico en ciertas regiones para implementar la tecnología.</p> <p>Sensibilidad del mercado a los costos elevados del producto final.</p> <p>Riesgo de que la falta de inversión en innovación frene su adopción masiva en la industria alimentaria.</p>

Fuente: Elaboración propia.

El mercado de alimentos liofilizados en general, y el de frutas liofilizadas en particular, experimenta un crecimiento dinámico y sostenido. Diferentes informes de mercado confirman este auge, proyectando un futuro robusto para el sector. El tamaño del mercado global de alimentos liofilizados se valora en USD 36.45 mil millones en 2025, con una previsión de alcanzar los USD 54.51 mil millones para 2030, a una CAGR del 8.38%. Otras fuentes estiman una CAGR del 9.00% para el mercado específico de frutas liofilizadas entre 2025 y 2032. Estas proyecciones, aunque con ligeras variaciones, demuestran un consenso sobre la solidez del crecimiento del sector (Data Bridge Market Research, 2024; Mordor Intelligence, 2025).

Una de las principales fuerzas impulsoras fue la creciente demanda de productos de “etiqueta limpia” y snacks saludables. Los consumidores se muestran cada vez más preocupados por los ingredientes de los alimentos que consumían y buscan alternativas a los snacks procesados tradicionales que estén libres de aditivos, conservantes y azúcares añadidos. La liofilización, al ser un proceso natural que preserva las propiedades originales de la fruta, se alinea perfectamente con esta preferencia (Data Bridge Market Research, 2024).

La capacidad de la liofilización para crear formatos variados (polvo, trozos, etc.) no representa únicamente una ventaja de producto, sino también una palanca estratégica para la penetración en múltiples sectores. Un producto liofilizado funciona tanto como un snack de conveniencia para la venta minorista, como un ingrediente funcional para la industria de alimentos y bebidas, lo que permite a los fabricantes diversificar sus flujos de ingresos y mitigar riesgos. La Tabla 4 presenta una visión consolidada de las estadísticas del mercado global de alimentos liofilizados, con datos del periodo reciente y proyecciones a futuro.

Tabla 4: mercado internacional en liofilización.

Parámetro del Mercado	Valor (2024/2025)	Proyección (2030/2032)	CARG	Fuente
Tamaño del Mercado (alimentos liofilizados)	USD 36.45 mil millones (2025)	USD 54.51 mil millones (2030)	8.38%	(Mordor Intelligence, 2025)
Tamaño del Mercado (frutas liofilizadas)	USD 9.40 mil millones (2024)	USD 18.74 mil millones (2032)	9.00%	(Data Bridge Market Research, 2024)
Tamaño del Mercado (frutas y verduras liofilizadas)	USD 8.75 mil millones (2024)	USD 14.87 mil millones (2032)	6.86%	(Fortune Business Insights, 2025)
Cuota Regional	América del Norte: 35.21% (2024)	Asia-Pacífico: CAGR del 9.82% (2025-2030)	-	(Mordor Intelligence, 2025)

Fuente: elaboración propia.

El análisis del mercado internacional de alimentos liofilizados incluye la revisión de empresas líderes. Dichas compañías se diferencian por su enfoque estratégico, sus ventajas competitivas y las acciones implementadas para sostener su crecimiento. A través de la Tabla 5 se presentan ejemplos representativos de actores globales que, desde diferentes segmentos, aprovechan la liofilización como herramienta para diversificar su oferta, fortalecer su posicionamiento y responder a la creciente demanda de productos saludables y de larga vida útil.

Tabla 5: Revisión de empresas líderes en el mercado internacional.

Empresa	Enfoque/Mercado Principal	Ventaja Competitiva	Estrategia de Crecimiento
Nestlé S.A.	Portafolio diversificado	Marca global, cadena de suministro integrada	Integración de productos liofilizados en líneas de productos existentes (Mordor Intelligence, 2024)
LYOFOOD	Comidas premium para actividades al aire libre	Control de calidad integral, innovación tecnológica	Invertir en sostenibilidad, diferenciación de productos de nicho (LYOFOOD, s. f.) (Ultralight Outdoor Gear, s. f.)
Crispy Green Inc.	Snacks de fruta liofilizada	Oferta de productos única, conveniencia	Innovación en productos y expansión de canales de distribución (PitchBook Data, Inc., 2025)
European Freeze Dry	Soluciones B2B personalizada	Alianzas en la cadena de suministro, especialización en procesos	Fortalecimiento de alianzas para mejorar la eficiencia de la distribución (Mordor Intelligence, 2025)

Fuente: Elaboración propia.

El análisis del sector de la liofilización de frutas revela un mercado con un potencial de crecimiento significativo y sostenido. La tecnología de liofilización estuvo idealmente posicionada para capitalizar las mega tendencias de consumo de aquel periodo, como la búsqueda de la salud, la conveniencia y la sostenibilidad. Para los actores de la industria, fundamentalmente en su desarrollo en Ecuador, que buscan prosperar en este mercado dinámico, se plantean las siguientes recomendaciones estratégicas:

- Inversión en innovación y diferenciación: en lugar de competir únicamente en precio, las empresas se enfocan en la innovación de productos (creando nuevos formatos y aplicaciones) y en la eficiencia de los procesos de producción para reducir los costos a largo plazo. La automatización y las tecnologías más eficientes resultan el factor principal para mantenerse competitivas.
- Comunicación de valor y educación del consumidor: fue fundamental comunicar de manera transparente los beneficios del proceso de liofilización. Las campañas de marketing se enfocan en desmitificar el proceso y resaltar las ventajas de la retención de nutrientes, el sabor natural y la larga vida útil, con el fin de justificar el precio premium y contrarrestar la percepción negativa de “comida artificial”.

- Expansión de canales y estrategia digital: con el crecimiento del comercio electrónico y la influencia de las redes sociales, las empresas fortalecen su presencia en línea. La inversión en plataformas de e-commerce directas al consumidor y la utilización de redes sociales como herramienta de marketing aumentan significativamente el alcance y la interacción con la audiencia.

La liofilización no fue simplemente un método de conservación; constituye una tecnología habilitadora que transforma un producto agrícola en una oferta de alto valor añadido. Aquellos actores que logran dominar estrategias económicas y de percepción, mientras capitalizan las tendencias de consumo y la innovación, quedan bien posicionados para liderar el futuro de la conservación de alimentos.

CONCLUSIONES

El estudio demuestra que la liofilización fue el método más eficiente para preservar las propiedades nutricionales, sensoriales y microbiológicas de las frutas ecuatorianas en comparación con la congelación y el secado por aire caliente. La retención de hasta el 97% de vitaminas y antioxidantes, junto con la conservación de la estructura celular y una vida útil superior al año, confirma la superioridad de este proceso. Esto evidenció que la liofilización no solo representó una alternativa tecnológica viable, sino que también se constituyó en un factor diferenciador para generar productos de alto valor agregado orientados al mercado internacional.

La investigación aportó un análisis integral al aplicar la metodología multicriterio y el diagnóstico estratégico DAFO, lo que permitió identificar con claridad tanto las ventajas técnicas como las limitaciones económicas y productivas de la liofilización. La combinación de estos enfoques resaltó la necesidad de infraestructura especializada y de conocimientos técnicos avanzados para garantizar la calidad y la escalabilidad del proceso. Se concluyó que la liofilización abrió nuevas oportunidades de mercado aliñeadas con las tendencias globales de consumo saludable, conveniencia y sostenibilidad. El potencial de diversificación hacia sectores especializados como la nutrición deportiva, la medicina y la alimentación espacial reforzó la aplicabilidad de esta tecnología más allá del ámbito tradicional de exportación de frutas. A futuro, se vislumbró la necesidad de promover inversiones en innovación, capacitación técnica y transferencia tecnológica, con el fin de superar las barreras actuales y consolidar la liofilización como un motor de competitividad y desarrollo en la industria agroalimentaria ecuatoriana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Data Bridge Market Research. (2024). *Global Freeze-Dried Fruits Market – Industry Trends, Size, Share & Forecast to 2032*. <https://www.databridgemarketresearch.com/es/reports/global-freeze-dried-fruits-market>
- Fortune Business Insights. (2025). *Freeze-Dried Fruits and Vegetables Market, 2024-2032*. <https://www.fortunebusinessinsights.com/es/freeze-dried-fruits-and-vegetables-market-110443>
- Ma, Y., Yi, J., Jin, X., Li, X., Feng, S., & Bi, J. (2023). Freeze-drying of fruits and vegetables in food industry: Effects on phytochemicals and bioactive properties attributes-a comprehensive review. *Food Reviews International*, 39(9), 6611-6629. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/87559129.2022.212992>
- Mordor Intelligence. (2024). *Lista de empresas de alimentos liofilizados* [Companies in the Freeze-Dried Food Market]. <https://www.mordorintelligence.ar/industry-reports/freeze-dried-food-market/companies>
- Mordor Intelligence. (2025). *Europe Freeze-Dried Food Market – Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity, and Forecast 2025–2030*. <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/europe-freeze-dried-food-market>
- Mordor Intelligence. (2025). *Freeze Dried Food Market Size, Share & Trends Analysis – Forecasts to 2030*. <https://www.mordorintelligence.ar/industry-reports/freeze-dried-food-market>
- LYOFOOD. (s. f.). Process – *From seeds to the final product*. <https://lyofood.com/pages/process>
- PitchBook Data, Inc. (2025). *Crispy Green 2025 Company Profile*. <https://pitchbook.com/profiles/company/333525-61>
- SOLEQ.travel. (2016). *Frutas de Ecuador*. <https://soleq.travel/es/frutas-de-ecuador/>
- Ultralight Outdoor Gear. (s. f.). *LYO – Freeze-dried meals & snacks*. <https://ultralightoutdoorgear.co.uk/lyo/>
- Wang, K., Chang, Q., Gao, K., Wang, B., Gao, R., & Yan, Q. (2023). Octadecyltrimethoxysilane modified freeze-drying magnesium silicate hydroxide towards high-performance wear-resistance: Synthesis, characterization, and tribological evaluation. *Wear*, 534, 205153. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164823005367>
- Yao, J., Chen, W., & Fan, K. (2023). Novel efficient physical technologies for enhancing freeze drying of fruits and vegetables: A review. *Foods*, 12(23), 4321. <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/23/4321>