



## Evaluación fisicoquímica, nutricional y microbiológica en banano (Cavendish Valery) deshidratado por Liofilización, Ventana de Refractancia y Convección forzada.

### Physico-chemical, nutritional and microbiological evaluation in banana (Cavendish Valery) dried by Freeze-drying, Refractance Window and Forced convection.

Yenny Rivera Agredo E<sup>1</sup>., Beatriz Guevara Guerrero, Cristian E. Díaz Urbano

Recibo: 02.10.2018 Aceptado: 03.22.2019

Rivera Y., Guevara B., Diaz C. (2019). Evaluación fisicoquímica, nutricional y microbiológica en banano (Cavendish Valery) deshidratado por Liofilización, Ventana de Refractancia y Convección forzada. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*. 6(1), 95-102.

#### Resumen

En este estudio, se evaluó la viabilidad del proceso de osmodeshidratación el efecto de las temperaturas usadas en los procesos de secado en las propiedades fisicoquímicas (textura), nutricionales (fibra, vitaminas A y C, capacidad antioxidante) y microbiológicas de rodajas de banano utilizando procesos de secado como Liofilización (L), Ventana de Refractancia (VR) y Convección forzada (CF). La liofilización se utilizó temperaturas de -40 °C y un nivel de vacío de 130 micrones de hg, en Ventana de Refractancia la temperatura del proceso fue de 90 °C y en el secado convectivo las temperaturas estuvieron entre 75 - 80 °C. Se encontró que en los métodos de secado por liofilización, VR y convección forzada presentaron diferencia significativa sobre las variables de respuesta (fibra, vitaminas A y C) y en las otras variables de respuestas (Capacidad antioxidante y fuerza de fractura) no presentaron diferencias significativas. Los valores de la rodajas secadas por los tres métodos mostraron los siguientes resultados: Mayor contenido de fibra (L) 11,507 g/100 g, el mayor contenido de vitaminas A y C se encontraron (VR) 9,147 UI/100 g y 7,727 mg/100 g, en la capacidad antioxidante el valor mayor encontrado fue (VR) 2091,00  $\mu$ moles eq.Trolox/g, el valor mayor de fuerza de fractura fue (L)  $63,93 \pm 9,60$  N, y el valor del análisis microbiológico son (L) hongos 50 y levaduras 140 UFC/g-mL, (VR) hongos <10 y levaduras <10 UFC/g-mL y convectivo hongos <10 y levaduras <10 UFC/g-mL, los resultados obtenidos por el análisis de varianza ANOVA que se obtuvieron muestra que el proceso de VR es un método eficiente para conservar dichas propiedades nutricionales del pasaboca deshidratado de banano.

**Palabras clave:** Banano (Cavendish Valery), Liofilización, Ventana de Refractancia, Convección forzada, Pasaboca.

<sup>1</sup>Universidad del Valle; Correo: [yenny.rivera@correounivalle.edu.co](mailto:yenny.rivera@correounivalle.edu.co); Colombia

## Abstract

In this study, the effect of the temperatures used in the drying processes on the physicochemical (texture), nutritional (fiber, vitamins A and C, antioxidant capacity) and microbiological properties of banana slices using drying processes such as freeze drying, Refractance window (VR) and forced convection was evaluated. Freeze drying was used at temperatures of  $-40^{\circ}\text{C}$  and a vacuum level of 130 microns of hg, in the Refractance Window the temperature of the process was  $90^{\circ}\text{C}$  and in the convective drying temperatures were between  $75 - 80^{\circ}\text{C}$ . It was found that in the drying methods by freeze drying, VR and forced convection presented significant difference on the response variables (fiber, vitamins A and C) and in the other response variables (antioxidant capacity and strength of fracture) did not present significant differences. The values of the slices dried by the three methods showed the following results: Higher fiber content (L)  $11,507\text{ g} / 100\text{ g}$ , the highest content of vitamins A and C were found (VR)  $9,147\text{ IU} / 100\text{ g}$  and  $7,727\text{ mg} / 100\text{ g}$ , in the antioxidant capacity the highest value found was (VR)  $2091,00\text{ }\mu\text{moles eq. Trolox} / \text{g}$ , the highest value of fracture strength was (L)  $63,93 \pm 9,60\text{ N}$ , and the value of the microbiological analysis are (L) fungi 50 and yeast 140 CFU / g-mL, (VR) fungi  $<10$  and yeast  $<10\text{ CFU} / \text{g-mL}$  and convective fungi  $<10$  and yeast  $<10\text{ CFU} / \text{g-mL}$ , the results obtained by the ANOVA analysis of variance obtained sample that the VR process is an efficient method to conserve said nutritional properties of the dehydrated banana snack.

**Keywords:** Banana (Cavendish Valery), Freeze drying, Refractance Window, Force convection, Snack.

## Introducción

El banano es una fruta tropical con grandes propiedades nutritivas que aportan carbohidratos, vitaminas esenciales como la vitamina C, B6, B1, B2, contiene grandes cantidades de potasio, magnesio, ácido fólico y fibras. La ingesta de banano ayuda a neutralizar, disolver y eliminar los ácidos retenidos en el cuerpo, como por ejemplo el ácido úrico, fosfórico, sulfúrico, que dan origen a las llamadas enfermedades artríticas y reumáticas, gota, ciática, úlceras, arenillas, cálculos en los riñones, entre otros (Rojas & Rodríguez, 2015).

Colombia es el quinto país productor de banano a nivel mundial. Aunque pueden obtenerse diferentes productos procesados, el mercado del banano es esencialmente para consumo en fresco, ya que tiene una corta vida de anaquel por su alto contenido de agua (aproximadamente 76%) y los

cambios fisicoquímicos, reacciones químicas, enzimáticas, microbiológicas que causan deterioro. Así mismo, debido a su alto grado de consumo, sus propiedades organolépticas y su valor nutricional, representa una materia prima interesante para ser procesada, buscando de esta forma disminuir las causas de deterioro y corta vida útil y ofreciendo otras formas de consumo y diversificación de productos (Rojas & Rodríguez, 2015).

El secado es una de las operaciones más utilizadas en la industria alimentaria para modificación y preservación, donde permite minimizar el deterioro microbiano y las reacciones de deterioro químico (Kokrida et al., 2003). Entre los métodos de secado más recomendados para frutas se tiene la deshidratación osmótica, la cual es una técnica no térmica que consiste en sumergir las materias primas en una solución hipertónica compuesta por solutos capaces de generar altas presiones,

reduciendo el contenido de humedad (hasta 50-60% en base húmeda) e incrementar el contenido de sólidos solubles, mejorando la calidad y estabilidad de los productos hortofrutícolas (Della, 2010).

Una alternativa a los métodos clásicos de conservación es la liofilización. La liofilización es un proceso por el cual el producto se congela primero y luego el hielo de la congelación es eliminado por sublimación, por lo general en condiciones de baja presión y temperatura. La liofilización de productos biológicos es el mejor método para la remoción del agua a fin de obtener productos de la más alta calidad comparada con otros tratamientos de deshidratación ya que se reducen las pérdidas de los componentes volátiles o termo-sensibles. En este proceso de secado los productos obtenidos no se ven alterados en sus propiedades y se rehidratan fácilmente.

El secado con ventana de refractancia (VR) hace uso de la energía infrarroja del agua para secar el producto. Esta técnica no permite que el producto alcance temperaturas altas y los tiempos de proceso son cortos; además no genera subproductos ni emisiones que contaminen el ambiente y contribuye al ahorro energético debido a su alta velocidad de secado. Por estas razones, el secado con ventana de refractancia se ha convertido en una técnica innovadora que permite la deshidratación de alimentos termosensibles como las frutas y presenta la ventaja de reducir las pérdidas de calidad a nivel fisicoquímico y estructural en diversidad de alimentos deshidratados. Incluso el secado con VR ha sido comparado con la liofilización con excelentes resultados, en cuanto a la calidad lograda en el producto final (Ormaza et al., 2016).

El secado por aire caliente o convectivo es uno de los métodos más utilizados industrialmente para la conservación de frutas gracias a sus bajos costos y tecnología simple. Usualmente se utilizan temperaturas mayores a 60°C durante largos tiempos de operación, lo que genera altos costos asociados a la disminución de la calidad

comercial del producto final (alteraciones en la forma y la textura del producto; composición y estructura no uniforme, cambios de sabor y aroma, modificación del color, degradación de componentes nutricionales, mala capacidad de rehidratación, etc.) (Orrego, et al., 2016).

El objetivo de este artículo es evaluar un pretratamiento de osmodeshidratación y la aplicación de las diferentes tecnologías de secado tales como liofilización, ventana de refractancia, y convección forzada para la elaboración de un pasabocas de banano deshidratado teniendo en cuenta las características nutricionales y físicas del producto.

## Materiales y Métodos

La fase experimental para el acondicionamiento de la materia prima se realizó en las instalaciones de la empresa Productos de la provincia (Cali). Los procesos de liofilización y convección forzada se realizaron en una empresa vallecaucana, Productos de la Provincia S.A. En el laboratorio de fenómenos de transporte de la Universidad del Valle se realizó el secado por ventana de refractancia. Las pruebas de textura del producto se efectuaron en el Laboratorio de Propiedades Físicas y Fenómenos de Transferencia ubicados en la Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Santiago de Cali - Colombia. Los parámetros nutricionales de los productos durante las etapas experimentales se realizaron en los laboratorios agroindustrial del centro agropecuario de Buga del SENA, Angel Bioindustrial, Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) y tecnimicro.

## Materiales

El banano se obtuvo del supermercado local, ubicado en el Valle del Cauca, el fruto se seleccionó a partir de la tabla de índice de maduración, para este estudio se tomaron dos grados diferentes para observar el comportamiento del fruto en la etapa de osmodeshidratación. Los jarabes utilizados durante la experimentación del proceso de

osmodeshidratación fueron suministrados por la empresa Ingredion e IPF.

### Equipos

Se realizaron los ensayos en los siguientes equipos: marmitas (proceso de osmodeshidratación), liofilizador, ventana de refractancia, y secador por convección forzada. La utilización de los anteriores equipos se efectuó a partir de servicios técnicos a excepción de las marmitas que se encuentra en la planta de producción de Productos de la provincia.

### Planes experimentales

El banano sin procesar se caracterizó en los siguientes parámetros: pH, grados Brix, contenido de humedad (método secado por estufa), ceniza % (método AOAC 923.03), proteína total % (basado en ISO 1871), fibra dietaria total % (basado en AOAC 985.29) capacidad antioxidante (método ORAC) y vitaminas A y C (determinación por cromatografía líquida de alta resolución HPLC) y también una prueba física de fuerza de fractura, la cual se realizó en un equipo texturómetro Shimadzu EZ-test.

El banano fue cortado en rodajas con un grosor que osciló entre los 2-3 mm, posteriormente las rodajas se sumergieron durante 30 segundos en una solución al 1% de ácido ascórbico para evitar una posible oxidación de la fruta. Luego, las rodajas se sometieron a un proceso de inmersión durante 3 horas en diferentes jarabes de bajas calorías (solución 1: Alulosa/Maltitol, solución 2: Polidextrosa/Maltitol/Alulosa, solución 3: Polidextrosa/Maltitol), utilizando una proporción de jarabe y muestra de 3:1 controlando la temperatura con un baño de maría (40-55 °C). Se registraron los pesos y los grados Brix de las muestras durante el tiempo que duró el tratamiento. Posteriormente se retiró el exceso del jarabe en las frutas por medio de una toalla absorbente y se empacaron en bolsas de cierre hermético a temperaturas de refrigeración hasta que se retiraron para los ensayos de secado.

A partir de los resultados obtenidos en el proceso de osmodeshidratación se estudió la posibilidad de viabilidad del pretratamiento en el banano, posteriormente las muestras fueron sometidas a cada una de los métodos de secado: Liofilización (temperaturas de -40 °C y un nivel de vacío de 130 micrones de Hg por 24 horas), Ventana de Refractancia (temperatura en el depósito de agua = 90 °C por 4 horas) y secado convectivo (temperaturas de aire de secado 75 - 80 °C por 8 horas).

Para las muestras secas, se determinaron las cantidades de humedad (método secado por estufa), vitaminas A y C (UHPLC), capacidad antioxidante (método ORAC) para cada proceso de secado, de forma adicional se realizaron la identificación del contenido de fibra dietaria (método digestión enzimática).

La caracterización física de la fruta seca se realizó a partir de un perfil de textura en el mismo equipo en que se realizaron las mediciones al producto sin tratamiento.

### Diseño experimental

Se realizó un análisis estadístico a partir del diseño experimental unifactorial, completamente al azar (DCA), donde el factor de estudio fueron los métodos de secados y las variables de respuesta se hicieron por triplicado de fibra, vitaminas, capacidad antioxidante y fuerza de fractura. Los resultados se obtuvieron a partir del programa Minitab 18 con un nivel de confianza del 95 %.

### Resultados y discusión

Los resultados de los realizados a la materia prima se resumen en la tabla 1. Estos análisis se realizaron partiendo de un grado de madurez similar a lo utilizado durante todo el estudio.

**Tabla 1.**

**Análisis de parámetros fisicoquímicos del banano.**

Parámetros	Resultado
Fuerza de fractura	9,09 N
°Brix	23
Capacidad antioxidante	1008,67 $\mu$ moles eq. Trolox/g muestra
pH	5
Humedad (%)	60,78
Ceniza (%)	0,78
Proteína (%)	1,17
Fibra Dietaria (%)	21,05
Vitamina A (UI/100g)	< 20 <sup>1</sup>
Vitamina C (mg/100g)	1,86

Fuente: Elaboración propia, <sup>1</sup> El cromatógrafo del laboratorio detecta datos superiores a 21 UI/100g

**Proceso de osmodeshidratación**

Los resultados obtenidos durante el proceso de osmodeshidratación de las muestras para

las tres soluciones utilizadas se muestran en la figura 1.

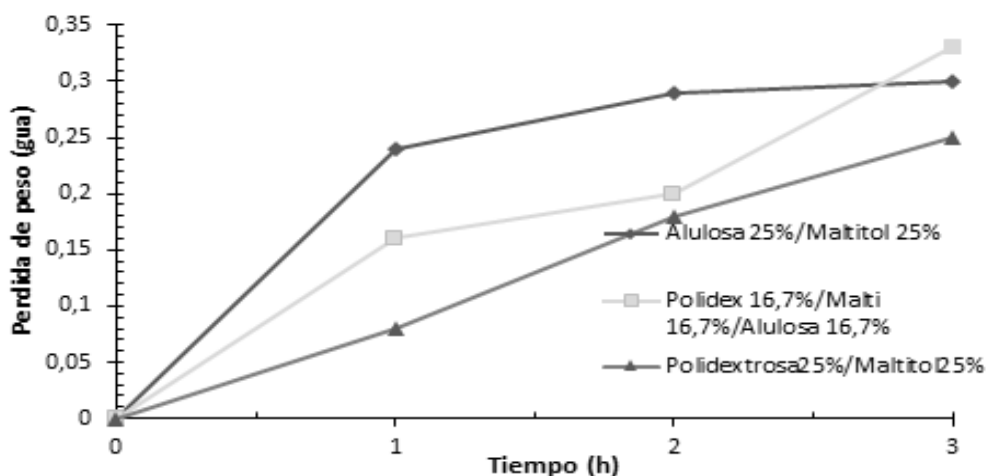


Figura 1. Relación perdida de agua en función del tiempo para diferentes concentraciones de jarabes en la solución. Elaboración Propia

A partir de los resultados obtenidos se observó que la pérdida de peso de las rodajas de banano aumentó en función del tiempo de tratamiento osmótico. Como se observa la mezcla de polidextrosa, maltitol y alulosa fue la de mejor comportamiento, mayor pérdida de peso y por lo tanto de agua. Con este resultado se escogió esta solución para realizar el tratamiento de las muestras que fueron posteriormente secadas, el

tiempo fue de 1 hora de tratamiento.

En la figura 2, se observan las muestras de rodajas de banano antes y después del proceso de secado por VR. En la figura 3, representa la curva de secado de rodajas de banano Cavendish Valery por VR. El contenido de humedad (CH) inicial de las muestras del banano fue de  $77,8 \pm 0,5$  % bh.

A



B



Figura 2. Rodajas de banano. A. durante el secado, B. Después del secado. Elaboración Propia

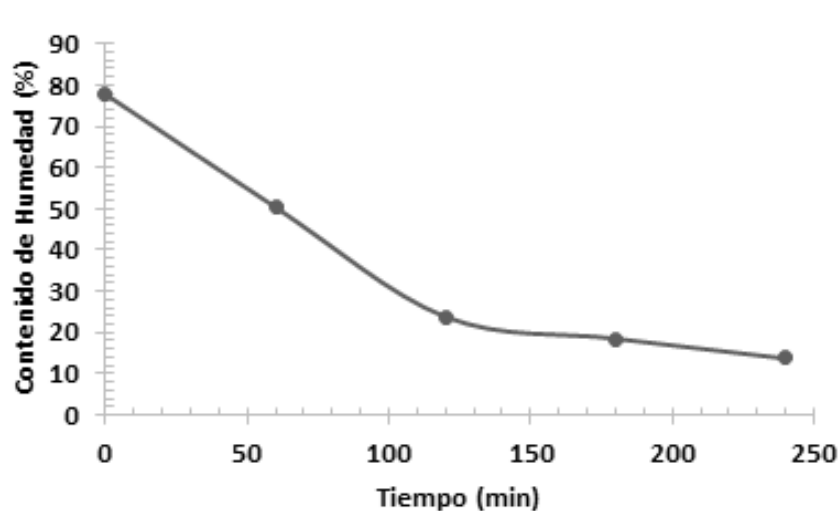


Figura 3. Cinética de secado de las rodajas de banano en VR. Elaboración Propia

En la tabla 2 se pueden observar los resultados obtenidos a partir de las mediciones a los parámetros fisicoquímicos, nutricionales

y microbiológicos de las muestras sometidas a los diferentes tipos de secado.

**Tabla 2.** Resultados obtenidos para el banano tratado con diferentes métodos de secado.

Método de secado	Análisis							
	Fibra (g/100g)	Humedad	Vitaminas		Microbiológico		Capacidad antiox. (µmoles eq.Trolox/g muestra)	Fuerza Máxima (N)
			Vit. A (UL/100 g)	Vit. C (mg/100 g)	Hongos (UFC/ g-mL)	Levaduras (UFC/ g-mL)		
Liofilización	11,507 ± 0,7	7,5	5,457 ± 0,8	2,813 ± 0,8	50	140	1886,00	63,93 ± 9,60
Ventana de refractancia	8,283 ± 0.8	13,7	9,147 ± 0,7	7,727 ± 0,7	<10	<10	2091,00	62,95 ± 10,80
Secado convectiva	8,453 ± 0.6	23,2	5,390 ± 0,10	0,380 ± 0.10	<10	<10	1228,00	60,76 ± 9,56

A partir del análisis de varianza (ANOVA) se pudo presentar el resultado que hay diferencias significativas entre los tratamientos y en la comparación de parejas de Tukey al 5% nivel de significancia, el cual se determinó que ningunas de las medias de los tratamientos se comportaron iguales por lo tanto la diferencias en cada uno de los contenidos de fibra en los métodos de secado fueron diferentes. Como se aprecia en la liofilización la fibra se obtuvo notoriamente valores superiores y estos puede atribuirse a la temperatura que se manejó en el secado.

En el caso de la variable de las Vitaminas A y C, se pudo determinar que ninguna medias de los tratamientos se comportaron iguales por lo tanto la diferencias en cada uno de los contenidos de vitaminas A y C en los métodos de secado fueron diferentes. A partir de los resultados obtenidos los contenidos de vitamina A y C concuerdan con investigaciones previas de Abonyi et al (2002), Falconi et al.(2018), Nindo et al.(2003), donde identificaron mayores contenidos de vitamina C en fresas y espárragos con la tecnología de ventana de refractancia que en el proceso de liofilización respectivamente debido al largo tiempo de secado (18-24 h) y al área de gran superficie o a la estructura de poros abiertos en el espárrago seco que facilita

la oxidación del ácido ascórbico.

A partir del análisis de varianza de la capacidad antioxidante se pudo obtener el resultado que mostro que hay diferencias significativas entre los tratamientos y en la comparación de parejas de Tukey al 5% nivel de significancia, el cual se determinó que las medias de los tratamientos se comportaron iguales por lo tanto la diferencia en cada uno de los contenidos de capacidad antioxidante en los métodos de secado de ventana de refractancia y liofilización fueron iguales mientras tanto el método de convección forzada fue diferente. La ventana de refractancia demostró ser superior y mostro mayor retención de la capacidad antioxidante en el banano en cuanto a los dos métodos de secado liofilizado y convección forzada concuerda con los estudios obtenidos en investigaciones previas (Bernaert, 2018) que concluyó que las muestras de puerro sometidas a tres métodos de secado, secado al aire, secado por congelación (L) y secado por VR, conservaban casi la misma capacidad antioxidante, con la excepción de la capacidad de absorción de radicales de oxígeno. Del estudio citado anteriormente, está claro que VR es una tecnología interesante para producir frutas y verduras deshidratadas con alta capacidad antioxidante.

También la capacidad antioxidante de las muestras secadas con VR fue ligeramente más alta pero no significativamente diferente de la de las muestras liofilizadas ( $p < 0,05$ ). La capacidad antioxidante de las muestras secas VR fue significativamente mayor que la muestra secada por pulverización. (Baeghbali, et al., 2016).

A partir del análisis de varianza (ANOVA) de la máxima de fractura se pudo obtener el resultado que mostro que no hay diferencias significativas entre los tratamientos y en la comparación de parejas de Tukey al 5% nivel de significancia, el cual se determinó que las medias de los tres tratamiento se comportaron iguales por lo tanto la diferencias en cada uno de las máxima de fracturas en los métodos de secado de liofilización, ventana de refractancia y convección forzada fueron iguales. El secado por congelación (L) produce productos secos con una estructura porosa, lo que contribuye a una textura crujiente y una rápida rehidratación (Bui, et al., 2018; Yu, et al., 2011; Yu, et al., 2017).

## Conclusiones

Los resultados finales indicaron que utilizar un banano con un grado de maduración 6 se presenta un excesivo ablandamiento de la fruta en el proceso de osmodeshidratación y con un banano de grado de maduración 3 la textura es óptima, pero el sabor es astringente y es persistente hasta el final del proceso, por lo tanto en este punto se evaluó que no es necesario la aplicación del proceso de osmodeshidratación del banano con un grado de maduración intermedio siempre y cuando se utilice rápidamente en los diferentes procesos de secado.

Las muestras secas por VR a 90 °C mostraron resultados de mayor retención de vitaminas A y C y Capacidad antioxidante, en cuanto a las muestras liofilizadas debido al largo tiempo de procesamiento (18-24 h) y al área de la estructura de poros abiertos del banano seco facilita la

oxidación del ácido ascórbico y permite tejidos más expuestos para los microorganismos.

## Referencias

Abonyi, B., Feng, H., Tang, J., Edwards, C., Chew, B., Mattinson, D., y Fellman, J. (2002). Quality Retention in Strawberry and Carrot Purees Dried with Refractance Window™ System. *Journal of Food Science*, 67(3): 1051-1056. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09452.x>

Baeghbali, V., Niakousari, M., y Farahnaky, A. (2016). Refractance Window drying of pomegranate juice: Quality retention and energy efficiency. *LWT - Food Science and Technology*, 66: 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.017>

Bernaert, N., Van Droogenbroeck, B., Van Pamel, E., & De Ruyck, H (2018). Innovative refractance window drying technology to keep nutrient value during processing. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.029>

Bui, LTT, Coad, RA y Stanley, R. A. (2018). Properties of rehydrated freeze dried rice as a function of processing treatments. *LWT*, 91: 143-150. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.039>

Della, P. (2010). Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente (Doctoral dissertation, Tesis de Maestría en Tecnología de los Alimentos. Facultad Regional Buenos Aires. Argentina)

Falconi, P. R. P., Manrique, S. A. V., Basantes, E. F. B., & Marcelo, T (2018). Evaluation of freeze-drying process in banana (*Musa x paradisiaca*). *Food Processing Technology*.

Krokida, M.K., Karathanos, V.T., Maroulis, Z.B., Marino D. (2003). Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food Engineering*,



59 (4): 391-403. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00498-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00498-3)

Nindo, CI, Sun, T., Wang, SW, Tang, J. y Powers, J. R. (2003). Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). *LWT - Food Science and Technology*, 36 (5): 507-516. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00046-X](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00046-X)

Ormaza, A. M., Ayala-Aponte, A. A., & Ortega, K. J. (2016). Cambios físicos durante el secado de banano bocadillo (*Musa acuminata* Colla) mediante la técnica de ventana de refractancia. *Revista Vitae*, 23 (1): S84-S87.

Orrego, C. E., Ocampo, J. C., & González, J. D. Aplicación de ultrasonido de potencia como pretratamiento para el secado convectivo de banano (*Musa paradisiaca* sp.). *Agronomía Colombiana*, 34(1): S454-S456.

Rojas, M. A., & Rodríguez, M. V. 2015. Análisis de la producción y comercialización del banano, su aceptación y evolución frente al tratado de libre comercio con la unión europea [Trabajo de grado en internet]. Universidad del Rosario, Bogotá. <http://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/11337/1019069686-2015.pdf>

Yu, K., Chen, C., & Wu, P. (2011). Research on application and rehydration rate of vacuum freeze drying of rice. *Journal of Applied Sciences*, 11(3): 535-541.

Yu, L., Turner, MS, Fitzgerald, M., Stokes, JR, y Witt, T. (2017). Review of the effects of different processing technologies on cooked and convenience rice quality. *Trends in Food Science & Technology*, 59:124-138. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.009>