

## Predicción del tiempo de liofilización del arazá (*Eugenia Stipitata*) mediante modelos matemáticos

## Prediction of the freeze-drying time of Araza (*Eugenia Stipitata*) using mathematical models

Falconí, José; Valdiviezo, Carlos; Ramírez, Lenin



José Falconí

jofrancis93@hotmail.com

Universidad de Guayaquil, Ecuador

Carlos Valdiviezo

valdiviezor@ug.edu.ec

Universidad de Guayaquil, Ecuador

Lenin Ramírez

lenin\_ramirez@outlook.com

Universidad Yachay Tech, Ecuador

### Ecuadorian Science Journal

GDEON, Ecuador

ISSN-e: 2602-8077

Periodicidad: Semestral

vol. 5, núm. Esp.4, 2021

esj@gdeon.org

Recepción: 19 Agosto 2021

Aprobación: 27 Septiembre 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/606/6062739008/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.46480/esj.5.4.172>

Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra sus sitios web personales o en depósitos institucionales, después de su publicación en esta revista, siempre y cuando proporcionen información bibliográfica que acredite su publicación en esta revista. Licencia de Creative Commons Las obras están bajo una <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Como citar: Falconí, J., Valdiviezo, C., & Ramírez, L. (2021). Predicción del tiempo de liofilización del arazá (*Eugenia stipitata*) mediante modelos matemáticos. *Ecuadorian Science Journal*, 5(4), 89-97. DOI: <https://doi.org/10.46480/esj.5.4.172>

**Resumen:** La industria post cosecha es una de las tantas fuentes de ingreso de los ecuatorianos ya que el país presenta condiciones favorables para la siembra de una amplia variedad de productos agrícolas, entre ellas se destacan las verduras y frutas que diariamente se consumen en nuestro país y que nunca faltan en la mesa de los consumidores. Las frutas que son los frutos o las partes carnosas de órganos florales que alcanzan un determinado grado de madurez para su cosecha y posterior consumo, aportan vitaminas y nutrientes esenciales que contribuyen a una dieta equilibrada ya que optimiza el metabolismo y favorece la digestión, también se caracterizan por su bajo contenido calórico y precio de venta el cual es asequible para los consumidores. El arazá es un fruto climatérico propio de la región amazónica ecuatoriana que posee un contenido de vitamina C del 74%, el doble del que posee la naranja, pero al tratarse de un alimento con más del 90% de humedad este tiende a descomponerse rápidamente, por lo que se determinaron las características físico – químicas y tiempo de liofilización de la fruta mediante modelos matemáticos empleando el software RStudio para simular el proceso de liofilización y de esta manera preservar su contenido vitamínico. El tiempo de liofilización del arazá fue de 26,07 h un valor que es idóneo para alimentos liofilizados.

**Palabras clave:** Arazá, liofilización, modelos matemáticos, RStudio.

**Abstract:** The post-harvest industry is one of the sources of income for Ecuadorians since the country presents favorable conditions for the sowing of a wide variety of agricultural products, among them the vegetables and fruits that are consumed daily in our country and that never stand out. They are missing from the consumers' table. Fruits, which are the fruits or the fleshy parts of flower organs that reach a certain degree of maturity for their harvest and subsequent consumption, provide essential vitamins and nutrients to a balanced diet as it optimizes metabolism and favors digestion. It is also characterized by its low caloric content and a sale price which is affordable for consumers. The araza is a climacteric fruit typical of the Ecuadorian Amazon region that has a vitamin C content of 74%, twice that of the orange, but as it is a food with more than 90% humidity, it tends to decompose quickly. Therefore, the physical-chemical characteristics and freeze-drying time of the fruit were

determined through mathematical models using the RStudio software to simulate the freeze-drying process and thus preserve its vitamin content. The freeze-drying time of the araza was 26.07 h, a value that is ideal for freeze-dried foods.

**Keywords:** Araza, freeze-drying, mathematical models, Rstudio.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años el Ecuador ha sido reconocido por la amplia variedad de productos que ofrecen al mercado, los cuales sin duda son de interés no solo a nivel nacional sino internacional, destacándose principalmente la producción postcosecha.

Las frutas son consideradas un alimento rico en vitaminas y minerales principalmente, algunas de ellas poseen principios activos que benefician a la salud del consumidor, sin embargo existen frutas que son muy pocas conocidas cuyo consumo diario puede cubrir los requerimientos nutricionales diarios como es el caso del arazá.

El arazá mas conocido como membrillo es una fruta climatérica perteneciente a la familia de las mirtáceas que ha despertado el interés de investigadores debido al contenido de vitamina C que posee el cual supera a la naranja el cual no es aprovechado debido al alto grado de perecibilidad. En esta investigación se estimaron el tiempo de liofilización del arazá así como los parámetros del proceso mediante modelos matemáticos utilizando el programa RStudio para posteriormente comparar los resultados obtenidos con frutas que se procesan actualmente en mercado, demostrando que la industrialización de la fruta es técnicamente factible para pequeños productores y microempresarios ya que de esta manera se aprovecharía su contenido vitamínico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

El arazá (*Eugenia Stipitata*) fue adquirido en la provincia del Guayas en la ciudad de Milagro ubicada en la ciudadela Dager la cual fue analizada en el Laboratorio de Control Biológico de ARCSA (Agencia de Regulación Control y Vigilancia Sanitario), sometida a un proceso de liofilización para aumentar su vida útil, estimando los parámetros del proceso mediante modelos matemáticos para luego compararlos con los datos obtenidos luego de realizar varias pruebas piloto de laboratorio.

### Análisis físico-químicos

Para cumplir con los objetivos planteados se determinaron de forma experimental el contenido de humedad, proteína y cenizas de la fruta en estado cuatro de maduración pues según (Reyes & Lanari, 2020) es este estado en donde la fruta posee excelentes características bromatológicas.

### Determinación de humedad

El contenido de humedad se efectuó por gravimetría (pérdida por desecación), método estipulado por la AOAC 925.09 empleado por (Garcia et al., 2017).

## Determinación de proteínas

El porcentaje de proteínas se determinó por titulometría (digestión Kjeldahl), método estipulado por la AOAC 920.152 utilizado por (García et al., 2018). Este análisis se basa en la cantidad de sulfato de amonio producto de la transformación del nitrógeno presente en la muestra, este proceso también se puede dar empleando ácido sulfúrico ocasionando una mineralización.

Se aplicó la ecuación (1) y la ecuación (2):

$$\text{Nitrógeno (\%)} = \left( \frac{\text{HCl}_{\text{ml}} \times \text{N}_{\text{HCl}}}{W_{\text{muestra}}} \times 0,014 \right) \times 100 \quad [1]$$

$$\text{Proteína (\%)} = \text{Nitrógeno} \times \text{Factor} \quad [2]$$

En donde (HCl)ml es el consumo de HCl 0,1 M (ml), N(hcl) es la normalidad de ácido clorhídrico y Wmuestra es el peso de muestra (g).

## Determinación de cenizas

Los análisis de cenizas se realizaron por gravimetría que es el método estipulado por la (AOAC 923.03, 2020). Esto implica someter a la muestra a una temperatura de 500 – 600°C lo cual ocasiona la desintegración de la materia orgánica siendo las cenizas o materia inorgánica lo único que queda al terminar el análisis.

Se aplicó la siguiente ecuación (3):

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{S} \times 100 \quad [3]$$

En donde w1 es el peso del crisol antes de la incineración (g), w2 es el peso crisol después de la incineración (g) y S es el peso de la muestra (g).

## Determinación de densidad

La densidad se determinó mediante modelos matemáticos empleados por (Alabi et al., 2020) que emplea los siguientes coeficientes a través de la ecuaciones (4), (5), (6), (7), (8) y (9) respectivamente.

- Proteína:  $\rho = 1,3299 \cdot 10^{(3)} - 5,1840 \cdot 10^{(-1)}T$
- Grasa:  $\rho = 9,2559 \cdot 10^{(2)} - 4,1757 \cdot 10^{(-1)}T$
- Carbohidratos:  $\rho = 1,5991 \cdot 10^{(3)} - 3,1046 \cdot 10^{(-1)}T$
- Fibra:  $\rho = 1,3115 \cdot 10^{(3)} - 3,6589 \cdot 10^{(-1)}T$
- Ceniza:  $\rho = 2,4238 \cdot 10^{(3)} - 2,8063 \cdot 10^{(-1)}T$
- Agua:  $\rho = 9,9718 \cdot 10^{(2)} + 3,1439 \cdot 10^{(-3)}T - 3,7574 \cdot 10^{(-3)}T^{(2)}$

El resultado obtenido se expresó en Kg/m<sup>3</sup>.

## Parámetros de liofilización

Los parámetros calculados previos a la estimación del tiempo de liofilización son la presión de vapor de hielo, presión de vapor a la temperatura del condensador, temperatura inicial de congelación, fracción de agua congelada, volumen específico del agua, coeficiente de transferencia de masa, y coeficiente de difusión. Algunos de estos valores se tomaron de investigaciones realizadas con otro tipo de alimento como el café y guayaba debido a que no existen datos experimentales para el arazá.

## Temperatura inicial de congelación

La temperatura inicial de congelación ( $T_c$ ) se la calculó en base a la adaptación de la Ley de Raoult para productos alimenticios con un porcentaje mayor al 80%, para lo cual se emplearon las ecuaciones (10), (11) y (12). (Biglia et al., 2016)

$$\frac{-K_w \cdot C}{M} \quad [T_c]$$

$$\frac{1 - m_{w,p}}{m_{w,p}} \quad [C]$$

$$\frac{2DS}{0,25+S} \quad [M]$$

En donde  $K_w$  tiene un valor de 18,6 y es la constante criogénica del agua,  $C$  es la masa de soluto disuelto en 100 g de agua,  $m_w$  es la fracción másica de agua en el producto,  $M$  es el peso molecular del soluto (kg/kmol) y  $S$  hace referencia a la fracción de sólidos presentes en el alimento.

## Fracción de agua congelada

Para determinar la fracción de agua congelado y no congelado en la fruta se determinó previamente la fracción másica y de agua del producto mediante las ecuaciones (13) y (14) indicadas por (Wang & Xu, 2018).

$$\frac{\text{masa de soluto (g)}}{\text{masa total (masoluto + masalimento)}} \quad \text{Fracción másica (Xs)}$$

$$\frac{\text{masa de agua (g)}}{\text{masa total (masoluto + masalimento)}} \quad [\text{Fracción agua}]$$

Para estimar teóricamente la cantidad de agua congelada se aplicó la ecuación de Chen (15) empleada por (Biglia et al., 2016) para la congelación de pulpas de frutas.

$$\frac{S}{M} \left[ \frac{R \cdot T_0^2}{L} \right] \left[ \frac{T_c - T}{(T - T_0)(T_c - T_0)} \right] \quad [G]$$

En donde G es la fracción de hielo en el producto que se va a congelar, S es el contenido de sólidos totales, M es el peso molecular del soluto (Kg/Kmol), R es la constante ideal de los gases (8,32 KJ/Kmol#°K), L es el calor latente de fusión del agua (335 KJ/Kg), To es la temperatura estándar de fusión del agua, Tc es la temperatura inicial de congelación (°K), y T es la temperatura del sistema en cualquier momento (°K).

### Volumen específico del agua

El volumen específico del agua se calcula a partir de la densidad del sólido con la ecuación (16) empleada por (Chamberlain et al., 2020).

$$\frac{1}{\rho} \quad [V_w =]$$

En donde Vw es el volumen específico del agua (m<sup>3</sup> sólido/Kg agua) y ρ es la densidad del alimento congelado (Kg/m<sup>3</sup>).

### Determinación del tiempo de liofilización

La liofilización es un tipo de secado por congelación en donde ocurren procesos de transmisión de calor y transferencia de masa en donde la transmisión de calor ocurre desde la lámina caliente hasta el frente de secado y a través de la capa congelada del producto. Es necesario contemplar cada uno de estos procesos para estimar el tiempo de liofilización, para ello se utiliza la ecuación (17) empleado por (Luo & Shu, 2017).

$$t = \frac{R T_A L^2}{8 D M V_w (P_i - P_a)} \left( 1 + \frac{4 D}{k_m L} \right) \quad [17]$$

En donde L es el espesor de la capa de producto (m); TA es la temperatura absoluta (°K); M es el peso molecular (Kg/Kg mol); Vw es el volumen específico del agua (m<sup>3</sup>/Kg agua); Pi es la presión de vapor del hielo (Pa); Pa es la presión de vapor del aire en la superficie del condensador (Pa); km es el coeficiente de transferencia de masa (m/s); R es la constante universal de los gases (8.314,41 m<sup>3</sup> Pa/[mol °K]); y D es el coeficiente de difusión (m<sup>2</sup>/s). Se emplearon los datos experimentales para la liofilización de café obtenidos por (Reale et al., 2019) en el cálculo del tiempo de secado en arazá.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Análisis físico - químicos

En la Tabla 1 se observan los análisis físico - químicos obtenidos.

TABLA 1.  
Valor nutricional de la Pulpa de Arazá

Parámetros	Contenido (%)
Proteína	0,51
Humedad	91,45
Cenizas	0,14
Grasas	0,5
Fibra	0,4
Carbohidratos	7
Total	100

(Falconí, Valdiviezo & Ramírez, 2021)

El contenido de fibra y carbohidratos fueron obtenidos de los estudios realizados por (Chagas et al., 2019) y el porcentaje de grasas fue tomado de la investigación de (Kumar et al., 2016).

En la Tabla 2 se aprecia la densidad obtenida empleando la ecuación de (Alabi et al., 2020) a diferentes temperaturas:

TABLA 2.  
Densidad del Arazá a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Valor (Kg/m <sup>3</sup> )
28	1040,50
- 18	1043,25
- 40	1039,43

(Falconí, Valdiviezo & Ramírez, 2021)

Los valores obtenidos tiene relación con la investigación de (Flores, 2017) quien al estimar la densidad de la pulpa de maracuyá a temperatura ambiente obtuvo un valor de 1049 Kg/m<sup>3</sup>; (Tubón, 2017) señala que la densidad de la guayaba a temperatura ambiente es de 1064,92 Kg/m<sup>3</sup>; (Moscoso & Ochoa, 2018) analizaron la densidad de algunos alimentos a diferentes temperaturas de conservación en donde las frutas poseen un valor entre 991 – 1110 Kg/m<sup>3</sup>, demostrando de esta forma que los valores estimados se encuentran dentro de los parámetros normales.

## Parámetros de liofilización

### *Temperatura inicial de congelación*

$$C = 9,349$$

$$M = 596,125 \text{ Kg}\#\text{Kmol}^{-1}$$

$$T_c = - 0,2917 \text{ }^\circ\text{C}$$

(Biglia et al., 2016) registran una temperatura inicial de congelación de - 1,7°C; - 0,6°C; y - 1°C para salchicha, arveja y piña respectivamente. En su investigación (Tubón, 2017) determinó una temperatura inicial de congelación de - 0,89°C para guayaba y (Arias et al., 2019) obtuvo un valor de - 0,64°C para açai y dado que la temperatura depende del contenido de humedad del alimento existe esta concordancia con los valores estimados.

*Fracción de agua congelada*

Fracción másica (Xs) = 0,0855  
 Fracción agua (Xw) = 0,9145

G = 0,9044

[13]

Dado que la fracción de hielo en el producto a congelar es de 0,9044, se puede decir que el 0,0101 restante es agua intracelular (agua ligada) sin congelar en el alimento debido a que tiene una fracción de sólidos de 0,0855. En la Tabla 3 se observan los resultados obtenidos.

TABLA 3  
 Composición de la Pulpa de Arazá Congelada a -18°C

Datos	Cantidad (%)	Cantidad (Kg)
Hielo	90,44	0,9044
Agua	1,01	0,0101
Sólidos totales	8,55	0,0855

(Falconí, Valdiviezo & Ramírez, 2021)

Los resultados obtenidos indican que por cada kg de arazá hay 0,9044 kg de hielo, 0,0101 kg de agua no congelable y 0,0855 kg de sólidos totales; estos datos guardan congruencia con la investigación de (Syumey, 2017) quien manifiesta que la fracción de agua congelable depende de la composición del alimento y al ser tener el arazá un 92,45% de agua la mayoría de esta es congelable; en un alimento congelado a - 18°C con 82% de agua y 18% de sólidos totales (Talens, 2019) determinó que por cada kg de alimento 0,72 kg son hielo, 0,1 kg es agua líquida y 0,18 kg son los sólidos presentes en el alimento corroborando que estos valores dependerán del contenido de humedad y sólidos totales los cuales difieren para cada alimento.

*Volumen específico del agua*

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{1043,25 \frac{kg}{m^3}} = 0,001 \frac{m^3}{kg} \quad [Vw =]$$

*Tiempo de liofilización*

t = 26,07 h [14]

El tiempo de secado obtenido guarda congruencia con la investigación de (Santiago, 2017) quien estimó un tiempo de 26 + 3 h para el secado de pimiento; (Reale et al., 2019) al liofilizar diferentes tipos de frutas señala que el tiempo promedio de liofilización es de 24 h; después de varios ensayos de secado en pulpa de

naranja (Maleno, 2019) concluyó que un tiempo igual o superior a 18 h da como resultado un producto con características de calidad aceptables, lo cual demuestra un beneficio para la presente investigación; según (Bedoya et al., 2017) el tiempo para obtener café soluble liofilizado es de 72 h y (Kusch, 2018) reporta un valor de 34,14 h para liofilizar fresas. El tiempo experimental obtenido con un liofilizador de laboratorio fue de 48 h para muestras de arazá lo cual muestra que el coeficiente de transferencia de masa y coeficiente de difusión son valores determinantes para estimar el tiempo de liofilización y dado que no se cuenta con datos experimentales se justifica el valor obtenido con el modelo matemático.

## CONCLUSIONES

La densidad del arazá a 28°C, -18°C y -40°C es de 1040,50 kg/m<sup>3</sup>, 1043,25 kg/m<sup>3</sup> y 1039,43 kg/m<sup>3</sup> respectivamente; lo cual indica que son datos confiables porque se asemejan a los valores experimentales de las frutas que se comercializan a gran escala.

La temperatura inicial de congelación del arazá es de -0,2917°C, temperatura en la que por lo general se congelan los alimentos y bebidas.

El tiempo de liofilización del arazá es de 26,07 h lo cual se demuestra que el proceso de conservación en términos de proceso se asemeja al de las frutas que se expenden actualmente en el mercado, y que por lo tanto es factible su industrialización.

## AGRADECIMIENTOS

A la ARCSA y la Universidad de Guayaquil por la ayuda brindada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alabi, K., Zhu, Z., & Wen, D. (2020). Transport phenomena and their effect on microstructure of frozen fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 101, 63–72. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.016>
- AOAC 923.03. (2020). Método general del Codex para determinación de cenizas. Comisión Del Codex Alimentarius, 1–18. [http://www.fao.org/tempref/codex/Meetings/CCMAS/ccmas36/ma36\\_03s.pdf](http://www.fao.org/tempref/codex/Meetings/CCMAS/ccmas36/ma36_03s.pdf)
- Arias, S., Ceballos, A. M., & Gutiérrez, L. F. (2019). Evaluación de los parámetros del proceso de congelación para la pulpa de Açaí. In *Tecnológicas* (Vol. 22, Issue 46). <https://doi.org/https://doi.org/10.22430/22565337.1117>
- Bedoya, D., Cilla, A., Contreras, J., & Alegría, A. (2017). Evaluation of the antioxidant capacity, furan compounds and cytoprotective/cytotoxic effects upon Caco-2 cells of commercial Colombian coffee. *Food Chemistry*, 219, 364–372. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.159>
- Biglia, A., Comba, L., Fabrizio, E., Gay, P., & Aimonino, D. R. (2016). Case Studies in Food Freezing at Very Low Temperature. *Energy Procedia*, 101(September), 305–312. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.039>
- Chagas, R., Santos de Oliveira, C., Santos, L., Pereira, U., Matos, T., Denadai, M., & Narain, N. (2019). Enhancement of phenolic antioxidants production in submerged cultures of endophytic microorganisms isolated from achachairu (*Garcinia humilis*), araçá-boi (*Eugenia stipitata*) and bacaba (*Oenocarpus bacaba*) fruits. *LWT - Food Science and Technology*, 111, 370–377. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.046>
- Chamberlain, R., Schlauersbach, J., & Erber, M. (2020). Freeze-drying in protective bags: Characterization of heat and mass transfer. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 154(July), 309–316. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2020.07.013>
- Flores, E. (2017). Diseño de una Planta para el Procesamiento de Concentrado Congelado de Maracuyá (*Passiflora edulis*) por Evaporación Osmótica. 128.

- García, C., Alvis, A., & Dussán, S. (2017). Validación del método de microondas para determinar humedad en ñame espino (*Dioscorea Rotundata* Poir). *Informacion Tecnologica*, 28(2), 87–94. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000200010>
- García, L., Tejada, V., Heredia, E., Serna, S., & Welti, J. (2018). Differences in the dietary fiber content of fruits and their by-products quantified by conventional and integrated AOAC official methodologies. *Journal of Food Composition and Analysis*, 67, 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.01.004>
- Kumar, B., Smita, K., Debut, A., & Cumbal, L. (2016). Extracellular green synthesis of silver nanoparticles using Amazonian fruit Araza (*Eugenia stipitata* McVaugh). *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26(9), 2363–2371. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(16\)64359-5](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(16)64359-5)
- Kusch, C. (2018). Liofilización de frutillas enteras (*Fragaria Ananassa* Duch): Efecto de Micro-perforaciones realizadas con tecnología laser de CO2 en el tiempo de secado primario. <https://hdl.handle.net/11673/46132>
- Luo, N., & Shu, H. (2017). Analysis of Energy Saving during Food Freeze Drying. *Procedia Engineering*, 205, 3763–3768. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.330>
- Maleno, F. (2019). Evaluación del punto final de la liofilización en la pulpa de naranja. *IIAD*, 19. [file:///C:/Users/Hp/Downloads/Maleno Berenguer, FJ-Evaluación del punto final de la liofilización en la pulpa de naranja.pdf](file:///C:/Users/Hp/Downloads/Maleno%20Berenguer,%20FJ-Evaluaci3n%20del%20punto%20final%20de%20la%20lio%20filizaci3n%20en%20la%20pulpa%20de%20naranja.pdf)
- Moscoso, M., & Ochoa, M. (2018). Catálogo de Densidades y Consistencias de Alimentos como herramienta para Estimación de Porciones Alimentarias en Niños y Adultos de la ciudad de Cuenca. 78. <http://bibliotecasdelecuador.com/Record/oai:localhost:123456789-29931>
- Reale, V., Torrez, M., & Giner, S. (2019). Desarrollo de un proceso para la obtención de Snacks saludables de frutas mediante liofilización. 2, 1–7.
- Reyes, C., & Lanari, M. (2020). Storage stability of freeze-dried arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) powders. Implications of carrier type and glass transition. *Lwt*, 118(November), 108842. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108842>
- Santiago, A. (2017). Influencia de la liofilización a presión atmosférica asistida por ultrasonidos en el contenido de carotenoides de pimiento. *IIAD*, October, 23. [https://www.semanticscholar.org/paper/Influencia-de-la-liofilización-a-presión-asistida-Martínez-Teresa/8bc775f94a980fcc996753668c2ddb42ac4b8a7](https://www.semanticscholar.org/paper/Influencia-de-la-liofilizaci3n-a-presi3n-asistida-Mart3nez-Teresa/8bc775f94a980fcc996753668c2ddb42ac4b8a7)
- Syumei, T. (2017). Agua en los Alimentos. 64. [http://www.qo.fcen.uba.ar/quimor/wp-content/uploads/12-8 EL AGUA EN LOS ALIMENTOS.pdf](http://www.qo.fcen.uba.ar/quimor/wp-content/uploads/12-8%20EL%20AGUA%20EN%20LOS%20ALIMENTOS.pdf)
- Talens, P. (2019). Determinación de la cantidad de agua congelable y no congelable presente en un alimento congelado. *Universidad Politécnica de Valencia*, 6. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68367/Talens - Determinación de la cantidad de agua congelable y no congelable presente en un alimento ....pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68367/Talens%20-%20Determinaci3n%20de%20la%20cantidad%20de%20agua%20congelable%20y%20no%20congelable%20presente%20en%20un%20alimento%20....pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Tubón, M. (2017). Determinación experimental y predicción del tiempo de congelación de pulpa de guayaba (*Psidium guajava*) pasteurizada y envasada en cilindros de 200 kg. *Universidad Técnica de Ambato*.
- Wang, P., & Xu, X. (2018). Modified Starches and the Stability of Frozen Foods. *Starch in Food Structure, Function and Applications Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, 2, 581–593. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100868-3.00014-7>