

Research Article

Estimation of Thermal Properties using Mathematical Models to Determine the Freezing Time of Arazá (*Eugenia Stipitata*)

Estimación de Propiedades Térmicas Mediante Modelos Matemáticos para Determinar el Tiempo de Congelación del Arazá (*Eugenia Stipitata*)

II CONGRESO
INTERNACIONAL DE
PRODUCCIÓN PECUARIA Y
AGROINDUSTRIAL ESPOCH
2021 (II CEPPEA 2021)

Corresponding Author:
Falconí Novillo José
Francisco; email:
jose.falconino@ug.edu.ec

Published: 14 June 2022

Production and Hosting by
Knowledge E

© Falconí Novillo José
Francisco et al. This article is
distributed under the terms of
the [Creative Commons
Attribution License](#), which
permits unrestricted use and
redistribution provided that
the original author and
source are credited.

Falconí Novillo José Francisco^{1*}, Valdiviezo Rogel Carlos Jefferson², and
Ramírez Cando Lenin Javier³

¹Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador

²Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador

³Facultad de Ciencias Biológicas e Ingeniería, Universidad Yachay Tech, Urcuquí, Ecuador

beginalign5pt] **ORCID**

Falconí Novillo José Francisco: <https://orcid.org/0000-0003-2623-115X>

Abstract

The araza, also known as quince or Amazon guava, is a climacteric fruit typical of the Ecuadorian Amazon region. The fruit has a vitamin A, B1, and C content of 7.75%, 9.84%, and 74%, respectively, with the vitamin C content being twice that of the orange. However, as a fruit that needs to be stored at 90% humidity, it is very perishable. Therefore, the current study was carried out to determine the physicochemical characteristics, thermal properties, and freezing time of the fruit through mathematical models using the RStudio software to simulate the freezing process and thus preserve the vitamin content. The arazá freezing time was 2.98 hr at -18°C, which is well within the normal parameter for freezing fruits while maintaining their nutritional characteristics.

Keywords: araza, thermal properties, freezing, Rstudio.

Resumen

El arazá conocido también como membrillo o guayaba amazónica es un fruto climatérico propio de la región amazónica ecuatoriana que posee un contenido de vitamina A, B1 y C de 7,75%; 9,84% y 74% respectivamente, sobresaliendo el contenido de vitamina C cuyo porcentaje es el doble que el que posee la naranja, sin embargo, al ser un alimento con un 90% de humedad es muy perecible, por lo que se determinaron las características físico – químicas, propiedades térmicas y tiempo de congelación de la fruta, mediante modelos matemáticos empleando el software RStudio para simular el proceso de congelación y de esta manera preservar el contenido vitamínico. El tiempo de congelación del arazá fue de 2,98 h a -18°C y está dentro del parámetro normal para frutas en el cual se mantienen sus características nutricionales.

Palabras Clave: arazá, propiedades térmicas, congelación, Rstudio.

 OPEN ACCESS



1. Introducción

La industria post cosecha en el Ecuador ofrece una gama de alimentos en los cuales no existe una transformación físico-química de sus propiedades, esto llama la atención de los consumidores y da paso también a que los pequeños productores le apuesten al procesamiento de frutas, cuyo valor nutritivo es bueno pero muy poco conocido, como es el caso del arazá.

El arazá es una fruta climatérica poco tradicional que pertenece a la familia de las mirtáceas (plantas tropicales) de aroma y sabor muy peculiar y con un gran contenido vitamínico, el cual se caracteriza por ser muy perecible debido al elevado porcentaje de agua que contiene. En esta investigación se estimaron las propiedades térmicas mediante modelos matemáticos para así determinar el tiempo de congelación del arazá empleando 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.

2. Materiales y Métodos

2.1. 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 congelación, estimando los parámetros del proceso mediante modelos matemáticos para luego compararlos con los datos obtenidos luego de realizar varias pruebas piloto de laboratorio.

2.2. 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 [1] es este estado en donde la fruta posee excelentes características bromatológicas.



2.2.1. Determinación de humedad

El contenido de humedad se efectuó por gravimetría (pérdida por desecación), método estipulado por la AOAC 925.09 empleado por [2].

2.2.2. Determinación de proteínas

El porcentaje de proteínas se determinó por titulometría (digestión Kjeldahl), método estipulado por la AOAC 920.152 utilizado por [3]. 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 siguiente fórmula:

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

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

En donde HCl_{ml} es el consumo de HCl 0,1 M (ml), N_{HCl} es la normalidad de ácido clorhídrico y $W_{muestra}$ es el peso de muestra (g).

2.2.3. Determinación de cenizas

Los análisis de cenizas se realizaron por gravimetría que es el método estipulado por la [4]. 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 fórmula:

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

En donde W_1 es el peso del crisol antes de la incineración (g), W_2 es el peso crisol después de la incineración (g) y S es el peso de la muestra (g).

2.2.4. Determinación de densidad

La densidad se determinó mediante modelos matemáticos empleados por [5] que utiliza los siguientes coeficientes:



$$\text{Proteína: } \rho = 1,3299 * 10^3 - 5,1840 * 10^{-1}T \quad (4)$$

$$\text{Grasa: } \rho = 9,2559 * 10^2 - 4,1757 * 10^{-1}T \quad (5)$$

$$\text{Carbohidratos: } \rho = 1,5991 * 10^3 - 3,1046 * 10^{-1}T \quad (6)$$

$$\text{Fibra: } \rho = 1,3115 * 10^3 - 3,6589 * 10^{-1}T \quad (7)$$

$$\text{Ceniza: } \rho = 2,4238 * 10^3 - 2,8063 * 10^{-1}T \quad (8)$$

$$\text{Agua: } \rho = 9,9718 * 10^2 + 3,1439 * 10^{-3}T - 3,7574 * 10^{-3}T^2 \quad (9)$$

El resultado obtenido se expresó en Kg/m³.

2.3. Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas de los alimentos son parámetros que repercuten en la transferencia de calor. Es necesario tener conocimiento de esto para el diseño de equipos, rendimiento durante los procesos, aplicación de métodos de conservación y su comportamiento en general. Estas propiedades dependen en mayor o menor grado de la temperatura y la composición del alimento. Calor específico, conductividad y difusividad térmica son las propiedades que se estimaron mediante modelos matemáticos los cuales son ampliamente utilizados en ingeniería de alimentos en donde una vez calculados se multiplicaron por la fracción de proteínas, fibra, grasas, carbohidratos, humedad y cenizas de la fruta, se suman los datos y se obtiene el valor final.

2.3.1. Calor específico

Se estimó el calor específico (Cp) según lo especificado por [5] mediante la resolución de los siguientes coeficientes:



$$\text{Proteína: } Cp = 2,0082 + 1,2089 * 10^{-3}T - 1,3129 * 10^{-6}T^2 \quad (10)$$

$$\text{Grasa: } Cp = 1,9842 + 1,4733 * 10^{-3}T - 4,8008 * 10^{-6}T^2 \quad (11)$$

$$\text{Carbohidrato: } Cp = 1,5488 + 1,9625 * 10^{-3}T - 5,9399 * 10^{-6}T^2 \quad (12)$$

$$\text{Fibra: } Cp = 1,8459 + 1,8306 * 10^{-3}T - 4,6509 * 10^{-6}T^2 \quad (13)$$

$$\text{Ceniza: } Cp = 1,0926 + 1,8896 * 10^{-3}T - 3,6817 * 10^{-6}T^2 \quad (14)$$

$$\text{Agua: } Cp = 4,0817 - 5,3062 * 10^{-3}T + 9,9516 * 10^{-4}T^2 \quad (15)$$

$$\text{Agua: } Cp = 4,1762 - 9,0864 * 10^{-5}T + 5,4731 * 10^{-6}T^2 \quad (16)$$

La fórmula para determinar el contenido de agua (humedad) varía de acuerdo a la temperatura del alimento, siendo la primera fórmula empleada en rangos de temperatura de - 40 a 0°C y la segunda fórmula en rangos de 0 – 150°C. El resultado obtenido se expresó en KJ/Kg °C.

2.3.2. Conductividad térmica

Se estimó la conductividad térmica (k) según lo especificado por [5] mediante la resolución de los siguientes coeficientes:

$$\text{Proteína: } k = 1,7881 * 10^{-1} + 1,1958 * 10^{-3}T - 2,7178 * 10^{-6}T^2 \quad (17)$$

$$\text{Grasa: } k = 1,8071 * 10^{-1} - 2,7604 * 10^{-3}T - 1,7749 * 10^{-7}T^2 \quad (18)$$



$$\text{Carbohidratos: } k = 2,0141 * 10^{-1} + 1,3874 * 10^{-3}T - 4,3312 * 10^{-6}T^2 \quad (19)$$

$$\text{Fibra: } k = 1,8331 * 10^{-1} + 1,2497 * 10^{-3}T - 3,1683 * 10^{-6}T^2 \quad (20)$$

$$\text{Ceniza: } k = 3,2962 * 10^{-1} + 1,4011 * 10^{-3}T - 2,9069 * 10^{-6}T^2 \quad (21)$$

$$\text{Agua: } k = 5,7109 * 10^{-1} + 1,7625 * 10^{-3}T - 6,7036 * 10^{-6}T^2 \quad (22)$$

El resultado obtenido se expresó en W/m°C.

2.3.3. Difusividad térmica

Se estimó la difusividad térmica (α) según lo especificado por [6] mediante la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \quad (23)$$

En donde k es la conductividad térmica, ρ es la densidad del alimento y C_p es el calor específico del alimento. El resultado obtenido se expresó en m²/s.

2.4. Parámetros de congelación

Para determinar el tiempo de congelación fue necesario obtener los parámetros de congelación que repercuten en este valor por medio de cálculos de ingeniería en alimentos empleados por [7].

2.4.1. 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%. [7]

$$T_c = \frac{-K_w \cdot C}{M} \quad (24)$$

$$C = \frac{1 - m_w}{m_w} \times 100 \quad (25)$$



$$M = \frac{200}{0,25+S} \quad (26)$$

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.

2.4.2. Tiempo de congelación

Para estimar el tiempo de congelación se empleó el modelo de Plank modificado en donde [7] indican que a diferencia del modelo de Plank convencional este modelo toma en cuenta el tiempo que se requiere para la eliminación de calor sensible durante las etapas de pre y post congelación.

$$t_c = \frac{1}{E} \left[\frac{\Delta H_1}{\Delta T_1} + \frac{\Delta H_2}{\Delta T_2} \right] \left[\frac{D}{h} + \frac{D^2}{2k} \right] \quad (24)$$

$$E = 1 + \left[\frac{1 + \frac{2}{Bi}}{\beta_1^2 + \frac{2\beta_1}{Bi}} \right] + \left[\frac{1 + \frac{2}{Bi}}{\beta_2^2 + \frac{2\beta_2}{Bi}} \right] \quad (25)$$

$$\beta_1 = \frac{A}{\pi \bullet D^2} \quad (26)$$

$$\beta_2 = \frac{3 \bullet V}{4 \bullet \pi \bullet \beta_1 \bullet D^2} \quad (27)$$

$$\Delta H_1 = \rho \bullet C_{pnc} \bullet (T_o - T_{cm}) \quad (28)$$

$$\Delta H_2 = \rho \bullet \lambda_a + \rho \bullet C_{pc} \bullet (T_{cm} - T) \quad (29)$$

$$\Delta T_1 = 0,5(T_o + T_{cm}) - T_a \quad (30)$$

$$\Delta T_2 = T_{cm} - T_a \quad (31)$$

$$T_{cm} = 1,8 + 0,263 T + 0,105 T_a \quad (32)$$

En donde t_c es el tiempo de congelación del alimento (s), ρ es la densidad del alimento sin congelar (Kg/m³), λ_a es el calor latente de congelación del alimento (KJ/Kg), h es el coeficiente convectivo de transferencia de calor (W/m² °C), k es la conductividad



térmica del alimento congelado ($W/m\ ^\circ C$), T_a es la temperatura del medio frío ($^\circ C$), Cp_{nc} es el calor específico sin congelar ($KJ/Kg^\circ C$), T_o es la temperatura inicial del producto ($^\circ C$), E es un factor de forma que varía entre 1 y 3, β_1 y β_2 son factores de forma, A es el área seccional (m^2), D es la dimensión característica (m), V es el volumen del alimento (m^3), T_{cm} es la temperatura media ($^\circ C$), ΔT_1 y ΔT_2 son las gradientes de temperatura, ΔH_1 es el cambio entálpico volumétrico durante el periodo de enfriamiento (KJ/m^3) y ΔH_2 es el cambio entálpico volumétrico durante el cambio de fase y el periodo de post enfriamiento (KJ/m^3), Cp_c es el calor específico congelado ($KJ/Kg\ ^\circ C$) y T es la temperatura final de congelación ($^\circ C$).

Dado que el arazá tiene forma redonda se asume la fórmula de cálculo de área para una esfera.

$$A = 4 \pi \bullet r^2 \quad (33)$$

Se calculó el volumen de la fruta tomando como referencia la fórmula del volumen de una esfera.

$$V = \frac{4}{3} \bullet \pi \bullet r^3 \quad (34)$$

Para calcular λ_a se tiene que:

$$\lambda_a = 335 \frac{KJ}{Kg} \bullet X_w \quad (35)$$

3. Resultados

3.1. Análisis físico-químicos

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

El contenido de fibra y carbohidratos fueron obtenidos de los estudios realizados por [8] y el porcentaje de grasas fue tomado de la investigación de [9]. En la (Tabla 2) se aprecia la densidad obtenida empleando la ecuación de [5] fue de:

3.2. Propiedades térmicas

En la (Tabla 3) se observan el calor específico calculado a diferentes temperaturas.

En la (Tabla 4) se aprecian los valores de conductividad térmica a diferentes temperaturas.

En la (Tabla 5) se visualiza el valor de difusividad térmica a diferentes temperaturas.

**Table 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

Table 2

Densidad del Arazá a diferentes temperaturas.

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

Table 3

Calor específico del arazá a diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Valor (KJ/Kg°C)
28	3,962
-18	1,791
-40	1,787

Table 4

Conductividad térmica del arazá a diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Valor (W/m°C)
28	0,582
-18	0,506
-40	0,461

3.3. Parámetros de congelación

3.3.1. Temperatura inicial de congelación

$$C = 9,349$$

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

**Table 5**

Difusividad térmica del arazá a diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Valor (m ² /s)
28	1,41 x 10 ⁻⁷ m ² /s
-18	2,99 x 10 ⁻⁷ m ² /s
-40	2,48 x 10 ⁻⁷ m ² /s

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

3.3.2. Tiempo de congelación

$$T_{cm} = -7, 134^{\circ}\text{C} \quad (36)$$

$$\beta_1 = 3, 93 \quad (37)$$

$$\beta_2 = 0, 25 \quad (38)$$

$$\Delta H_1 = 144838, 54 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^3} \quad (39)$$

$$\Delta H_2 = 339014, 16 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^3} \quad (40)$$

$$\Delta T_1 = 50, 433^{\circ}\text{C} \quad (41)$$

$$\Delta T_2 = 32, 866^{\circ}\text{C} \quad (42)$$

$$E = 6, 01 \quad (43)$$

$$t_c = 2, 98 \text{ h} \quad (44)$$

En la (Tabla 6) se observan los resultados obtenidos experimentales de varias frutas.

1. Discusión

**Table 6**

Tiempo de congelación de diversas frutas a -18°C .

Fruta	Tiempo (hr)
Tomate	4
Naranja	3,7
Arazá	2,8

3.4. Análisis físico-químicos

Los análisis guardan cierta similitud con la investigación de [10] en guayaba fresca, al determinarse un contenido de proteína de 0,9 %; grasa 0,3 % y de acuerdo con [11] un 80,2% de humedad, lo cual nos indica que el contenido nutricional obtenido es similar al de la guayaba debido a que esta fruta pertenece a la familia de las mirtáceas, al igual que el arazá.

Los valores obtenidos tiene relación con la investigación de [12] quien al estimar la densidad de la pulpa de maracuyá a temperatura ambiente obtuvo un valor de 1049 Kg/m^3 ; [13] señala que la densidad de la guayaba a temperatura ambiente es de 1064,92 Kg/m^3 ; [14] analizaron la densidad de algunos alimentos a diferentes temperaturas de conservación en donde las frutas poseen un valor entre 991 – 1110 Kg/m^3 , demostrando de esta forma que los valores estimados se encuentran dentro de los parámetros normales.

3.5. Propiedades térmicas

3.5.1. Calor específico

Los valores obtenidos en esta propiedad térmica guardan relación con los estudios realizados por [15] quien sometió a la mashua a diferentes temperaturas (4 , 8 , 12 y 16°C) obteniendo valores de 3,072; 3,2304; 3,2361 y 3,720 $\text{KJ}/\text{Kg}^{\circ}\text{C}$ respectivamente, lo cual indica que al existir un incremento en la temperatura del alimento existe un aumento en dicha propiedad y viceversa, ya que al disminuir la temperatura del alimento el valor de esta propiedad decrece, esto demuestra la veracidad de los datos obtenidos. En otra investigación realizada por [15] al obtener el calor específico del zumo de melón se obtuvo 3,94 $\text{KJ}/\text{Kg}^{\circ}\text{C}$ a temperatura ambiente, igual que lo reportado por [6] para zumo de naranja arrojando un valor de 3,818 $\text{KJ}/\text{Kg}^{\circ}\text{C}$.



3.5.2. Conductividad térmica

Los resultados obtenidos guardan similitud con los estudios de [16] quien comparó la conductividad térmica de dos variedades de mango sometidos a congelación, concluyendo que a medida que la temperatura desciende su conductividad disminuye obteniéndose valores entre 0,547 y 0,436 W/m°C, lo cual muestra la congruencia de los datos obtenidos. Datos similares reporta [13] quien al determinar la conductividad térmica de la guayaba en fresco y a temperatura estándar de congelación (- 18°C) obtuvo valores de 0,563 y 0,498 W/m°C respectivamente.

3.5.3. Difusividad térmica

Los datos obtenidos se encuentran dentro de los parámetros normales establecidos por [13] quien obtuvo un valor de $1,376 \times 10^{-7}$ m²/s para pulpa de guayaba fresca; [17] al analizar la pulpa de guanábana registró un valor de $1,05 \times 10^{-7}$ m²/s luego de estar acondicionada a 60°C de temperatura, concluyendo que a medida que la temperatura a la que se somete el alimento incrementa la difusividad térmica aumenta, y al descender la temperatura la difusividad térmica disminuye lo cual se explica con los resultados obtenidos en esta investigación. [15] indica que los alimentos secos y semi secos registran valores de $0,91 \times 10^{-7}$ m²/s a $3,23 \times 10^{-7}$ m²/s, sin embargo, estos valores en general dependen de la temperatura y humedad a la que se encuentran sometidos.

3.6. Parámetros de congelación

3.6.1. Temperatura inicial de congelación

(7) 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 [13] determinó una temperatura inicial de congelación de - 0,89°C para guayaba y [18] 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.

3.6.2. Tiempo de congelación

El tiempo estimado por [16] para congelar pulpa de mango variedad Chato de Ica fue de 2,22 h en donde el tiempo depende de la fracción de agua presente en el alimento, los grados Brix, así como el tamaño del alimento y dado que existe una mayor cantidad



de agua en el arazá y un mayor diámetro se justifica el valor obtenido; [18] en su investigación concluyó que se requiere de 3,84 h para congelar la fruta açai y [19] estimaron un tiempo de congelación de 3 h para pulpa de mora, los valores obtenidos guardan relación con las investigaciones ya que existen diferencias por el contenido de humedad y sólidos totales en la frutas, además hay que recalcar que la forma de la fruta es un factor determinante para estimar el tiempo de congelación.

En los datos experimentales obtenidos vale recalcar, que los modelos matemáticos empleados arrojan valores que se aproximan a lo real por lo tanto tienen cierto grado de incertidumbre y por lo general los valores que se obtienen no serán exactos. En su investigación [18] estimaron un tiempo de 3,84 h empleando el modelo de Plank y un valor de 2,56 h obtenido de forma experimental para la congelación de la pulpa de açai existiendo una disminución del 33% de lo calculado en los momentos matemáticos, esta tendencia se observa también en los valores obtenidos.

4. Conclusiones

1. La densidad del arazá a 28°C, - 18°C y - 40°C es de 1040,50 Kg/m³ ; 1043,25 Kg/m³ y 1039,43 Kg/m³ respectivamente.
2. Las propiedades térmicas del arazá a 28°C son de 3,962 KJ/Kg°C para calor específico, 0,582 W/m°C para conductividad térmica y $1,41 \times 10^{-7}$ m²/s para difusividad térmica.
3. Las propiedades térmicas del arazá a -18°C son de 1,791 KJ/Kg°C para calor específico, 0,506 W/m°C para conductividad térmica y $2,99 \times 10^{-7}$ m²/s para difusividad térmica.
4. El tiempo de congelación del arazá a -18°C es de 2,98 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.

5. Agradecimientos

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

6. Conflictos de Intereses

Los autores han declarado no tener ningún conflicto de intereses en este artículo.



References

- [1] Reyes C, Lanari M. Storage stability of freeze-dried arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) powders. Implications of carrier type and glass transition. *LWT Food Science and Technology*. 2020;118(November):108842. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108842>
- [2] Garcia C, Alvis A, Dussán S. Validación del método de microondas para determinar humedad en ñame espino (*Dioscorea Rotundata* Poir). *Inf Tecnológica*. 2017;28(2):87–94.
- [3] García L, Tejada V, Heredia E, Serna S, Welti J. 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*. 2018;67:77–85. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157518300048>
- [4] AOAC 923.03. Método general del Codex para determinación de cenizas. *Codexalimentarius*. 2020;1–18. Available from: http://www.fao.org/tempref/codex/Meetings/CCMAS/ccmas36/ma36_03s.pdf
- [5] Alabi K, Zhu Z, Wen D. Transport phenomena and their effect on microstructure of frozen fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*. 2020;101:63–72. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224420304453>
- [6] Sulla R. Influencia de los sólidos solubles en el calor específico de la pulpa concentrada de piña (*Ananas comosus*), Zumo concentrado de naranja (*Citrus sinensis*) y comparación con los modelos matemáticos de Choi y Okos, Siebel y Heldman. 2016, SUNEDU, Perú
- [7] Biglia A, Comba L, Fabrizio E, Gay P, Aimonino DR. Case studies in food freezing at very low temperature. *Energy Procedia*. 2016;101(September):305–12. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.039>
- [8] Chagas R, de Oliveira C, Santos L et al. 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*. 2019;111:370–7. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643819304712>
- [9] Kumar B, Smita K, Debut A, Cumbal L. Extracellular green synthesis of silver nanoparticles using Amazonian fruit Araza (*Eugenia stipitata* McVaugh).



- Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 016;26(9):2363–71. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1003632616643595>
- [10] Smail MA, B.Singh R, W.Wilson D, Chibisov S, Kharlit-skaya E, Manal MA. Functional foods and nutraceuticals in metabolic and non-communicable diseases. 2021. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128198155000513>
- [11] Larrea E. Elaboración y control de calidad de un suplemento alimenticio en polvo a base de uvilla (*Physalis peruviana*) y guayaba (*Psidium guajava*). Universidad de Guayaquil; 2020. Available from: [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/53786/1/BCIEQ-T-0624 Larrea Chávez Ericka Andreina.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/53786/1/BCIEQ-T-0624%20Larrea%20Ch%C3%A1vez%20Ericka%20Andreina.pdf)
- [12] Flores E. Diseño de una planta para el procesamiento de concentrado congelado de maracuyá (*passiflora edulis*) por evaporación osmótica. 2017, EPN, Quito
- [13] Tubón M. 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; 2017.
- [14] Moscoso M, Ochoa M. Catálogo de Densidades y consistencias de alimentos como herramienta para estimación de porciones alimentarias en niños y adultos de la ciudad de Cuenca. 2018. Available from: <http://bibliotecasdelecuador.com/Record/oai:localhost:123456789-29931>
- [15] Rodriguez V. Efecto de la temperatura y del poder de calentamiento en las propiedades térmicas de la oca (*Oxalis tuberosa*), jícama (*Smallanthus sonchifolius*), mashua (*tropaeolum tuberosum*) y camote (*Ipomoea batatas*). 2020. Available from: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3164/1/AL499.pdf>
- [16] Herrera C. Evaluación de la Cinética de la Congelación de Zumo de Mango de zumo de mango a diferentes concentraciones de las variedades Chato de Ica y Haden. Universidad Nacional del Centro de Perú; 2016. Available from: <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/41933?offset=2860>
- [17] Caiza K. Efecto de la temperatura y del poder de calentamiento en las propiedades térmicas de melloco amarillo (*Ullucus tuberosus*), zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*), achira (*Canna indica*) y papa china (*Colocasia esculenta*). 2020. Available from: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30792/1/AL731.pdf>
- [18] Arias S, Ceballos AM, Gutiérrez LF. Evaluación de los parámetros del proceso de congelación para la pulpa de Açaí. *TecnoLógicas*. 2019;22-25. Available from: <https://revistas.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/article/view/1117>



- [19] Viteri P, Cornejo F. Estudio de estabilidad de la pulpa de mora sometida a un proceso de liofilización. *Fac Ing en Mecánica y Ciencias la Producción*. 2020;6; 1-10. Available from: https://www.researchgate.net/publication/48140776_Estudio_de_la_estabilidad_de_la_pulpa_de_mora_sometida_a_un_proceso_de_liofilizacion