



## Efectos del tiempo de congelación en las características bromatológicas de Arazá (*Eugenia stipitata*) aplicando modelos matemáticos

### ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil  
o revisa este artículo en:  
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i23.267>

Effects of freezing time on the bromatological characteristics of Arazá (*Eugenia stipitata*) applying mathematical models

Efeitos do tempo de congelamento nas características bromatológicas do Arazá (*Eugenia stipitata*) aplicando modelos matemáticos

José Francisco Falconí Novillo   
jfalconin@unemi.edu.ec

Universidad Estatal de Milagro. Ecuador

Artículo recibido 8 de febrero 2024 / Arbitrado 6 de marzo 2024 / Publicado 2 de mayo 2024

### RESUMEN

El arazá es una fruta que proviene principalmente de la región amazónica del Ecuador la cual posee características sensoriales y nutricionales únicas, destacando el contenido de vitamina C que supera a la naranja en un 37%. Por los que nos trazamos como **objetivo** evaluar los efectos del tiempo de congelación en las características bromatológicas de Arazá (*Eugenia stipitata*) aplicando modelos matemáticos. Los frutos cosecharon en la ciudadela Dager, ubicada en la ciudad de Milagro que pertenece a la provincia del Guayas del Ecuador, a los cuales se le determinaron contenido de humedad, proteína y cenizas, se estimaron los parámetros anteriormente mencionados aplicando modelos matemáticos en RStudio; posteriormente se sometió a una temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$  y de determinaron la densidad, tiempo de congelación, calor específico según modelos de Choi y Okos, temperatura final de congelación y análisis de sensibilidad. El fruto con bajo en fibra, ceniza y grasas con 0.4, 0.14 y 0.5 %, respectivamente, mientras que altos el proteína, humedad y carbohidratos (0.51, 91.45 y 7 %), efecto de la temperatura con incrementos de la densidad 2.75 kg/m<sup>3</sup>, disminuye en 2.17 kJ/kg<sup>°C</sup> el calor específico, temperatura congelación media de  $-7.13^{\circ}\text{C}$  y que esta es alcanzada a 2.98 horas. En base al análisis de sensibilidad se determinó que a medida que disminuyen los parámetros de temperatura externa, fracción de agua y densidad de la fruta, el tiempo de congelación disminuye y viceversa, ya que a partir de una temperatura externa de  $28^{\circ}\text{C}$  por cada  $6.5^{\circ}\text{C}$  que se reduce el tiempo de congelación disminuye un 3,02%; al tener una fracción de agua de 0,9145 por cada 0,02 unidades que se reduce de este parámetro el tiempo de congelación disminuye un 1%; partiendo de una densidad de 1040,50 Kg/m<sup>3</sup> se determinó que por cada 49,5 unidades que disminuye este parámetro el tiempo de congelación se reduce en un 5%.

**Palabras clave:** Arazá; Congelación; Modelos matemáticos; Análisis de sensibilidad; RStudio

### ABSTRACT

Araza is a fruit that comes mainly from the Amazon region of Ecuador which has unique sensory and nutritional characteristics, highlighting the vitamin C content that exceeds that of oranges by 37%. Therefore, our **objective** is to evaluate the effects of freezing time on the bromatological characteristics of Arazá (*Eugenia stipitata*) by applying mathematical models. The fruits were harvested in the Dager citadel, located in the city of Milagro, which belongs to the Guayas province of Ecuador, for which moisture, protein and ash content were determined. The aforementioned parameters were estimated by applying mathematical models in RStudio; Subsequently, it was subjected to a temperature of  $-18^{\circ}\text{C}$  and the density, freezing time, specific heat according to Choi and Okos models, final freezing temperature and sensitivity analysis were determined. The fruit is low in fiber, ash and fat with 0.4, 0.14 and 0.5%, respectively, while high in protein, moisture and carbohydrates (0.51, 91.45 and 7%), effect of temperature with increases in density 2.75 kg/ m<sup>3</sup>, the specific heat decreases by 2.17 kJ/kg<sup>°C</sup>, the average freezing temperature is  $-7.13^{\circ}\text{C}$  and this is reached at 2.98 hours. Based on the sensitivity analysis, it was determined that as the parameters of external temperature, water fraction and density of the fruit decrease, the freezing time decreases and vice versa, since from an external temperature of  $28^{\circ}\text{C}$  for each  $6.5^{\circ}\text{C}$ , which reduces the freezing time, decreases by 3.02%; By having a water fraction of 0.9145 for every 0.02 units that is reduced from this parameter, the freezing time decreases by 1%; Starting from a density of 1040.50 Kg/m<sup>3</sup>, it was determined that for every 49.5 units that this parameter decreases, the freezing time is reduced by 5%.

**Key words:** Araza; Freezing; Mathematical models; Sensitivity Analysis; RStudio

### RESUMO

O Arazá é uma fruta proveniente principalmente da região amazônica do Equador que possui características sensoriais e nutricionais únicas, destacando-se o teor de vitamina C que supera em 37% o da laranja. Portanto, nosso **objetivo** é avaliar os efeitos do tempo de congelamento nas características bromatológicas do Arazá (*Eugenia stipitata*) através da aplicação de modelos matemáticos. Os frutos foram colhidos na cidadela de Dager, localizada na cidade de Milagro, pertencente à província de Guayas, no Equador, para os quais foram determinados o teor de umidade, proteína e cinzas. Os parâmetros mencionados foram estimados através da aplicação de modelos matemáticos no RStudio; Posteriormente, foi submetido à temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$  e foram determinados a densidade, tempo de congelamento, calor específico segundo modelos de Choi e Okos, temperatura final de congelamento e análise de sensibilidade. A fruta é pobre em fibras, cinzas e gordura com 0,4, 0,14 e 0,5%, respectivamente, enquanto rica em proteínas, umidade e carboidratos (0,51, 91,45 e 7%), efeito da temperatura com aumentos na densidade de 2,75 kg/m<sup>3</sup>, o calor específico diminui 2,17 kJ/kg<sup>°C</sup>, a temperatura média de congelamento é de  $-7,13^{\circ}\text{C}$  e é alcançada em 2,98 horas. Com base na análise de sensibilidade, determinou-se que à medida que os parâmetros de temperatura externa, fração de água e densidade do fruto diminuem, o tempo de congelamento diminui e vice-versa, pois a partir de uma temperatura externa de  $28^{\circ}\text{C}$  para cada  $6,5^{\circ}\text{C}$ , o que reduz o tempo de congelamento, diminui em 3,02%; Por ter uma fração de água de 0,9145 para cada 0,02 unidades que se reduz deste parâmetro, o tempo de congelamento diminui 1%; Partindo de uma densidade de 1040,50 Kg/m<sup>3</sup>, determinou-se que a cada 49,5 unidades que este parâmetro diminui, o tempo de congelamento é reduzido em 5%.

**Palavras-Chave:** Arazá; Congelando; Modelos matemáticos; Análise sensitiva; RStudio

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la producción de frutas amazónicas ha ganado un gran espacio en el mercado global, particularmente el arazá (*Eugenia stipitata* McVaugh) que es considerado una fruta exótica y de alto contenido en antioxidantes. Ello significa que su consolidación en forma de cadena de valor puede traer beneficios económicos y sociales a los productores de este fruto. En el Ecuador, el cultivo de arazá es de 704 ha de superficie plantada a nivel nacional, y de forma silvestre; en sistemas agroforestales en las provincias del oriente es de 250 ha (1)

El arazá (*Eugenia stipitata*) es una fruta tropical de la zona amazónica de Brasil y Colombia muy apreciada por su color amarillo intenso, características sensoriales exóticas y altos niveles de jugosidad. Esta fruta tiene alto contenido de antioxidantes fenólicos, carotenoides y vitamina C que le otorgan propiedades antioxidantes, antimutagénicas y antígenotóxicas. Actualmente se consume fresco o en jugos, ya que su fragilidad y corta vida útil limitan sus posibilidades de comercialización. Para solucionar este problema deben utilizarse técnicas de preservación que permitan aumentar su vida útil sin deteriorar sus propiedades sensoriales y nutricionales como la deshidratación y congelación (2).

El mundo de hoy en día le apuesta al procesado de frutas y verduras, siendo las frutas un alimento cuyas características físico-químicas y nutricionales llaman la atención de los consumidores ya que su consumo equilibrado aporta grandes beneficios para la salud (3).

Las frutas son alimentos primordiales en la dieta diaria del ser humano debido a su aporte nutricional. Al considerarse alimentos altamente perecederos, requieren un proceso de conservación para alargar su tiempo de vida útil. Es ahí en donde intervienen procesos como la congelación y ultracongelación. La congelación es uno de los métodos de conservación más utilizados en la industria alimentaria. Cabrera, define a dicha operación como un proceso de preservación, el cual actúa mediante la reducción de la temperatura del alimento, hasta un valor por debajo del cual empiezan a formarse cristales de hielo. Si bien es cierto que este proceso no destruye microorganismos, los inhibe, incrementando el tiempo de vida útil del producto (4).

De acuerdo con Anaya-Esparza et al., (5), el proceso de conservación de frutas y vegetales a bajas temperaturas no cuenta con los estudios suficientes que satisfagan la incertidumbre sobre los efectos que este tipo de procesos generan en los alimentos tratados, así como también sobre la combinación de tecnologías que permitan que el estado de frutas y vegetales permanezca intacto posterior a un proceso de congelación.

Según Arias-Giraldo et al., (6), el tiempo nominal de congelación es el periodo necesario para que el centro térmico de un producto, que se encuentra en su temperatura inicial de congelación, alcance la temperatura final de congelación. El tiempo efectivo, por su parte, corresponde al tiempo total requerido para disminuir la temperatura desde cierto valor inicial por encima de su punto de congelación,

hasta su temperatura final. La tasa media de congelamiento (o factor de penetración de calor) es el cociente entre la dimensión característica del producto y el tiempo nominal de congelación; mientras que la velocidad media es la razón entre la diferencia de las temperaturas inicial y final de congelación, y el tiempo usado para alcanzar dicho diferencial.

Por lo que debido a las características del fruto del arazá y el proceso de conservación y los cambios que ocurren durante este (7), se hace preciso realizar análisis de sensibilidad realizando una variación en los parámetros de temperatura externa, fracción de agua y densidad empleando modelos matemáticos en RStudio para conocer la influencia de cada uno respecto al tiempo de congelación y así preservar la calidad de la fruta. Por lo que, nos trazamos como objetivo, evaluar los efectos del tiempo de congelación en las características bromatológicas de Arazá (*Eugenia stipitata*) aplicando modelos matemáticos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El arazá se cosechó en la ciudadela Dager, ubicada en la ciudad de Milagro que pertenece a la provincia del Guayas del Ecuador, donde se seleccionaron cinco árboles al azar, de los cuales se colectó un total de 3 kg de muestra (frutos), la colecta fue únicamente de frutos maduros en buen estado, estos se sometieron a una temperatura de -18°C, con el objetivo de posteriormente se estimar los parámetros del proceso aplicando modelos matemáticos en RStudio.

## Análisis físico-químicos

Para el procesamiento de los frutos después de haber sido almacenados a una temperatura bajo cero, fueron retirados y mezclados en un solo envase logrando homogeneizar la muestra. A los cuales se determinaron sus características bromatológicas en el Laboratorio de Control Biológico de la Agencia de Regulación Control y Vigilancia Sanitario (ARCSA) de Guayaquil.

El contenido de humedad se efectuó por gravimetría (pérdida por desecación) que es el método estipulado por la AOAC 925.09 empleado por Olivera et al., (8). La proteína se determinó por titulometría (digestión Kjeldahl) que es el método estipulado por la AOAC 920.152 utilizado por Cortés-Herrera et al., (9). Este método consiste en la transformación del nitrógeno presente en sulfato de amonio, también puede darse por una mineralización con ácido sulfúrico. Posteriormente el sulfato de amonio se alcaliniza por la adición de hidróxido de sodio con lo cual se descompone y el amoniaco liberado se destila y se capta en una solución ácida, luego se procede a una valoración del amoniaco. Se aplicó la siguiente fórmula:

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

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

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).

Los análisis de cenizas se realizaron por gravimetría que es el método estipulado por la AOAC 923.03 (10). Este método consiste en la calcinación de la muestra en una mufla a temperaturas de 500 – 600°C lo cual produce la oxidación de la materia orgánica quedando únicamente la materia inorgánica que es lo que se conoce como cenizas. Para lo cual se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100$$

En donde  $m_2$  es el peso del crisol después de la incineración (g),  $m_1$  es el peso crisol antes de la incineración (g) y  $m_0$  es el peso del crisol vacío (g). 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 et al. (11) es este estado en donde la fruta posee excelentes características bromatológicas.

### **Determinaciones aplicando modelos matemáticos**

La densidad se determinó mediante modelos matemáticos empleados por Alabi et al. (12) que utiliza los siguientes coeficientes:

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

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

### **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 (13). Calor específico y conductividad térmica son las propiedades que se estimaron mediante modelos matemáticos los mismos son indispensables para determinar el tiempo de congelación de los alimentos.

### **Calor específico**

Se estimó el calor específico (Cp) con los modelos de Choi y Okos según lo especificado por Alabi et al. (12) mediante la resolución de los siguientes coeficientes:

- Proteína:  $C_p = 2,0082 + 1,2089 * 10^{-3}T - 1,3129 * 10^{-6}T^2$
- Grasa:  $C_p = 1,9842 + 1,4733 * 10^{-3}T - 4,8008 * 10^{-6}T^2$
- Carbohidrato:  $C_p = 1,5488 + 1,9625 * 10^{-3}T - 5,9399 * 10^{-6}T^2$
- Fibra:  $C_p = 1,8459 + 1,8306 * 10^{-3}T - 4,6509 * 10^{-6}T^2$
- Ceniza:  $C_p = 1,0926 + 1,8896 * 10^{-3}T - 3,6817 * 10^{-6}T^2$
- Agua:  $C_p = 4,0817 - 5,3062 * 10^{-3}T + 9,9516 * 10^{-4}T^2$
- Agua:  $C_p = 4,1762 - 9,0864 * 10^{-5}T + 5,4731 * 10^{-6}T^2$

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.

### Conductividad térmica

Se estimó la conductividad térmica (k) según lo especificado por Dharshini y Meera (14) mediante la resolución de los siguientes coeficientes:

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

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

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

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

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

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

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

### Tiempo de congelación

Para estimar el tiempo de congelación se empleó el modelo de Plank modificado en donde Da Silva et al. (15) 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 como se muestran a continuación:

### Tiempo de congelación:

$$tc = \frac{1}{E} \left[ \frac{\Delta H_1}{\Delta T_1} + \frac{\Delta H_2}{\Delta T_2} \right] \left[ \frac{D}{h} + \frac{D^2}{2k} \right]$$

Temperatura de congelación media:

$$T_{cm} = 1,8 + 0,263 T + 0,105 T_a$$

En donde tc es el tiempo de congelación del alimento (s), ρ es la densidad del alimento sin congelar (kg/m<sup>3</sup>), λa es el calor latente de congelación del alimento (kJ/kg), h es el coeficiente convectivo de transferencia de calor (W/m<sup>2</sup> °C), k es la conductividad térmica del alimento congelado (W/m/°C), Ta es la temperatura del medio frío (°C), Cp<sub>nc</sub> es el calor específico sin congelar (kJ/kg/°C), To es la temperatura inicial del producto (°C), E es un factor de forma que varía entre 1 y 3, β1 y β2 son factores de forma, A es el área seccional (m<sup>2</sup>), D es la dimensión característica (m), V es el volumen del alimento (m<sup>3</sup>), Tcm es la temperatura media (°C), ΔT<sub>1</sub> y ΔT<sub>2</sub> son los gradientes de temperatura, ΔH<sub>1</sub> es el cambio entálpico volumétrico durante el periodo de enfriamiento (kJ/m<sup>3</sup>) y ΔH<sub>2</sub> es el cambio entálpico volumétrico durante el cambio de fase y el periodo de post enfriamiento (kJ/m<sup>3</sup>), Cp<sub>c</sub> es el calor específico congelado (kJ/kg °C) y T es la temperatura final de congelación (°C).

### Análisis de sensibilidad

Mediante el paquete estadístico Rstudio para Windows 10, se empleó la función plot para realizar un análisis de sensibilidad por medio de gráficas de líneas variando los parámetros de temperatura externa, fracción de agua y densidad en función al tiempo de congelación del arazá estimado.

## RESULTADOS

### Análisis físico-químicos

En la Tabla 1 se observan los análisis físico - químicos obtenidos. El fruto con bajo en fibra, ceniza y grasas con 0.4, 0.14 y 0.5 %, respectivamente, mientras que altos el proteína, humedad y carbohidratos (0.51, 91.45 y 7 %).

**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
<b>Total</b>	<b>100</b>

Vale destacar que el contenido de fibra y carbohidratos fueron obtenidos de los estudios realizados por Chagas et al. (16) y el porcentaje de grasas fue tomado de la investigación de Kumar et al. (17).

En la Tabla 2 se aprecia la densidad obtenida empleando la ecuación de Alabi et al. (12) donde se aprecia el efecto de la temperatura con incrementos de 2.75 kg/m<sup>3</sup> cuando se emplean temperaturas por debajo de cero grados.

**Tabla 2.** Densidad del Arazá a diferentes temperaturas.

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

### Propiedades térmicas

En la Tabla 3 se observan el calor específico calculado a diferentes temperaturas disminuye en 2.17 kJ/kg°C en la medida que las temperaturas bajan de cero.

**Tabla 3.** Calor específico del arazá.

Temperatura	Valor (kJ/kg°C)
28°C	3,96
-18°C	1,79



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

**Tabla 3.** Calor específico del arazá.

Temperatura	Valor (W/m°C)
28°C	0,58
-18°C	0,50

Tiempo de congelación, arrojan como resultado que las frutas de arazá presentan una temperatura congelación media de -7.13 °C y que esta es alcanzada a 2.98 horas de someterlas a la refrigeración.

$$\begin{aligned}
 T_{cm} &= -7,134 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
 \beta_1 &= 3,93 \\
 \beta_2 &= 0,25 \\
 \Delta H_1 &= 144838,54 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^3} \\
 \Delta H_2 &= 339014,16 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^3} \\
 \Delta T_1 &= 50,433 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
 \Delta T_2 &= 32,866 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
 E &= 6,01 \\
 tc &= 2,98 \text{ h}
 \end{aligned}$$

### **Análisis de sensibilidad**

En la Tabla 5 se observan que en la que se incrementa el tiempo de congelación existe aumentos tres valores aleatorios asignados a las variables temperatura externa (14.1 °C), fracción de agua (0.1565 %) y densidad (119 Kg/m<sup>3</sup>) en función al tiempo del proceso de congelación.

**Tabla 5.** Valores aleatorios para análisis de sensibilidad.

Temp. (°C)	T (h)	F.A. (%)	T (h)	D (kg/m <sup>3</sup> )	T (h)
13,9	2,78	0,758	2,84	991	2,83
21,5	2,89	0,8898	2,95	1040,5	2,98
28	2,98	0,9145	2,98	1110	3,17

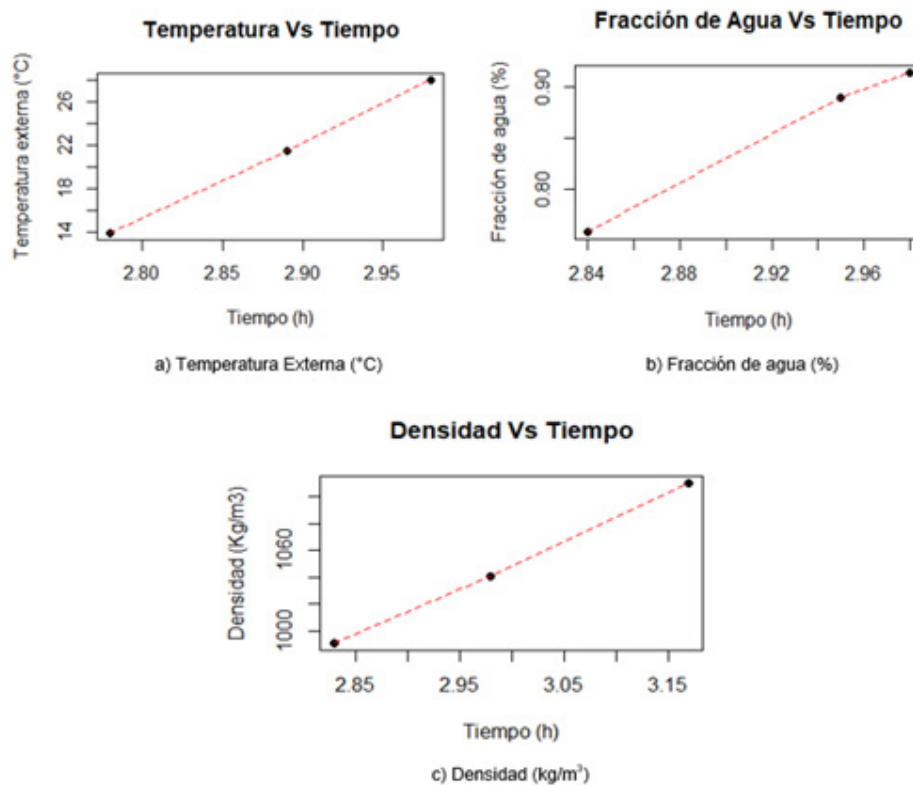
F.A.: fracción de agua

D: densidad

### **Temp.: temperatura externa**

Las gráficas de líneas obtenidas en RStudio Figura 1 muestran una misma tendencia que aparece en la tabla 5 con relación directamente proporcional entre el tiempo de congelación ya que

a aumentar este se produce incrementos para los tres parámetros asignados (temperatura externa, fracción de agua y densidad) frente al tiempo de congelación.



**Figura 1.** Tiempo de congelación del arazá con respecto a la: a) temperatura externa; b) fracción de agua y c) densidad.

## DISCUSIÓN

### Análisis físico-químicos

Los valores obtenidos coinciden con los reportados por Falconí et al. (4); Falconí et al. (18); Chica (19), El Arazá, posee 90% de humedad, razón por la cual se le considera una fruta de alta perecibilidad, debido a la asociación de humedad con la tasa respiratoria. De igual manera, los contenidos de proteína son altos, asociados a la alta tasa metabólica sumando a esto niveles elevados de actividad enzimática. Por su parte, Chaves-Quesada y Acosta-Montoya (20) en guayaba fresca, al determinarse un contenido de proteína de 0,9 %; grasa 0,3 % y de acuerdo con Jacqueline (21) 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.

En condiciones del Perú al evaluar 4 variedades Barrantes et al. (22) reportaron concentraciones de proteínas de 0.44-0.56 %; humedad de 94.81-96.69%; fibra de 0.25-0.41 %; 2-4 % de carbohidratos, 0.11-0.19 % de grasa. Los que concluyen la amplia variación entre las 4 variedades de esta fruta en cuanto a su composición química. En este sentido Gamboa et al. (23) notificaron esta variabilidad en los análisis bromatológicos realizados en la corteza de arazá de diferentes zonas geográficas del Ecuador, los resultados destacados fueron en Pichincha el



aráz tuvo un pH de 2.08 y cenizas 2.41%. En Vines el aráz presenta acidez de 2.53%, sólidos solubles 5.90 °Brix y proteínas 12.22%; mientras que los resultados de aráz en Baba 9.03 % de fibra cruda. Mientras que, Balaguera-López y Arévalo (24), demostraron que los valores de mayor relevancia se obtuvieron en Brasil con acidez de 2.20% ácido cítrico anhidro, fibra cruda 11.29%, ceniza 2.04% y proteínas 12.67%; el pH en el aráz de Ecuador fue de 2.42, sólidos solubles 5.55 °Brix, vitamina A 92.35 IU y vitamina C 38.75/100mg, lo que demuestra los efectos de los factores de clima y el suelo en la composición química de esta fruta.

### ***Propiedades térmicas***

Los valores obtenidos en calor específico guardan relación con los estudios realizados Reyes et al. (2) Falconí et al. (4) y Falconí et al (18) quienes sometieron a temperaturas de 28 a -18°C notificaron valores de 1-3,96 kJ/kg°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. En otra investigación realizada por Da Silva et al (15) al obtener el calor específico de la zanahoria se obtuvo 3,918 kJ/kg°C a temperatura ambiente, igual que lo reportado por Evelyn et al. (25) para zumo de naranja arrojando un valor de 3,818 kJ/kg°C.

Con respecto a la conductividad térmica los resultados guardan similitud con los estudios

de Seppälä et al. (26) quienes compararon la conductividad térmica de los alimentos con malitol y sorbitol a temperatura ambiente y de enfriamiento arrojando valores entre 0,51 W/m°C y 0,6 W/m°C. Valores similares reporta Da Silva et al (15) quienes al determinaron un valor de  $0,56 \pm 0,07$  W/m°C para la zanahoria fresca, concordando también por Bai et al. (27) quienes al elevar la temperatura de las bayas goji de 25 a 85°C obtuvieron un aumento de 0,352 a 0,824 W/m°C respectivamente, por lo que es evidente que existe una relación directamente proporcional entre la conductividad térmica y la temperatura de la fruta, lo cual se aprecia en los resultados obtenidos demostrando la fiabilidad de los modelos matemáticos empleados.

### ***Tiempo de congelación***

Al evaluar el efecto del escaldado Millán et al. (28) mostraron que la calidad de la pulpa de aráz que es degradado tanto por efecto del escaldado como por el almacenamiento en congelación. Sin embargo, se encontró que a tiempos de escaldado superiores a 7 min la pérdida de este ácido por efecto del escaldado se ve compensada por la mayor estabilidad de esta vitamina durante la congelación. Aunque la velocidad de congelación y de descongelación no afectó la estabilidad de esta vitamina, sí hubo un efecto importante sobre la capacidad de retención de líquidos, la firmeza, índice de viscosidad, cohesividad y consistencia. Mediante el empleo de la congelación rápida y la descongelación lenta se logró una menor

degradación de las propiedades físicas de la pulpa. Mientras que, Narváez (29) al someter a 50 °C durante 0, 10, 20 y 30 min antes de ser refrigerados a 7 °C durante 14 días y maduración complementaria a 25 °C durante 3 días. Los frutos que no recibieron el choque térmico presentaron un pardeamiento severo que se intensificó durante la maduración complementaria. De los tratamientos de choque térmico ensayados se encontró que el calentamiento de los frutos a 50 °C durante 30 min inhibe las lesiones por frío, con lo que se logró prolongar su vida útil hasta por 15 días.

El tiempo estimado por Alhamdan et al. (30) para congelar dátiles frescos fue de 4,41 h; (31) en su investigación concluyó que se requiere de 3,84 h para congelar açai y Kobayashi y Suzuki (32) estimaron un tiempo de congelación de 3,6 h para las fresas, y con ello se puede evidenciar que el valor obtenido para el arazá guarda relación con el otro tipo de frutas y verduras como el tomate, naranja y guayaba comercializada en el mercado, debido a que cada una posee una composición química diferente en términos de humedad y sólidos totales, enfatizando también que la forma y el tamaño de la fruta son factores determinantes que influyen en la determinación del tiempo de congelación el cual se ajusta a lo real demostrando la autenticidad de los modelos matemáticos empleados en esta investigación.

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 con variabilidad del 0.6-2.25. En su investigación Arias et al. (31) 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.

### **Análisis de sensibilidad**

El análisis de densidad pretende demostrar la influencia de un parámetro con respecto una variable, Bai et al. (27) determinaron que la densidad de la bayas goji disminuía de 1193 kg/m<sup>3</sup> a 947 kg/m<sup>3</sup> a medida que el contenido de agua aumentaba del 15,1 % a 75,2%; sin embargo al aumentar la temperatura de 25 a 85°C existe un aumento del 57,28% de la conductividad térmica, en donde dicha tendencia se observa en los resultados obtenidos ya que a medida que aumenta el valor de los parámetros de estudio el tiempo del proceso se extiende. De forma similar reporta Astray et al. (33) al modelar la cinética de degradación de compuestos fenólicos en el fruto de madroño concluyendo que la degradación aumenta por el pH y temperatura de almacenamiento.

### **CONCLUSIONES**

La densidad, calor específico y conductividad térmica del arazá a 28°C es de 1040,50 kg/m<sup>3</sup>, 3,96 kJ/kg°C y 0,58 W/m°C respectivamente,

datos que son muy comunes en frutas que ya se procesan actualmente y que por consiguiente demuestran la fiabilidad de los modelos matemáticos empleados.

El calor específico y conductividad térmica del arazá a  $-18^{\circ}\text{C}$  es de  $1,79 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$  y  $0,50 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  respectivamente, y con ello se confirma que a menor temperatura las propiedades térmicas descienden y que existe una relación directamente proporcional entre el tiempo de congelación y los parámetros establecidos en esta investigación.

El tiempo de congelación del arazá a  $-18^{\circ}\text{C}$  es de 2,98 horas está dentro de los parámetros normales en frutas, por lo cual se reafirma la conservación y preservación de la calidad de este fruto; así como la aplicabilidad de los modelos matemáticos para la estimación de este indicador.

En base al análisis de sensibilidad se determinó que a medida que disminuyen los parámetros de temperatura externa, fracción de agua y densidad de la fruta, el tiempo de congelación disminuye y viceversa, ya que a partir de una temperatura externa de  $28^{\circ}\text{C}$  por cada  $6,5^{\circ}\text{C}$  que se reduce el tiempo de congelación disminuye un 3,02%; al tener una fracción de agua de 0,9145 por cada 0,02 unidades que se reduce de este parámetro el tiempo de congelación disminuye un 1%; partiendo de una densidad de  $1040,50 \text{ Kg/m}^3$  se determinó que por cada 49,5 unidades que disminuye este parámetro el tiempo de congelación se reduce en un 5%.

Se recomienda estimar la vida útil del arazá con modelos matemáticos a distintas temperaturas de conservación tomando como base los resultados obtenidos en esta investigación.

**CONFLICTO DE INTERESES.** Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Vargas Y, Prado J, Nicolalde J, Casanoves F, Virginio D, Viera W. Caracterización y rol de los frutales amazónicos en fincas familiares en las provincias de Sucumbíos y Orellana (Ecuador). *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria*. 2018; 19 (3): 485-499, <https://acortar.link/0OASmg>
2. Reyes C, Gamboa J, Mendez J, Lanari M. Efecto de las condiciones de procesamiento en la concentración de bioactivos y la actividad antioxidante de arazá (*Eugenia stipitata*) osmo-deshidratada. In CLICAP 2018: Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, 2018. p. 441-446. <https://acortar.link/vTNKOo>
3. Gómez J, Zuta C. Capacidad antioxidante y contenido de fenoles en una bebida de *Eugenia stipitata* edulcorado con Stevia. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*. 2022; 1 (2022): 29-35, <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v4i3.805>
4. Falconí J, Valdiviezo C, Ramírez L. Predicción del tiempo de liofilización del arazá (*Eugenia Stipitata*) mediante modelos matemáticos. *Ecuadorian Science Journal*, 2021. 5(4): 89-97, <https://doi.org/10.46480/esj.5.4.172>
5. Anaya-Esparza L, Pérez-Larios A, Ruvalcaba-Gómez J, Sánchez-Burgos J, Romero-Toledo R, Montalvo-González E. Funcionalización de los recubrimientos a base de quitosano para la conservación postcosecha de frutas y hortalizas. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-*

- biológicas, 2020; 23:1-14. <https://acortar.link/5vFDs9>
6. Arias-Giraldo S, Ceballos-Peñaloza A, Gutiérrez-Mosquera L. Evaluación de los parámetros del proceso de congelación para la pulpa de Açaí. *Tecnológicas*. 2019. 22(46): 29-42. <https://doi.org/10.22430/22565337.1117>
7. Reyes-Alvarez C, Lanari M. Effect of freezing, osmodehydro-freezing, freeze-drying and osmodehydro-freeze-drying on the physicochemical and nutritional properties of arazá (*Eugenia stipitata* McVaugh). *Food Chemistry Advances*. 2023. 3:100496, <https://acortar.link/WA93mD>
8. Oliveira P, Benavides S, Huenafil D, Zarate P, Petit-Breuilh X. Hydrolyzed protein from *Lupinus albus* (INIA-Boroa variety) for the functional food industry: An example of partnership between farmers and academia. *Lwt*. 2023; 174:114428. <https://acortar.link/ivGabY>
9. Cortés-Herrera C, Quirós-Fallas S, Calderón-Calvo E, Cordero-Madrigal R, Jiménez L, Granados-Chinchilla F. Nitrogen/protein and one-step moisture and ash examination in foodstuffs: Validation case analysis using automated combustion and thermogravimetry determination under ISO/IEC 17025 guidelines. *Curr Res Food Sci*. 2021; 4 (1): 900–909, <https://doi.org/10.1016/j.crf.2021.11.015>
10. AOAC 923.03. Codex General Method for ash determination. *Codex Aliment Comm*. 2020; 1–18. <https://acortar.link/LkA59D>
11. Reyes C, Lanari M. Storage stability of freeze-dried arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) powders. Implications of carrier type and glass transition. *Lwt*. 2020; 118:108842. <https://acortar.link/Qoysuq>
12. Alabi K, Zhu Z, Wen D. Transport phenomena and their effect on microstructure of frozen fruits and vegetables. *Trends Food Sci Technol*. 2020; 101:63–72. <https://acortar.link/56o0HN>
13. Hoang D, Lovatt S, Olatunji J, Carson J. Improved prediction of thermal properties of refrigerated foods. *J Food Eng*. 2021; 297:110485, <https://acortar.link/fIJKaF>
14. Dharshini S, Meera M. Effect of popping and milling on physical, chemical, structural, thermal properties and angle of repose of amaranth seed (*Amaranthus cruentus* L.) and finger millet (*Eleusine coracana* L. Gaertn) from Udhagamandalam. *Appl Food Res*. 2023; 3(2): 100306. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100306>
15. Da Silva D, Silveira A, Ronzoni A, Hermes J. Effect of freezing rate on the quality of frozen strawberries (*Fragaria x ananassa*). *Int J Refrig*. 2022; 144(0140–7007):46–54, <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2022.07.006>
16. Chagas R, Santos de Oliveira C, Santos L, Pereira U, Matos T, Denadai M. 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 Sci Technol*. 2019; 111:370–377. <https://acortar.link/BDT7t0>
17. Kumar B, Smita K, Debut A, Cumbal L. Extracellular green synthesis of silver nanoparticles using Amazonian fruit Arazá (*Eugenia stipitata* McVaugh). *Trans Nonferrous Met Soc China*. 2016. 26(9): 2363–71. <https://acortar.link/lwiKRr>
18. Falconí N, Jefferson R, Javier C. Estimation of Thermal Properties using Mathematical Models to Determine the Freezing Time of Arazá (*Eugenia Stipitata*). *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of STEAM*. 2022; p. 113-128. <https://acortar.link/oklsr5>
19. Chica, M. Extracción de fibra comestible a partir de la pulpa de arazá (*Eugenia stipitata*). Universidad Agraria del Ecuador 2022. Universidad Agraria del Ecuador. <https://n9.cl/dxpo0r>
20. Chaves-Quesada J, Acosta-Montoya O. Congelación isocórica: ventajas y oportunidades de investigación en la industria de alimentos. *Agronomía Mesoamericana*, 2023. 34(3): 52879, <http://dx.doi.org/10.15517/am.2023.52879>

- 21.** Jacqueline M. Influencia de la adición de pulpa de arazá (*Eugenia stipitata*) en la característica físico química y sensorial de la cerveza tipo ale artesanal. 2023. Universidad Agraria del Ecuador. <https://n9.cl/g0b3s>
- 22.** Barrantes I, Yaya D, Arias G. Estudio químico bromatológico de diferentes individuos de *Eugenia stipitata* Mc Vaugh (Arazá). *Revistas - Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. 2002. 5(1): 37-42. <https://n9.cl/wl1hq>
- 23.** Gamboa W, Bautista J, Baquero J. *Amazonic Fruits Co*. Bogota Colombia. 2018. Universidad Externado de Colombia. <https://n9.cl/y4uwqn>
- 24.** Balaguera-López H, Arévalo A. Estudio de algunos cambios bioquímicos durante el crecimiento y hasta la cosecha del fruto de champa (*Campomanesia lineatifolia* R. y P. Familia Myrtaceae). *Revista Brasileira de Fruticultura*. 2012. 34, 460-468, <https://n9.cl/szn8u>
- 25.** Evelyn C, Ramadhani F, Khairunnisa R. The effects of ultrasound and ultrasound combined thermal treatment on the resistance of mold spores (*Paecilomyces variotii*) in orange juice. *Mater Today Proc*. 2023; 40: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.380>
- 26.** Seppälä A, Turunen K, Yazdani M. Thermal conductivity of sugar alcohols. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2022. 243: 111796. <https://n9.cl/zhzje>
- 27.** Bai S, Liu L, Yu H, Guan X, Li R, Hou L. Thermal and Dielectric Properties of Wolfberries as Affected by Moisture Content and Temperature Associated with Radio Frequency and Microwave Dehydrations. *Foods*. 2022. 11(23): 3796; <https://n9.cl/te0rxk>
- 28.** Millán E, Restrepo L, Narváez C. Efecto del escaldado, de la velocidad de congelación y de descongelación sobre la calidad de la pulpa congelada de arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaught). *Agronomía Colombiana*. 2007. 25(2): 333-338, <https://n9.cl/onu1s>
- 29.** Narváez C. Efecto del choque térmico de arazá (*Eugenia stipitata* Me Vaugh) sobre la tolerancia al frío. *Revista Colombiana de Química*. 2003. 32(2): 93-102. <https://n9.cl/742f0>
- 30.** Alhamdan A, Hassan B, Alkahtani H, Abdelkarim D. Cryogenic freezing of fresh date fruits for quality preservation during frozen storage. *J Saudi Soc Agric Sci*. 2018; 17(1):9–16. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.12.001>
- 31.** Arias S, Ceballos A, Gutiérrez L. Evaluación de los parámetros del proceso de congelación para la pulpa de Açaí. *Tecnológicas*. 2019. 22: 2019. <https://n9.cl/yliuia>
- 32.** Kobayashi R, Suzuki T. Effect of supercooling accompanying the freezing process on ice crystals and the quality of frozen strawberry tissue. *Int J Refrig*. 2019; 99 (0140–7007):94–100, <https://lc.cx/3mb0nT>
- 33.** Astray G, Albuquerque B, Prieto M, Simal J, Ferreira I, Barros L. Stability assessment of extracts obtained from *Arbutus unedo* L. fruits in powder and solution systems using machine-learning methodologies. *Food Chem*. 2020; 333:127460, <https://lc.cx/eFMfD2>