

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS
MENCIÓN EN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**CINÉTICA DE DEGRADACIÓN TÉRMICA DEL
ÁCIDO ASCÓRBICO Y ANTOCIANINAS EN LA
PULPA DE CAMU CAMU (*Myrciaria dubia*)
DURANTE LA PASTEURIZACIÓN**

Tesis

**Para optar el Grado Académico de
MAESTRO EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS
MENCIÓN: INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

Presentado por:

CALEB LEANDRO LAGUNA

Tingo María – Perú

2021



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO
DIRECCIÓN



“Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia”

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS-VIRTUAL
EPG-UNAS-2021

En la ciudad universitaria, siendo las 07.00 PM del día miércoles 29 de Septiembre del 2021, reunidos en el Aula virtual *MICROSOFT TEAMS* de la Escuela de Posgrado, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

“CINÉTICA DE DEGRADACIÓN TÉRMICA DEL ÁCIDO ASCÓRBICO Y ANTOCIANINAS EN LA PULPA DE CAMU CAMU (*Myrciaria dubia*) DURANTE LA PASTEURIZACIÓN”

A cargo del candidato al Grado de Maestro En Ingeniería de Alimentos, mención: Ingeniería Agroindustrial: **Caleb, Leandro Laguna.**

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO**

Acto seguido, a horas 8:30 PM, el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.


.....
Dr. ROBERTO DAVILA TRUJILLO
Presidente del Jurado

 Universidad Nacional Agraria de la Selva
Tingo Maria - Perú 

.....
Williams V. Roldán Carbajal
Miembro del Jurado


.....
Ing. M.Sc. JOSÉ BLAS MATIENZO
Miembro del Jurado


.....
Dr. JAIME BASILIO ATENCIO
Asesor

DEDICATORIA

“La fe y la ciencia no son enemigos ni extranjeros.

Son formas diferentes de entender a Dios

y el orden de la naturaleza”.

William D. Phillips

A mis padres y hermanas, por su apoyo y
comprensión a lo largo de estos años.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por brindarme la oportunidad de realizar los estudios de posgrado.
- A la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, a todos mis profesores por su apoyo incondicional durante toda mi formación superior.
- A mi asesor Dr. Jaime Eduardo Basilio Atención, por todo el apoyo, paciencia y enseñanzas.
- Al Ing. Darlym Reátegui Díaz, Ing. Sissy Meryll Pérez Peláez, por su apoyo, conocimiento y amistad durante la ejecución de este proyecto.
- A los miembros de jurado: Dr. Roberto Dávila Trujillo, M.Sc. William Vicente Roldán Carbajal; y al M.Sc. José Antonio Blas Matienzo, por su amistad, confianza, apoyo incondicional y los consejos durante la elaboración y culminación de la investigación.
- A mis amigos: A toda mi promoción en general por su apoyo moral e incondicional y compañerismo en la presente investigación y vida universitaria.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. Camu camu.....	3
2.1.1.Generalidades	3
2.1.2.Composición física, química y nutricional del camu camu	4
2.2. Tratamiento térmico.....	6
2.3. Vitamina C	7
2.3.1.Pérdida de vitamina C.....	7
2.3.2.Cinética de la pérdida de vitamina C.....	8
2.4. Antocianinas	9
2.4.1.Estructura.....	10
2.4.2.Actividad biológica.....	10
2.4.3.Pérdida de antocianinas.....	11
2.5. Modelamiento de la degradación de compuestos	12
2.5.1.Efecto de la temperatura en la cinética de reacción.....	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1. Lugar de ejecución	14
3.2. Materiales	14
3.2.1.Materia prima.....	14
3.2.2.Material de vidrio y otros	14
3.2.3.Equipos e instrumentos de laboratorio	15
3.2.4.Reactivos	15
3.3. Métodos de análisis.....	15
3.3.1.Características biométricas del fruto de camu camu	15
3.3.2.Caracterización fisicoquímica de la pulpa de camu camu.....	15
3.4. Metodología experimental	17
3.4.1.Obtención y preparación de la pulpa.....	17
3.4.2.Determinaciones analíticas durante la pasteurización.....	19
3.4.3.Determinación de los parámetros cinéticos de degradación	19

3.4.4. Evaluación del efecto de la pasteurización en el contenido y parámetros cinéticos de degradación.....	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4.1. Características biométricas del fruto de camu camu.....	21
4.2. Características fisicoquímicas del fruto y pulpa de camu camu.....	22
4.3. Características fisicoquímicas de la pulpa durante la pasteurización.....	26
4.4. Determinación de los parámetros cinéticos de degradación.....	32
4.4.1. Parámetros cinéticos de degradación del ácido ascórbico.....	32
4.4.2. Parámetros cinéticos de degradación de antocianinas.....	35
4.5. Evaluación del efecto de la pasteurización en los parámetros cinéticos.....	38
4.5.1. Evaluación de los parámetros cinéticos de degradación del contenido de ácido ascórbico.....	38
4.5.2. Evaluación de los parámetros cinéticos de degradación del contenido de antocianinas.....	41
V. CONCLUSIONES.....	44
VI. RECOMENDACIONES.....	45
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
ANEXOS.....	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1. Características de los estados de maduración de frutos de camu camu.....	4
2. Composición física y química del camu camu.	5
3. Composición nutricional de la pulpa de camu camu.	5
4. Contenido de minerales, en mg/kg de pulpa.	6
5. Características biométricas del fruto de camu camu.....	21
6. Características físicas del fruto y pulpa de camu camu.	22
7. Características químicas de la pulpa de camu camu.	23
8. Contenido de ácido ascórbico en la pulpa de camu camu durante la pasteurización.....	26
9. Comparación múltiple de medias de Tukey para el contenido de ácido ascórbico en función de la temperatura.....	27
10. Comparación múltiple de medias de Tukey para el contenido de ácido ascórbico en función del tiempo.	28
11. Contenido de antocianinas en la pulpa de camu durante la pasteurización.	29
12. Comparación múltiple de medias de Tukey para el contenido de antocianinas en función de la temperatura.....	30
13. Comparación múltiple de medias de Tukey para el contenido de antocianinas en función del tiempo.....	31
14. Parámetros cinéticos de degradación para el contenido de ácido ascórbico.	33
15. Parámetros cinéticos de degradación para el contenido de antocianinas.	37
16. Comparación múltiple de medias para la velocidad de degradación (k) del contenido de ácido ascórbico.....	39
17. Comparación múltiple de medias para el tiempo de reducción decimal (D) para el contenido de ácido ascórbico.....	39
18. Comparación múltiple de medias para el tiempo medio ($t_{1/2}$) de reducción al 50% del contenido de ácido ascórbico.	40
19. Comparación múltiple de medias para la velocidad de degradación (k) del contenido de antocianinas.....	41
20. Comparación múltiple de medias para el tiempo de reducción decimal (D) para el contenido de antocianinas.....	42

21. Comparación múltiple de medias para el tiempo medio ($t_{1/2}$) de reducción al 50% del contenido de antocianinas.....	42
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Frutos de Camu camu (<i>Myrciaria Dubia</i>) en distintos estados de madurez.	3
2. Estructura básica de las antocianinas.....	10
3. Diagrama experimental para evaluar la cinética de degradación térmica de vitamina C y antocianinas de la pulpa de camu camu durante la pasteurización..	18
4. Cinética de primer orden de degradación del ácido ascórbico durante la pasteurización de la pulpa de camu camu.....	32
5. Cinética de primer orden de degradación de antocianinas durante la pasteurización de la pulpa de camu camu.....	36

RESUMEN

La investigación tuvo por objetivo evaluar el efecto de la pasteurización en la cinética de degradación térmica del ácido ascórbico y antocianinas en la pulpa de camu camu. Para ello se consideró las temperaturas: 70°C, 80°C y 90°C y los tiempos: 10, 20, 30 y 40 min. La concentración de vitamina C y antocianinas se determinaron mediante técnicas espectrofotométricas. La degradación de vitamina C y antocianinas fueron significativas ($p < 0.05$); ambos siguieron modelos cinéticos de primer orden. Los valores de los parámetros cinéticos para el ácido ascórbico fueron: $k_{70^\circ\text{C}} = 0.0203 \text{ min}^{-1}$, $k_{80^\circ\text{C}} = 0.0234 \text{ min}^{-1}$ y $k_{90^\circ\text{C}} = 0.0535 \text{ min}^{-1}$ ($R^2 > 0.94$), tiempos de reducción decimal: $D_{70^\circ\text{C}} = 113.86 \text{ min}$, $D_{80^\circ\text{C}} = 98.27 \text{ min}$ y $D_{90^\circ\text{C}} = 65.65 \text{ min}$ y tiempos de vida media: $t_{70^\circ\text{C}}: 34.27 \text{ min}$; $t_{80^\circ\text{C}}: 29.58 \text{ min}$; $t_{90^\circ\text{C}}: 19.76 \text{ min}$; la energía de activación fue de 28.17 kJ/mol. Para las antocianinas fueron: $k_{70^\circ\text{C}} = 0.0341 \text{ min}^{-1}$, $k_{80^\circ\text{C}} = 0.0480 \text{ min}^{-1}$ y $k_{90^\circ\text{C}} = 0.0527 \text{ min}^{-1}$ ($R^2 > 0.95$), tiempos de reducción decimal: $D_{70^\circ\text{C}} = 67.54$, $D_{80^\circ\text{C}} = 47.92 \text{ min}$ y $D_{90^\circ\text{C}} = 43.69 \text{ min}$ y tiempos de vida media: $t_{70^\circ\text{C}}: 20.33 \text{ min}$; $t_{80^\circ\text{C}}: 14.43 \text{ min}$; $t_{90^\circ\text{C}}: 13.15 \text{ min}$; la energía de activación fue de 22.68 kJ/mol. Los datos obtenidos permiten predecir condiciones de procesamiento adecuadas para la pulpa de camu camu minimizando la pérdida de vitamina C y antocianinas.

Palabras clave: Camu camu, vitamina C, cinética de degradación, parámetros cinéticos.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the effect of pasteurization on the kinetics of the thermal degradation of the ascorbic acid and the anthocyanins in camu camu pulp. In order to do this, temperatures of 70°C, 80°C and 90°C and times of 10, 20, 30 and 40 minutes were considered. The concentrations of vitamin C and anthocyanins were determined through the use of spectrophotometric techniques. The degradation of the vitamin C and the anthocyanins was significant ($p < 0.05$); both followed first order kinetic models. The values of the kinetic parameters for the ascorbic acid were: $k_{70^{\circ}\text{C}} = 0.0203 \text{ min}^{-1}$, $k_{80^{\circ}\text{C}} = 0.0234 \text{ min}^{-1}$ and $k_{90^{\circ}\text{C}} = 0.0535 \text{ min}^{-1}$ ($R^2 > 0.94$). The decimal reduction times were: $D_{70^{\circ}\text{C}} = 113.86 \text{ min}$, $D_{80^{\circ}\text{C}} = 98.27 \text{ min}$, and $D_{90^{\circ}\text{C}} = 65.65 \text{ min}$. The half-life times were: $t_{70^{\circ}\text{C}}: 34.27 \text{ min}$; $t_{80^{\circ}\text{C}}: 29.58 \text{ min}$; $t_{90^{\circ}\text{C}}: 19.76 \text{ min}$. The activation energy was 28.17 kJ/mol. For anthocyanins [the kinetic parameters] were: $k_{70^{\circ}\text{C}} = 0.0341 \text{ min}^{-1}$, $k_{80^{\circ}\text{C}} = 0.0480 \text{ min}^{-1}$ and $k_{90^{\circ}\text{C}} = 0.0527 \text{ min}^{-1}$ ($R^2 > 0.95$). The decimal reduction times were: $D_{70^{\circ}\text{C}} = 67.54$, $D_{80^{\circ}\text{C}} = 47.92 \text{ min}$, and $D_{90^{\circ}\text{C}} = 43.69 \text{ min}$. The half-life times were: $t_{70^{\circ}\text{C}}: 20.33 \text{ min}$, $t_{80^{\circ}\text{C}}: 14.43 \text{ min}$, and $t_{90^{\circ}\text{C}}: 13.15 \text{ min}$. The activation energy was 22.68 kJ/mol. The data that was obtained allowed for the prediction of the adequate processing conditions for the camu camu pulp, minimizing the loss of vitamin C and anthocyanins.

Keywords: Camu camu, vitamin C, kinetics of the degradation, kinetic parameters.

I. INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento agroindustrial del camu camu en la región Ucayali está en crecimiento; por otro lado, la cadena de valor de este fruto cada vez se incrementa. Esto principalmente por su alto contenido de vitamina C en la pulpa, valor que puede variar por la zona de cultivo y madurez del fruto. Dicho valor es muy superior a lo que contiene la acerola y a otros productos cítricos. El fruto de camu camu no sólo contiene vitamina C, sino también otros compuestos bioactivos como antocianinas, por su color característico de esta fruta.

La pasteurización es un proceso tecnológico común para la pulpa de frutas, más aún si se trata mediante el tratamiento térmico convencional. Mediante dicho tratamiento se disminuye la carga microbiana y se inactiva enzimas que causan modificaciones indeseables en la pulpa de fruta. Sin embargo, también es afectada la vitamina C y otros componentes bioactivos que contiene la pulpa de camu camu, lo que altera el sabor y color de la pulpa.

Existe en la literatura especializada información sobre la degradación de la vitamina C y antocianinas durante la pasteurización de frutas y pulpas; sin embargo, se carece de información respecto a la degradación térmica de dichos metabolitos durante la pasteurización, práctica que vienen desarrollando las empresas comercializadoras de pulpa de camu camu. Los objetivos de la investigación fueron:

- Determinar el contenido de ácido ascórbico y antocianinas en la pulpa de camu camu a diferentes temperaturas y tiempos de pasteurización.

- Determinar los parámetros cinéticos de la degradación térmica del ácido ascórbico y antocianinas en la pulpa de camu camu a diferentes temperaturas y tiempos de pasteurización.
- Evaluar el efecto de la pasteurización en el contenido y en los parámetros cinéticos de degradación del ácido ascórbico y antocianinas en la pulpa de camu camu.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Camu camu

2.1.1. Generalidades


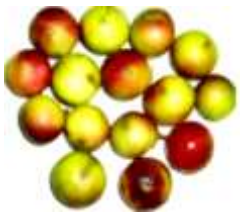


El camu camu (*Myrciaria dubia*) es una fruta originaria de las zonas inundables de nuestra Amazonia, tiene particularidades que la hacen atractiva no solo para el consumo humano sino también para fines de preservación del medio ambiente (MIDAGRI, 2000).



Figura 1. Frutos de Camu camu (*Myrciaria Dubia*) en distintos estados de madurez.

La planta de camu camu presenta características muy singulares, es resistente a las inundaciones durante el periodo de creciente, crece en los rodales de los ríos, lagunas y cochas (MIDAGRI, 2000). El camu camu contribuye a la economía del poblador ribereño, porque soporta las condiciones hídricas extremas, cosa que otro producto vegetal de interés nutricional y económico no lo tiene (MIDAGRI, 2000). El grado de madurez de los frutos de camu camu se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características de los estados de maduración de frutos de camu camu.

Estado de Maduración	Color de la cáscara	Consistencia del fruto	Fotografía
01 (Verde)	0 - 25 % de pigmentación rojiza	Rígida y dura	
02 (Pintón)	26 – 50% de pigmentación rojiza	Rígida	
03 (Maduro)	75 – 100% de pigmentación rojiza	Rígida	
04 (Sobremaduro)	100% de pigmentación rojo púrpura	Frágil	

Fuente: IMÁN *et al.* (2011a).

2.1.2. Composición física, química y nutricional del camu camu

El Cuadro 2 muestra la proporción de los componentes del fruto de camu camu. El camu camu contiene vitamina C (2780 mg/100 g de pulpa) más que cualquier especie conocida, por ello es muy atractivo para la industria farmacéutica (MIDAGRI, 2000). En los cuadros 3 y 4, se muestran la composición nutricional y los minerales presentes en el mesocarpio de camu camu.

Cuadro 2. Composición física y química del camu camu.

Composición		Calidad	Tamaño
Cáscara	20%	Brix 4.8 – 7.2%	Diámetro axial 2.4 – 3.0 cm
Semillas	29%	pH 2.8 – 3.2	Diámetro ecuatorial 2.5 – 4.5 cm
Pulpa	45 - 51%	Acidez: 2.0 – 2.2% Humedad: 89.0 – 92.0%	Peso 6.8 – 10.5 g

Fuente: GARCÍA *et al.*, (2014).

Cuadro 3. Composición nutricional de la pulpa de camu camu.

Componente	Cantidad (g/100 g)
Proteína	0.4
Ceniza	0.3
Fibra cruda	0.1
Lípidos	0.2
Carbohidratos	3.5
Vitamina C	1.41
Antocianinas (mg)	9.98

Fuente: HERNÁNDEZ *et al.*, (2011).

Entre otras investigaciones realizadas en Pucallpa se encontró que la pulpa de esta fruta madura que fueron recolectadas de los cultivos de la zona de Yarinacocha contenían 1755.90 ± 110 mg vitamina C/100g de pulpa fresca (GARCÍA *et al.*, 2014). Sin embargo, el contenido de vitamina C es muy variable, entre los factores más influyentes tenemos la accesión del vegetal y del lugar donde se desarrolla el cultivo.

Cuadro 4. Contenido de minerales, en mg/kg de pulpa.

Componente	Cantidad
Sodio	111.3
Potasio	838.8
Calcio	157.8
Hierro	5.3
Magnesio	123.8
Manganeso	21.1
Zinc	3.6

Fuente: HERNÁNDEZ *et al.*, (2011).

2.2. Tratamiento térmico

El número de enfermedades causadas por el consumo de jugos y pulpas contaminadas, especialmente los no pasteurizados, ha aumentado en la última década. Actualmente, el tratamiento térmico convencional es la tecnología preferida para inactivar microorganismos y enzimas que causan deterioro, prolongando así la vida útil de la pulpa. Debido a las temperaturas relativamente altas generalmente necesarias para inactivar la intoxicación alimentaria y disminuir la carga microbiana, el tratamiento térmico puede afectar negativamente la calidad de los productos alimenticios, al reducir su valor nutricional y alterar los atributos sensoriales (SANTHIRASEGARAM *et al.*, 2015; KUMAR *et al.*, 2017).

El tratamiento térmico se aplica para causar la muerte de microorganismos dañinos; sin embargo, también se obtienen resultados no deseables, como la disminución del valor nutricional del producto; la vitamina C, que se degrada durante la pasteurización (SABERIAN *et al.*, 2015). Los métodos cinéticos comunes aplicados para evaluar la velocidad de muerte térmica de microorganismos se pueden aplicar también para predecir la cinética de la calidad de los alimentos (LING *et al.*, 2014).

2.3. Vitamina C

El ácido ascórbico o vitamina C, juega un papel importante en la nutrición humana principalmente por su capacidad antioxidante, protección celular, respuesta inmune y absorción de hierro. También está presente en la síntesis de colágeno y estimula la producción de algunas hormonas (VIEIRA, MOKOCHINSKI y SAWAYA, 2015). Funciona como un tampón redox que puede reducir (neutralizar las especies reactivas de oxígeno). Es un cofactor de enzimas involucradas en la regulación de la fotosíntesis, la biosíntesis de hormonas y la regeneración de otros antioxidantes; que también regula la división y el crecimiento celular, participa en la transducción de señales y tiene funciones en varios procesos fisiológicos (PEHLIVAN, 2017).

Mejora la absorción de hierro de origen vegetal y participa activamente en la síntesis de norepinefrina; además, se requiere para la síntesis de carnitina (MAHAN y RAYMOND, 2017).

2.3.1. Pérdida de vitamina C

Durante la pasteurización ocurre una disminución de la vitamina C, ocasionando una disminución de su contenido, debido a que es un nutriente lábil al calor (KUMAR *et al.*, 2017).

El procesamiento conlleva a la pérdida del valor nutricional del alimento. La pérdida del valor nutricional puede deberse a la hidrólisis debido al calor, luz, o ácidos, a la oxidación directa en presencia de oxígeno y la participación de éstas en reacciones de óxido reducción (GARCÍA, CHACÓN Y MOLINA, 2011).

Al evaluar las pérdidas de ácido ascórbico en un sistema de pasteurización industrial se observó que el tiempo de residencia presenta una mayor influencia en el proceso que la temperatura (VIEIRA, MOKOCHINSKI y SAWAYA, 2015).

En la pasteurización de los jugos se destruye la mayor parte de esta vitamina pasando de ácido L-ascórbico (vitamina C) a ácido deshidroascórbico, afectando esto el valor nutricional del jugo (PÁEZ *et al.*, 2007). La vitamina C, es inestable durante el tratamiento térmico, más aún cuando en el medio están oligometales como el hierro y el cobre. También, en presencia de oxígeno esta vitamina se oxida fácilmente, la rapidez de este proceso se incrementa cuando se incrementa la temperatura (CRUZ *et al.*, 2008). Se usa como referente para evaluar el procesamiento de frutas y verduras (SANTOS y SILVA, 2008).

El vitamina C es muy susceptible a los métodos de procesamiento y almacenamiento de matrices alimentarias, entre las causas que influyen en la naturaleza del mecanismo de degradación tenemos: la temperatura, concentración de sal y azúcar, pH, oxígeno, enzimas y metales (SANTOS y SILVA, 2008). La disponibilidad de la vitamina C disminuye durante el proceso de transformación de frutas y hortalizas, por acción de la temperatura, el oxígeno, la luz, la presión, los iones metálicos, los azúcares reductores y el pH (MUNYAKA *et al.*, 2010). El contenido de vitamina C de los alimentos se reduce cuando el periodo de almacenamiento es prolongado y durante el tratamiento térmico, la vitamina C es soluble en agua y se destruye por el calor (MAHAN y RAYMOND, 2017).

2.3.2. Cinética de la pérdida de vitamina C

En la literatura existen estudios sobre cinética de degradación de la vitamina C, se reportan modelos cinéticos de orden cero o de orden uno. Así tenemos que, el comportamiento cinético de la pérdida de vitamina C en el jugo de parchita para las temperaturas 0°C, 25°C, 40°C y 60°C se ajustaron adecuadamente a un modelo matemático de orden cero; para el jugo de parchita fresco refrigerado a 10°C el modelo fue de orden uno, mientras que para el jugo de parchita pasteurizado refrigerado a 10°C le corresponde un modelo orden dos. En el jugo de parchita fresco a las temperaturas de 0°C, 25°C, 40°C y 60°C se adecuaron muy bien a un modelo cinético de orden cero (PÁEZ *et al.*, 2007).

Por otro lado, se reporta un incremento del valor del parámetro cinético (**k**) de la vitamina C en la pulpa de mango al incrementar la temperatura (60 a 80°C) durante el tratamiento térmico. La degradación térmica de esta vitamina correspondió a un modelo cinético de degradación de orden uno (ORDÓÑEZ-SANTOS y YOSHIOKA-TAMAYO, 2012).

También, la pérdida de vitamina C en frutos de guayaba aumenta a medida que se incrementa la temperatura y el tiempo del proceso, la degradación de esta vitamina puede ser explicada a través de una cinética de orden uno (ORDÓÑEZ-SANTOS *et al.*, 2013). También, la degradación de la vitamina C en jugo de betarraga y miel de abeja pasteurizado y almacenados durante 100 h, obedeció a un modelo cinético de orden uno (SÁNCHEZ-CHÁVEZ *et al.*, 2015).

2.4. Antocianinas

El color rojo azulado de los vegetales es debido a la presencia de antocianinas, sufre modificación según la acidez de la solución en que se encuentran. Se puede sufrir pérdidas por efecto de su solubilidad en el agua (lixiviación), por la acción de compuestos reactivos (azúcares reductores, fenoles y aminoácidos), o también debido a las reacciones enzimáticas que se efectúan de manera natural en el fruto (BONAFINE *et al.*, 2006). Las antocianinas tienen una capacidad antioxidante significativa y juegan un papel potencialmente importante en la salud humana al reducir los riesgos de cáncer, enfermedades cardiovasculares y otras patologías (BRAVO, 1998).

En las plantas, las antocianidinas se acumulan bajo la forma glucosilada; esto es, unidas a algún azúcar. El monosacárido presente en la molécula les confiere gran solubilidad y estabilidad, por lo general están unidos a la antocianidina en la posición 3 del grupo fenólico, pero puede también hacerlo en las posiciones 5 y 7. Según el número de monosacáridos que presenta su estructura, las antocianinas se clasifican en: monoglucósidos, diglucósidos y triglucósidos (BONAFINE *et al.*, 2006).

2.4.1. Estructura

La estructura básica corresponde a un núcleo de flavón, este consta de dos anillos aromáticos unidos por una unidad de tres carbonos (Figura 2). La hidroxilación y metilación en el anillo "B" de la molécula determina el tipo de antocianidina, que es la aglicona de la antocianina. Las más comunes en plantas son: pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, petunidina y malvidina. Las tres primeras son más frecuentes en frutos, en tanto que el resto lo son en flores (BONAFINE *et al.*, 2006).

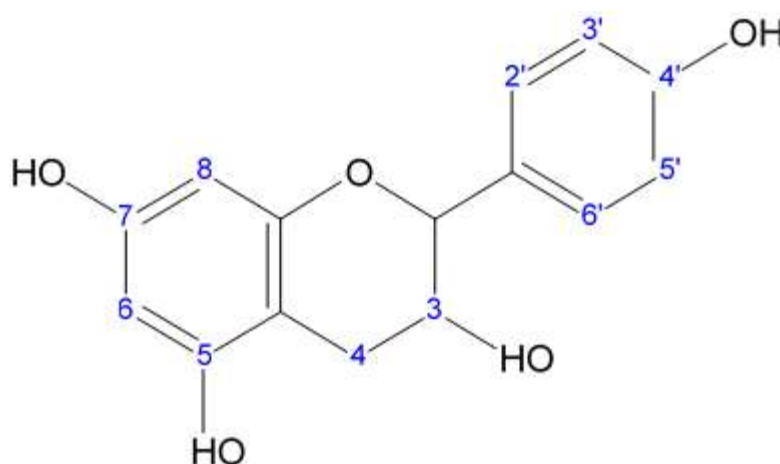


Figura 2. Estructura básica de las antocianinas.

Fuente: BONAFINE *et al.*, (2006).

Los azúcares que forman parte de su estructura pueden ser: monosacáridos (pentosas: arabinosa y xilosa, o bien hexosas: D-glucosa, galactosa y ramnosa), disacáridos (gentobiosa, soforosa, sambubiosa y rutinosa) o trisacáridos (gentotriosa, xilosilrutinosa y glucosilrutinosa (BONAFINE *et al.*, 2006).

2.4.2. Actividad biológica

Las antocianinas presentan efectos terapéuticos que incluyen la reducción de la enfermedad coronaria, efectos anticancerígenos, antitumorales, antiinflamatorios y antidiabéticos; además, mejoramiento de la agudeza visual y

del comportamiento cognitivo. Estos efectos están relacionados con su actividad antioxidante (GHISELLI *et al.*, 1998). Los frutos ricos en antocianinas presentan alta actividad antioxidante contra el peróxido de hidrógeno y contra los radicales peróxidos, superóxido, hidroxilo y oxígeno singulete (WANG y JIAO 2000).

2.4.3. Pérdida de antocianinas

La pérdida de la coloración natural de los alimentos es consecuencia de varias reacciones; la coloración se debe a la presencia de compuestos solubles en agua o aceite. El color se pierde también por la oxidación directa de carotenoides o co-oxidación de lípidos (GARCÍA, CHACÓN y MOLINA, 2011).

Las antocianinas presentan mayor estabilidad en condiciones ácidas. La estabilidad de esta molécula es afectada por los sustituyentes en la aglicona. Las antocianinas se degradan en el proceso de extracción del tejido vegetal y durante el procesado y almacenamiento (FENNEMA, 2000). Por tanto, conociendo el comportamiento de las antocianinas podremos disminuir su degradación mediante una adecuada selección de los procesos.

La degradación de antocianinas en productos de frutas varía considerablemente. Su estabilidad está influenciada por las propiedades intrínsecas del producto y las características del proceso que causan estas diferencias (SARKIS *et al.*, 2013). En la col lombarda se determinó un nivel alto de degradación de antocianinas (59%) después de 3 minutos de procesamiento a 95°C (VOLDEN *et al.*, 2008). En estudios en los que las antocianinas estuvieron expuestas a temperaturas altas durante largos períodos de tiempo, el nivel de degradación alcanzó 55% (QUEIROZ *et al.*, 2009). No es posible predecir el efecto exacto del tratamiento térmico sobre la retención de antocianinas, por lo que es necesario evaluar cada caso individualmente (PATRAS *et al.*, 2010). La naturaleza insaturada de las antocianinas las hace propensas a ser atacadas por el oxígeno molecular (SARKIS *et al.*, 2013).

2.5. Modelamiento de la degradación de compuestos

El objetivo principal para las investigaciones en procesos alimentarios es conocer o estimar el cambio de la calidad de un alimento en función del tiempo (LABUZA, 1984). Luego, para tomar decisiones sobre las condiciones de proceso o almacenamiento necesitamos conocer entre otros: 1) las principales causas de pérdida de calidad del producto, 2) los factores que controlan la calidad inicial o el valor nutricional durante el proceso, 3) la cinética de las reacciones que ocasionan la disminución de la calidad o valor nutricional en función de las condiciones de la fase de reacción en los alimentos.

Si deseamos resolver un modelo matemático que puede predecir el cambio en la concentración de un analito con el tiempo, es necesario determinar las concentraciones del analito en función del tiempo. Un sistema alimentario es muy complejo, por ello se asume que para la tasa de ganancia de un factor de calidad indeseable o la pérdida de un factor de calidad deseable las siguientes ecuaciones:

$$\pm \frac{dX}{dt} = -k \cdot X^n$$

Donde:

k : constante de la velocidad dependiente de la temperatura, producto;

n : factor de poder llamado orden de la reacción;

Una de las singularidades de la variación en los atributos de los alimentos, (ejemplo: concentración de vitamina C, antocianinas, etc.), se debe a que estos se ajustan a modelos cinéticos de orden cero o de orden uno (LABUZA, 1984).

Si la reacción es de orden cero, cuando hay pérdida:

$$[X] = [X_0] - k_0 \cdot t$$

Si la reacción es orden cero, cuando hay ganancia:

$$[X] = [X_0] + k_0 \cdot t$$

Si la reacción es de primer orden, cuando hay pérdida:

$$\ln \frac{[X]}{[X_0]} = -k_0 \cdot t$$

Si la reacción es de primer orden, cuando hay ganancia:

$$\ln \frac{[X]}{[X_0]} = +k_0 \cdot t$$

2.5.1. Efecto de la temperatura en la cinética de reacción

Todas las reacciones químicas se aceleran cuando se aumenta la temperatura. La Ley de Arrhenius se usa para predecir la pérdida de calidad en función de la temperatura (BERK, 2018). La relación entre la temperatura (K) y la velocidad de reacción (**k**) se describe mediante la ecuación de Arrhenius:

$$k = A \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{R \cdot T}\right)$$

Donde:

A : Constante, denominada "factor pre exponencial"; presentan las mismas unidades que la constante de velocidad **k**, a la vez dependen del orden de la reacción.

R : Constante universal de los gases, 8.314 kJ.K⁻¹.kmol⁻¹

T : Temperatura absoluta (K).

E_a : Energía de activación kJ.kmol⁻¹; representa la sensibilidad del valor de **k** a los cambios de temperatura.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Se desarrolló en el Laboratorio de Poscosecha de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, ubicada en el distrito de Yarinacocha, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali a una altitud de 154 m.s.n.m. a 08°20'45" latitud sur y 74°35'23" latitud oeste. También en el Laboratorio de HPLC de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias (FIIA) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, a una altitud de 660 m.s.n.m. a 09°17'08" latitud sur y 75°59'52" latitud oeste, con precipitación pluvial media de 3042 mm.

3.2. Materiales

3.2.1. Materia prima

Se utilizó pulpa de camu camu, los frutos se recolectaron de los cultivos del caserío 11 de Agosto, ubicado en la ribera de la laguna Yarinacocha, distrito de Yarinacocha. Se aplicó el muestreo no probabilístico (intencional), sólo se ha considerado parte de la muestra los frutos que cumplieron con el criterio de color (rojo-guinda), color que utilizan los productores para procesar los frutos en forma de pulpa. Para ello se aplicó lo descrito por IMÁN *et al.*, (2011a).

3.2.2. Material de vidrio y otros

Vaso de precipitado de 50 mL, 100 mL, 250 mL, 500 mL. Pipetas de 5 mL, 10 mL. Recipientes de acero inoxidable. Cubetas de poliestireno 1x1x4 cm. Tips de volumen variable. Fiola volumétrica de 50 mL, 100 mL, 250 mL. Papel filtro N° 40.

3.2.3. Equipos e instrumentos de laboratorio

Balanza analítica electrónica marca Sartorius, precisión 0,01mg. Balanza analítica OHAUS Pioneer. Estufa Memmert, con rango de 0 a 300°C. Mufla Thermolyne, marca Furnace, con rango de 0 a 600°C. Espectrofotómetro modelo Genesys 10S (Thermo Electrón Corporation). Centrifuga modelo MIKRO 22R (Hettich). Medidor de pH Hanna, modelo HI5221-01. Refractómetro digital Hanna 0 – 50% Brix, modelo HI96811. Refrigerador Icebeam Door Cooling LG GR5392QLC. Agitador termomagnético modelo 625. Equipo de titulación. Homogeneizador modelo Vortex GENIE-2. Baño María Memmert, modelo WNE22, capacidad 22 L, tapa inclinada, con agitador. Pulpeadora de doble paso, malla gruesa y fina. Termómetro de mercurio 0 – 150°C. Cronómetro. Micropipeta Isolab, rango variable: 10 – 100 uL, 50 – 200 uL, 500 – 1000 uL.

3.2.4. Reactivos

Agua bidestilada desionizada. Buffer pH 1.0 (Cloruro de potasio 0,025M Erba RPE). Buffer pH 4.5 (Acetato de sodio 0,4M Carlo Erba RPE). Hidróxido de sodio, ≥99%, p.a., marca Roth GmbH. 2,6 dicloro fenol-indofenol. Ácido oxálico p.a. (Merck). Ácido ascórbico grado HPLC (Merck). Carbonato de sodio p.a. ISO, Scharlau.

3.3. Métodos de análisis

3.3.1. Características biométricas del fruto de camu camu

Los frutos cosechados fueron trasladados al Laboratorio de Poscosecha de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, para las mediciones biométricas: Diámetro ecuatorial, diámetro axial, peso, número de semillas.

3.3.2. Caracterización fisicoquímica de la pulpa de camu camu

La pulpa fresca de camu camu fue trasladada al Laboratorio de Poscosecha para las determinaciones fisicoquímicas.

pH: Se determinó mediante el método estándar AOAC (2002) 981.12.

Sólidos solubles (°Brix): Se determinó con un refractómetro digital mediante medición por método estándar AOAC (2002) 983.17.

Humedad: Se pesó 10 g de pulpa y se colocó en la estufa a 105°C por un tiempo 12 h. La muestra se enfrió en un desecador. Se procedió a pesar cuidando que el material no este expuesto al ambiente. Se calculó mediante la ecuación:

$$\text{Humedad}(\%) = \frac{(B - A) - (C - A)}{(B - A)} \times 100$$

A = Peso del recipiente seco y limpio (g)

B = Peso del recipiente + muestra húmeda (g)

C = Peso del recipiente + muestra seca (g)

Ácido ascórbico: Se determinó espectrofotométricamente mediante el método reportado por HUNG y YEN (2002), el cual se fundamenta en la reducción del colorante 2,6-Diclorofenolindofenol por efecto del ácido ascórbico. Se prepararon los reactivos: *Colorante*, se disolvió con agua hirviendo 12 mg de 2,6 DFIF y se enrasó a 1000 mL, luego se almacenó en botella color ámbar en refrigeración. *Solución de ácido oxálico al 0.4%*, se pesó 4 g de ácido y se enrasó a volumen de 1000 mL con agua destilada. *Solución madre de ácido ascórbico*, se diluyó 100 mg de ácido ascórbico a 100 mL con solución de ácido oxálico al 0.4%; a partir de los reactivos se preparó los estándares de trabajo y también la curva estándar. Para la preparación de la muestra se licuó 50 g de muestra fresca con 350 mL de solución de ácido oxálico al 0.4% por tres minutos y se filtró, con la cual se hizo la evaluación de ácido ascórbico.

Determinación de antocianinas

Se aplicó el método del pH diferencial reportado por LEE *et al.*, (2005). Para ello se pesó 5 g de muestra de pulpa se agregó arena estéril, se trituró en un mortero, seguidamente se agregó vertió en un beaker de 100 mL y se lavó con agua desionizada y se enrasó en una fiola volumétrica de 100 mL, se agitó por 15 minutos, se filtró con papel filtro de paso medio-rápido. Se tomaron dos muestras del filtrado, cada una de 2 mL. Una muestra se disolvió con buffer de pH 1.0 (solución de cloruro de potasio preparado) y la otra muestra con buffer de pH 4.5 (solución de acetato de sodio preparado). Se registró la absorbancia a 510 nm. La concentración de antocianinas se calculó mediante la expresión:

$$C \text{ mg(mL)n} = (A_{pH:1.0} - A_{pH:4.6}) \times 484.82 \times \frac{1000}{24825} DF$$

Donde:

484.82 es la masa molecular de la cianidina-3-glucósido;

24825 es la absortividad molar a 510 nm, a pH = 1,0;

pH: 4.5 es la corrección de la formación de productos de degradación;

DF es el factor de dilución.

3.4. Metodología experimental

3.4.1. Obtención y preparación de la pulpa

La Figura 3 muestra las etapas seguidas durante la investigación.

Recolección de los frutos

Los frutos se recolectaron de los cultivos del caserío 11 de Agosto, que se encuentra en el distrito de Yarinacocha, a orillas de la laguna Yarinacocha. Luego fueron trasladados a la planta de transformación de la empresa FLAVIN E.I.R.L., que se encuentra en el distrito de Yarinacocha.

Selección

Los frutos cosechados se seleccionaron por el grado de madurez, sólo se utilizó frutos maduros (color rojo – guinda), que es el color que utilizan los productores para la comercialización en forma de pulpa.

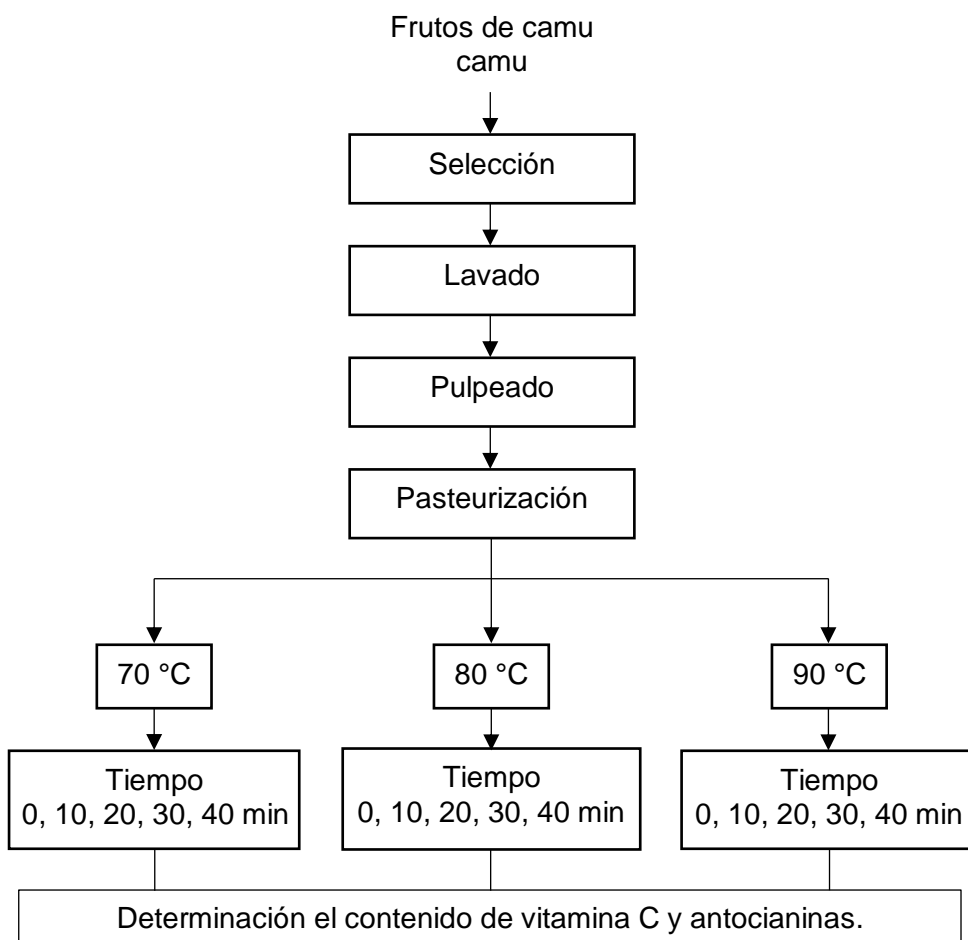


Figura 3. Diagrama experimental para evaluar la cinética de degradación térmica de vitamina C y antocianinas de la pulpa de camu camu durante la pasteurización.

FUENTE: Elaboración propia.

Lavado

Los frutos seleccionados fueron lavados con agua tratada y se adicionó cloro 50 ppm, con el objetivo de sanitizar los frutos.

Pulpeado

Se realizó en una pulpeadora de doble paso, con tamiz 0.50 mm, equipo que dispone la planta de transformación de la empresa FLAVIL E.I.R.L.

Pasteurización

La pulpa de camu camu fue sometida a diferentes condiciones de pasteurización (temperatura: 70, 80 y 90°C; tiempo: 0, 10, 20, 30 y 40 min). Para ello 2 kg de pulpa se vertió en un recipiente de acero inoxidable el que se colocó en el equipo de baño maría preparada previamente. Luego del tiempo transcurrido según el tratamiento, la pulpa fue colocada en un recipiente el cual estaba sumergida en hielo con sal.

3.4.2. Determinaciones analíticas durante la pasteurización

Las muestras de pulpa de camu camu fueron trasladadas al Laboratorio de HPLC de la FIIA, para el análisis respectivo,

3.4.3. Determinación de los parámetros cinéticos de degradación

El comportamiento de los datos experimentales: contenido de vitamina C y antocianinas, en función del tiempo, se modeló a partir de la expresión:

$$\frac{dX}{dt} = -k \cdot X^n$$

Donde **X** es la concentración de vitamina C o antocianinas, **t** es el tiempo, **k** es la constante de la velocidad de degradación y **n** el orden de la reacción de degradación.

Para determinar el orden de reacción se determinó en función de la representación gráfica que presente mejor ajuste de regresión lineal ($R^2 > 0,95$).

Si la cinética de degradación de vitamina C o antocianinas es de, orden cero tenemos:

$$\frac{dX}{dt} = -k$$

Si es de primer orden tenemos:

$$\frac{dX}{dt} = -k \cdot X$$

Donde **X** representa el valor de la concentración de vitamina C y antocianinas, **t** y **k** representan el tiempo (min) y velocidad de reacción constante (1/min) respectivamente.

3.4.4. Evaluación del efecto de la pasteurización en el contenido y parámetros cinéticos de degradación

Los resultados fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANVA), como hubo significación se utilizó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, a un nivel de significación de 0.05.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características biométricas del fruto de camu camu

En el Cuadro 5 se reporta los resultados de las características biométricas de los frutos de camu camu.

Cuadro 5. Características biométricas del fruto de camu camu.

Característica	Unidad	Valor ¹
Diámetro axial	cm	2.66 ± 0.18
Diámetro ecuatorial	cm	2.82 ± 0.20
Peso	g	12.20 ± 1.84
Número de semillas	-	1 - 3

¹ Los valores muestran la media ± SD, para n = 50.

Los frutos de camu camu evaluados fueron de tamaño mediano, presentan forma casi esférica, siendo el diámetro ecuatorial ligeramente mayor al diámetro axial. GARCIA *et al.*, (2014) al evaluar las características biométricas del fruto de camu camu encontró que el diámetro axial variaba entre 2.55 ± 0.10 y 2.51 ± 0.08 cm y el diámetro ecuatorial entre 2.68 ± 0.11 y 2.68 ± 0.12 cm; estos valores son ligeramente menor a lo reportado en la investigación. Respecto al peso de los frutos evaluados, estos pesaron 12.20 ± 1.84 g. IMÁN *et al.*, (2011b) encontraron que el tamaño de los frutos están relacionados al peso. GARCIA *et al.*, (2014) también reportó para los frutos de camu camu un peso entre 10.81 ± 1.01 y 10.86 ± 0.94 g, valor ligeramente menor a lo reportado en el Cuadro 5. El número de semillas encontrado en los frutos de camu camu fueron de 1 – 3, siendo la mayoría siendo la mayoría de casos de 2 a 3 semillas; esto concuerda con lo reportado por GARCIA *et al.*, (2014); sin embargo, IMÁN *et al.*,

(2011b) menciona haber encontrado de 1 a 4 semillas por fruto. La variación en las características biométricas, especialmente en el tamaño y peso de los frutos se ve influenciada por las accesiones, condiciones agroecológicas donde ese desarrolla los cultivos de camu camu.

4.2. Características fisicoquímicas del fruto y pulpa de camu camu

En el Cuadro 6 se muestra los resultados de las características físicas del fruto y pulpa de camu camu.

Cuadro 6. Características físicas del fruto y pulpa de camu camu.

Característica	Unidad	Valor ¹
Pulpa (%)	%	49.42 ± 2.14
Cáscara + Semillas	%	50.12 ± 2.25
Parámetros colorimétricos (fruto)		
Luminosidad	L*	16.04 ± 3.46
Tendencia al rojo	a*	10.62 ± 2.18
Tendencia al amarillo	b*	2.02 ± 0.21
Sólidos Solubles (°Brix)	%	6.16 ± 0.31
pH		2.65 ± 0.12

¹ Los valores representan la media ± SD, para n = 5.

El rendimiento (%) en pulpa del fruto de camu camu es 49.42 ± 2.14. GARCIA *et al.*, (2014) reportó un rendimiento (%) de pulpa entre 48.99 ± 5.72 y 48.99 ± 5.72, valor ligeramente menor a lo encontrado en la investigación. También SALAS *et al.*, (2009) obtuvo un rendimiento de pulpa entre 43.70% y 50.80% y manifiesta que hay merma debido al equipo empleado.

Respecto a los parámetros colorimétricos los determinados en el estudio están cercanos a lo publicado por GARCIA *et al.*, (2014), encontraron el intervalo de los valores de Luminosidad (L*: 15.06 ± 4.01 y 18.01 ± 3.02),

tendencia al rojo (a^* : 4.27 ± 1.56 y 5.25 ± 2.43) y tendencia al amarillo (b^* : 1.71 ± 0.53 y 2.26 ± 1.08). La coloración oscura de los frutos de camu camu se explican porque durante la maduración de los frutos hay una degradación de la clorofila y síntesis de antocianinas, quienes son los responsables del color oscuro de los frutos (SILVA *et al.*, 2007).

Los sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix) de la pulpa fue: 6.16 ± 0.31 y del pH fue: 2.65 ± 0.12 . Lo que es un indicador de la acidez fuerte (presencia de ácido ascórbico) de la pulpa de camu camu. Estos valores son cercanos a lo determinado por MAEDA *et al.* (2007), quienes determinaron los sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix): 6.20 ± 0.00 y pH: 2.64 ± 0.01 ; también por GARCIA *et al.*, (2014), quienes reportan los $^{\circ}$ Brix entre 6.24 ± 0.58 y 6.26 ± 0.61 y el pH entre 3.46 ± 0.22 y 3.63 ± 0.25 , los valores de pH son mayores a lo reportado en la investigación. Sin embargo, los valores de sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix: 5.5 – 6.8) y de pH (2.51 – 2.54) reportado por CASTRO *et al.*, (2018) son ligeramente menores a lo determinado en la investigación. Las propiedades físicas y químicas de los frutos depende de factores como el genotipo de la planta y las condiciones de desarrollo que experimenta (edafoclimático, plagas y enfermedades, etc.) (MALDONADO-ASTUDILLO *et al.*, 2014). En el Cuadro 7 se muestra los valores de las propiedades químicas de la pulpa de camu camu.

Cuadro 7. Características químicas de la pulpa de camu camu.

Característica	Valor ¹
Humedad (%)	90.82 ± 2.60
Ácido ascórbico (g Ácido. ascórbico/100 g pulpa)	2.364 ± 0.036
Antocianinas (g PMA/100 g pulpa)	0.839 ± 0.003

¹ Los valores representan la media \pm SD, para n = 3.

El camu camu es un fruto con alto contenido de humedad, en la investigación la pulpa tuvo un porcentaje de humedad de: 90.82 ± 2.60 . Este

valor es menor a lo reportado en investigaciones anteriores, 92.65 ± 0.03 g/100 g de pulpa (MAEDA *et al.*, 2007); 92.46 ± 3.44 (GARCIA *et al.*, 2014): 94.1 – 94.4 g/100 g de pulpa (CASTRO *et al.*, 2018) y 93.3 ± 0.31 g/100 g pulpa fresca (OBREGÓN-LA ROSA *et al.*, 2021).

Por otro lado, el camu-camu es una de las mayores fuentes de vitamina C (GONÇALVES, 2012; FERREIRA, 2012). Muchos estudios demuestran que el camu camu es fuente de compuestos bioactivos por excelencia y su consumo puede asociarse con la prevención de trastornos metabólicos causados por la diabetes, la caquexia y la dislipidemia (GONÇALVES, 2012). La concentración de vitamina C pueden variar entre 2000 y 6500 mg en 100 g de pulpa (NASCIMENTO y SILVA, 2021). En el estudio el contenido de ácido ascórbico fue: 2.364 ± 0.036 g/100 g pulpa. En estudios reportados en la bibliografía tenemos contenido de Ácido ascórbico: 2585.40 ± 8.41 mg/ 100 g de pulpa (MAEDA *et al.*, 2007); 2780 mg/100 g (SALAS *et al.*, 2009); 2152.62 ± 152 mg ácido ascórbico/100 g de fruto (OLIVEIRA, 2013); 1762.8 ± 133.0 mg de ácido ascórbico/100 g pulpa (GARCIA *et al.*, 2014); 4426 ± 90 mg ácido ascórbico /100 g de pulpa (GRIGIO, 2017); 1914.66 ± 213 mg /100 g fruta fresca (CUNHA, 2018); 0.96 – 2.99 g ácido ascórbico/100 g de pulpa (CASTRO *et al.*, 2018) y 2780 ± 3.00 mg ácido ascórbico/100 g pulpa fresca (OBREGÓN-LA ROSA *et al.*, 2021). Como se observa, existen variaciones en el contenido de vitamina C expresados como ácido ascórbico.

La variación en las características químicas (humedad) y especialmente el contenido de vitamina C se explica por la variación de las características edafoclimáticas (tipo de suelo, presencia de lluvias, inundaciones, horas sol entre otros (CUNHA-SANTOS, *et al.*, 2019). La concentración de esta vitamina varía según la especie, la etapa de maduración, las condiciones de procesamiento, el pH, presencia de oxígeno y enzimas (MAEDA *et al.* 2007). Otras causas que afectan el contenido de ácido ascórbico son, las variaciones climáticas durante el desarrollo de la planta, las técnicas de manejo del suelo, la

etapa de maduración en la cosecha, las variaciones genéticas, el manejo poscosecha y las condiciones de almacenamiento y procesamiento, además del método utilizado para el análisis de la vitamina (CUNHA, 2018). También, el momento de la cosecha y el riego del suelo podrían ser las causas principales que afectan el contenido de ácido ascórbico, porque se sintetiza a partir de los carbohidratos producidos durante la fotosíntesis (CUNHA, 2018).

Respecto a las antocianinas, en la investigación se expresó como Pigmentos Monoméricos de Antocianinas (PMA), cuyo contenido en la pulpa de camu camu fue: 0.839 ± 0.003 g PMA/100 g pulpa. El valor es muy superior a lo reportado por varios autores, MAEDA *et al.* (2007), quienes determinaron un contenido de antocianinas totales: 9.98 ± 0.19 mg/100 g de pulpa; OLIVEIRA (2013), quien reportó: 7.48 ± 1.36 mg eq.cianidina 3-glicosídeo/100 g de fruto; y GRIGIO (2017) que reportó un contenido de antocianinas (13.6 ± 1.3 μ g /g de pulpa). Esta variación en el contenido de antocianinas depende del grado de maduración y el método de despulpado (MAEDA *et al.* 2007).

Es sabido que, el crecimiento y desarrollo de las plantas está regulado por metabolitos secundarios que actúa como un depósito de fitoquímicos que protegen a las plantas contra múltiples limitaciones ambientales. Dichos compuestos poseen propiedades antioxidantes que actúan contra el daño oxidativo inducido por diferentes limitaciones ambientales (salinidad, sequía, temperatura, metales pesados y estrés por hipoxia) (ASHRAF *et al.*, 2018). Mucho de los cultivos de camu-camu natural se encuentra al borde de ríos y arroyos, donde parte de su tallo permanece sumergido en el agua durante la crecida de los ríos amazónicos (FERREIRA, 2012); esto explica el por qué la presencia de compuestos bioactivos se ve muy influenciada por factores ambientales y genéticos (OZANA, 2014). Sin embargo, los metabolitos secundarios de plantas no se han estudiado completamente con respecto a sus funciones relevantes en plantas bajo estrés ambiental; luego, se necesita más investigación para comprender completamente los metabolitos secundarios de

las plantas para mejorar la tolerancia de las plantas al estrés ambiental (ASHRAF *et al.*, 2018).

4.3. Características fisicoquímicas de la pulpa durante la pasteurización

En el Cuadro 8 se muestran los resultados del contenido de ácido ascórbico durante la pasteurización de la pulpa de camu camu.

Cuadro 8. Contenido de ácido ascórbico en la pulpa de camu camu durante la pasteurización.

Tiempo (min)	g ácido ascórbico/100 g pulpa ¹		
	70°C	80 °C	90 °C
0	2.364 ± 0.036	2.364 ± 0.036	2.364 ± 0.036
10	1.739 ± 0.073	1.629 ± 0.028	1.407 ± 0.056
20	1.487 ± 0.053	1.464 ± 0.051	1.298 ± 0.058
30	1.370 ± 0.037	1.261 ± 0.049	0.865 ± 0.032
40	0.964 ± 0.056	0.833 ± 0.025	0.522 ± 0.022

¹ Los valores representan la media ± SD, para n = 3.

El contenido inicial de ácido ascórbico (2.364 ± 0.036) en la pulpa de camu camu se redujo luego de 40 min para las temperaturas en estudio, siendo 0.964 ± 0.056 g ácido ascórbico/100 g pulpa a 70°C; 0.833 ± 0.025 g ácido ascórbico /100 g pulpa a 80°C y de 0.522 ± 0.022 g ácido ascórbico /100 g pulpa a 90°C. Lo que demuestra que a medida que la temperatura y los tiempos de pasteurización aumentan la concentración de ácido ascórbico disminuye, cuanto mayor es la temperatura y el tiempo de exposición al calor, mayor es la pérdida (77.92%). El tiempo de tratamiento térmico de la pulpa de camu camu es el que afecta más a la degradación del ácido ascórbico. El procesamiento generalmente implica un tratamiento térmico que reduce la calidad nutricional y organoléptica del producto (MERCALI *et al.* 2012).

El Cuadro 9 muestra la comparación múltiple de medias del contenido de ácido ascórbico en la pulpa de camu camu que fue sometida a pasteurización.

Cuadro 9. Comparación múltiple de medias de Tukey para el contenido de ácido ascórbico en función de la temperatura.

Temperatura	Recuento	g ácido ascórbico/100 g pulpa
70°C	15	1.5849 ± 0.0117 ^a
80°C	15	1.5099 ± 0.0117 ^b
90°C	15	1.2913 ± 0.0117 ^c

Observamos que existe diferencia significativa ($P_v < 0.05$) entre las temperaturas de pasteurización estudiadas. Conforme aumenta la temperatura de pasteurización el contenido de ácido ascórbico disminuye, siendo las pérdidas de 4.73% de ácido ascórbico para la temperatura de 80°C y 18.52% para la temperatura de 90°C, en referencia al contenido reportado para la temperatura de 70°C. En el tratamiento térmico (90°C durante 15 min) del puré de fresa determinaron una degradación de la vitamina C del 61% (MARSZAŁEK *et al.*, 2015) valor que es mucho mayor a lo determinado en el estudio.

El Cuadro 10 muestra la comparación múltiple de medias del efecto del tiempo en el contenido de ácido ascórbico durante el pasteurizado del mesocarpio del fruto de camu camu. La prueba de Tukey pone de manifiesto la diferencia significativa ($P_v < 0.05$) entre los tiempos de pasteurización considerados en el estudio. Observamos que conforme el tiempo de pasteurización se incrementa, el contenido de ácido ascórbico disminuye, siendo las pérdidas de 32.68% de ácido ascórbico a los 10 min, 40.09% a los 20 min, 50.71% a los 30 min y 67.29% luego de 40 min, todos en referencia al contenido reportado para el tiempo de 0 min.

Cuadro 10. Comparación múltiple de medias de Tukey para el contenido de ácido ascórbico en función del tiempo.

Tiempo	Recuento	g ácido ascórbico/100 g pulpa
0 min	9	2.3640 ± 0.0152 ^a
10 min	9	1.5914 ± 0.0152 ^b
20 min	9	1.4162 ± 0.0152 ^c
30 min	9	1.1653 ± 0.0152 ^d
40 min	9	0.7732 ± 0.0152 ^e

La rápida degradación de la vitamina C es posible porque se trata de un nutriente lábil al calor (KUMAR *et al.*, 2017). Además, la degradación de vitaminas ocurre debido a: hidrólisis debido a la luz, calor o ácidos, a la oxidación directa en presencia de oxígeno y la participación de éstas en reacciones de óxido-reducción (GARCÍA, CHACÓN Y MOLINA, 2011; YETENAYET y HOSAHALLI, 2015). También, el tiempo de residencia en un sistema de pasteurización afecta presenta una mayor influencia en el proceso que la temperatura (VIEIRA, MOKOCHINSKI y SAWAYA, 2015). El contenido de vitamina C en los alimentos se disminuye debido al tiempo prolongado de tratamiento térmico, porque esta vitamina es soluble en agua y se degrada por el calor (MAHAN y RAYMOND, 2017).

Durante la pasteurización de jugos y pulpas se destruye la mayor parte de esta vitamina pasando de ácido L-ascórbico (vitamina C) a ácido deshidroascórbico, afectando esto el valor nutricional del jugo (PÁEZ *et al.*, 2007). La vitamina C, es inestable durante el calentamiento en presencia de oligometales como el cobre y el hierro. También, se oxida fácilmente en presencia de oxígeno, la rapidez de oxidación se incrementa con la temperatura (CRUZ *et al.*, 2008).

La estabilidad de la vitamina C varía de un producto a otro, lo que podría estar asociado con el contenido total de vitamina C; además, esta variación puede deberse a diferencias agroecológicas o agronómicas donde se cultivaron las frutas; también, una variación en la composición de los jugos también podría desempeñar un papel protector (YETENAYET y HOSAHALLI, 2015).

En el Cuadro 11 se presentan los resultados del contenido de antocianinas durante la pasteurización de la pulpa de camu camu.

Cuadro 11. Contenido de antocianinas en la pulpa de camu durante la pasteurización.

Tiempo (min)	Antocianinas (g PMA/100 g pulpa) ¹		
	70°C	80 °C	90 °C
0	0.839 ± 0.003	0.839 ± 0.003	0.839 ± 0.003
10	0.655 ± 0.018	0.576 ± 0.003	0.420 ± 0.005
20	0.362 ± 0.024	0.234 ± 0.005	0.268 ± 0.006
30	0.289 ± 0.005	0.211 ± 0.003	0.130 ± 0.003
40	0.230 ± 0.005	0.125 ± 0.001	0.108 ± 0.005

¹ Los valores representan la media ± SD, para n = 3.

El contenido inicial de antocianinas de la pulpa de camu camu se redujo significativamente luego de 40 min para las temperaturas en estudio, siendo 0.230 ± 0.005 g PMA/100 g pulpa a 70°C; 0.125 ± 0.001 g PMA/100 g pulpa a 80°C y de 0.108 ± 0.005 g PMA/100 g pulpa a 90°C. Esto demuestra que conforme la temperatura y los tiempos de pasteurización aumentan la concentración de antocianinas disminuye, cuanto mayor es la temperatura y el tiempo de exposición al calor, mayor es la pérdida (87.13%). Según FENNEMA (2000) la mayor estabilidad de las antocianinas ocurre en condiciones ácidas. La degradación de antocianinas se produce no sólo durante la extracción del tejido

vegetal, sino también durante el procesado y almacenamiento. Las causas que afectan la degradación de las antocianinas son: pH, temperatura y concentración de oxígeno (FENNEMA, 2000). También, la estabilidad de las antocianinas está influenciada por las propiedades intrínsecas del producto y las características del proceso (SARKIS *et al.*, 2013).

En el Cuadro 12 se muestra los resultados de la prueba de Tukey para el contenido de antocianinas por acción de la temperatura en durante la pasteurización de la pulpa de camu camu.

Cuadro 12. Comparación múltiple de medias de Tukey para el contenido de antocianinas en función de la temperatura.

Temperatura	Recuento	g PMA/100 g de pulpa
70°C	15	0.4751 ± 0.0022 ^a
80°C	15	0.4040 ± 0.0022 ^b
90°C	15	0.3464 ± 0.0022 ^c

Observamos que existe diferencia significativa ($P_v < 0.05$) entre las temperaturas de pasteurización consideradas en el estudio. Conforme se incrementa la temperatura el contenido de antocianinas disminuye, siendo las pérdidas de 14.97% de antocianinas para la temperatura de 80°C y 27.09% para la temperatura de 90°C, en referencia al contenido reportado para la temperatura de 70°C. La disminución en el contenido de antocianinas se explica porque las antocianinas totales son influenciadas por la temperatura (NIKOLIĆ *et al.*, 2018).

En el Cuadro 13 se reporta los resultados de la prueba de Tukey del efecto en el contenido de antocianinas del tiempo de exposición de la pulpa a las temperaturas consideradas en el estudio.

Cuadro 13. Comparación múltiple de medias de Tukey para el contenido de antocianinas en función del tiempo.

Tiempo	Recuento	g PMA/100 g de pulpa
0 min	9	0.8390 ± 0.0029 ^a
10 min	9	0.5506 ± 0.0029 ^b
20 min	9	0.2884 ± 0.0029 ^c
30 min	9	0.2103 ± 0.0029 ^d
40 min	9	0.1544 ± 0.0029 ^e

Existe diferencia significativa ($P_v < 0.05$) entre los tiempos de pasteurización. Conforme el tiempo de pasteurización se incrementa el contenido de antocianinas disminuye, siendo las pérdidas de 34.37% de antocianinas a los 10 min, 65.63% a los 20 min, 74.93% a los 30 min y 81.60% luego de 40 min, todos en referencia al contenido reportado para el tiempo de 0 min. La disminución del contenido de antocianinas ocurre porque estas moléculas interaccionan con el ácido ascórbico, metales, azúcares, oxígeno, luz, temperatura y enzimas, produciendo polímeros de productos de degradación que afectan reduciendo su estabilidad (MAEDA *et al.* 2007). Además, entre el ácido ascórbico y las antocianinas existe una reacción de condensación, cuanto mayor es la concentración del ácido ascórbico, mayor será la tasa de degradación del pigmento (MAEDA *et al.* 2007). Las antocianinas poseen una mayor sensibilidad a factores químicos y ambientales, especialmente al pH, temperatura elevada, oxígeno, luz y una serie de interacciones intra e intermoleculares. Una interacción con el ácido ascórbico (AA) es particularmente notable debido al hecho de que el efecto de esta interacción es en gran parte negativo (WEST y MAUER, 2013). Las antocianinas son estables en condiciones ácidas; sin embargo, se degradan por cualquier mecanismo que conduzca a la formación de compuestos menos coloreados, esto ocurre durante el procesamiento, almacenamiento, o incluso según el tipo de despulpado, ya que

la mayoría de estas antocianinas están presentes en la cáscara de camu camu (GRIGIO, 2017).

En otros estudios sobre tratamiento térmico (90°C durante 15 min) del puré de fresa determinaron una degradación de antocianinas del 43% (MARSZAŁEK *et al.*, 2015). También se reportó para el proceso de elaboración de mermelada de mora silvestre, que el contenido de antocianinas totales son influenciadas por la duración (tiempo de tratamiento) (NIKOLIĆ *et al.*, 2018).

4.4. Determinación de los parámetros cinéticos de degradación

4.4.1. Parámetros cinéticos de degradación del ácido ascórbico

La Figura 4 muestra la degradación térmica del ácido ascórbico de la pulpa de camu camu en función del tiempo de pasteurización.

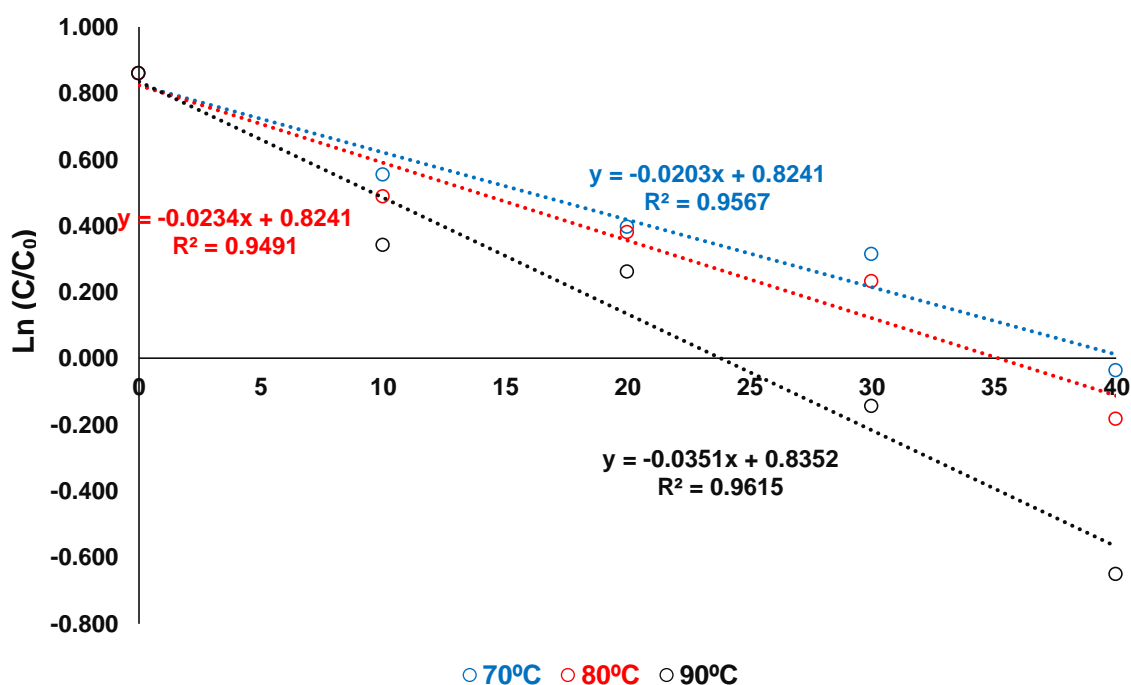


Figura 4. Cinética de primer orden de degradación del ácido ascórbico durante la pasteurización de la pulpa de camu camu.

La degradación térmica del ácido ascórbico durante el proceso de pasteurización considerado en el estudio se modeló adecuadamente a una

reacción cinética de primer orden, lo que se corrobora con los valores del coeficiente de correlación (R): 0.9781 (70°C), 0.9742 (80°C) y 0.9806 (90°C). Similar comportamiento se reportó para la pulpa de mango, donde la degradación térmica de la vitamina C en el rango de temperatura de 60 - 80°C se ajustó a una ecuación de primer orden con $R^2 > 0.90$ (ORDÓÑEZ-SANTOS y YOSHIOKA-TAMAYO, 2012). También se reportaron la degradación térmica de la vitamina C de rodajas de guayaba a las temperaturas de 75, 85 y 95°C durante 10, 20, 30 y 40, los que se ajustaron a una reacción de primer orden ($R^2 > 0,90$) (ORDÓÑEZ-SANTOS *et al.*, 2013).

En otros estudios, también se reportaron que la degradación de la vitamina C en una bebida a base de jugo de remolacha (*Beta vulgaris* L.) y miel de abeja a las temperaturas de a 30°C, 40°C y 50°C siguió una cinética de orden uno ($R^2=0.979$) (SÁNCHEZ-CHÁVEZ *et al.*, 2015). Así mismo, cuando evaluaron la cinética de degradación térmica del ácido ascórbico en néctar de rosa mosqueta, ajustaron al modelo cinético de orden uno (KADAKAL *et al.*, 2017).

En el Cuadro 14 observamos los resultados de los parámetros cinéticos de la degradación del ácido ascórbico durante el proceso de pasteurización de la pulpa de camu camu.

Cuadro 14. Parámetros cinéticos de degradación para el contenido de ácido ascórbico.

Temperatura	k (min ⁻¹)	D (min)	t _{1/2} (min)	Q ₁₀	Ea
70°C	0.0203 ± 0.0019	113.8599 ± 9.9850	34.2750 ± 3.0058	1.15	
80°C	0.0234 ± 0.0002	98.2689 ± 0.7208	29.5819 ± 0.2170		28.17
90°C	0.0351 ± 0.0009	65.6501 ± 1.7354	19.7627 ± 0.5224	1.50	

¹ Los valores corresponden a la media SD, para n = 3 corridas.

El incremento de la temperatura y el tiempo de pasteurización afecta al ácido ascórbico, la velocidad de degradación (**k**) del ácido ascórbico se incrementa; los valores del tiempo de reducción decimal (**D**) y el tiempo de vida media (**t_{1/2}**) disminuyen conforme se incrementa la temperatura de pasteurización, siendo más estable a la temperatura de 70°C (mayor tiempo de vida media). Respecto al valor de **Q₁₀** podemos afirmar que la degradación es mayor cuando la temperatura varía de 80°C a 90°C. Por otro lado el valor de **E_a** (28.17 kJ/mol) es un indicador de la cantidad de energía requerida para iniciar la reacción de degradación del ácido ascórbico.

La velocidad de degradación (**k**) del ácido ascórbico aumenta en un 15.27% cuando se eleva la temperatura de 70 a 80°C; mientras que, el mayor incremento (50%) se determinó cuando la temperatura aumentó de 80°C a 90°C. Lo que pone en evidencia que la vitamina C es más estable a en el rango de temperatura 70 - 80°C, por ser el cambio de los valores de **k** menos drástico. Si el valor de **k** del ácido ascórbico aumenta cuando se incrementa la temperatura, entonces la degradación del ácido ascórbico depende de la temperatura (KADAKAL *et al.*, 2017).

Similar comportamiento de **k** y **t_{1/2}** se ha reportado cuando investigaron la cinética de degradación térmica del ácido ascórbico, en néctar de rosa mosqueta, a medida que aumentaba la temperatura y el tiempo de calentamiento, aumentaba la degradación (KADAKAL *et al.*, 2017). En los tratamientos térmicos (75 – 90°C) de los frutos de guayaba ajustaron los parámetros cinéticos a un modelo de primer orden y a la ecuación de Arrhenius, la concentración de la vitamina C disminuyó entre 56.70 – 60.0 %, y su velocidad de degradación fue entre 0.80 – 1.45 min⁻¹ (ORDÓÑEZ-SANTOS *et al.*, 2013). Los valores de **k** para la vitamina C en pulpa de mango estuvieron entre: 0.028 y 0.056 min⁻¹ (ORDÓÑEZ-SANTOS y YOSHIOKA-TAMAYO, 2012), dichos valores son mayores a lo determinado en el estudio. La pulpa de camu camu presenta alta concentración de ácido ascórbico, al presentar menores valores de

k, es ligeramente más estable comparado con lo determinado para los frutos de guayaba (ORDÓÑEZ-SANTOS *et al.*, 2013), pulpa de mango (ORDÓÑEZ-SANTOS y YOSHIOKA-TAMAYO, 2012) y pulpa de marula (HIWILEPO-VAN *et al.*, 2012)

Por otro lado, la dependencia de la temperatura (**T**) de la velocidad de degradación (**k**) se describe mediante la ecuación de Arrhenius; en una reacción la energía de activación (**Ea**) es un indicador de la sensibilidad de la reacción al cambio de temperatura (KADAKAL *et al.*, 2017). En el estudio, la **Ea** de la degradación del ácido ascórbico en pulpa de camu camu durante la pasteurización (70 – 90°C) fue 28.17 kJ/mol. Este valor es menor a lo reportado para la pulpa de marula (29 kJ/mol), pulpa de mango (39 kJ/mol) y pulpa de guayaba (58 kJ/mol), todos en el rango de temperatura: 80 – 150°C (HIWILEPO-VAN *et al.*, 2012); en otro estudio sobre la pérdida de vitamina C en pulpa de mango se determinó el valor de la **Ea** igual a 34.02 kJ/mol (ORDÓÑEZ-SANTOS y YOSHIOKA-TAMAYO, 2012). Por otro lado, mediante el modelo de Arrhenius (**Ea**: 100.51 kJ/mol) verificaron que para la bebida de jugo de remolacha y miel de abeja, la velocidad de degradación de vitamina C depende de la temperatura (SÁNCHEZ-CHÁVEZ *et al.*, 2015).

En la investigación realizada la **Ea** de la degradación de la vitamina C de la pulpa de camu camu durante la pasteurización (70 – 90°C), al ser menor que las reportadas en la información consultada, demuestra que la tasa de degradación del ácido ascórbico presenta menor dependencia de la temperatura.

4.4.2. Parámetros cinéticos de degradación de antocianinas

La Figura 5 muestra la degradación térmica en función del tiempo de las antocianinas, de la pulpa de camu camu durante la pasteurización.

La degradación térmica de antocianinas durante el proceso de pasteurización considerado en el estudio se modeló adecuadamente a una

reacción cinética de primer orden, lo que se corrobora con los valores del coeficiente de correlación (R): 0.9833 (70°C), 0.9768 (80°C) y 0.9872 (90°C).

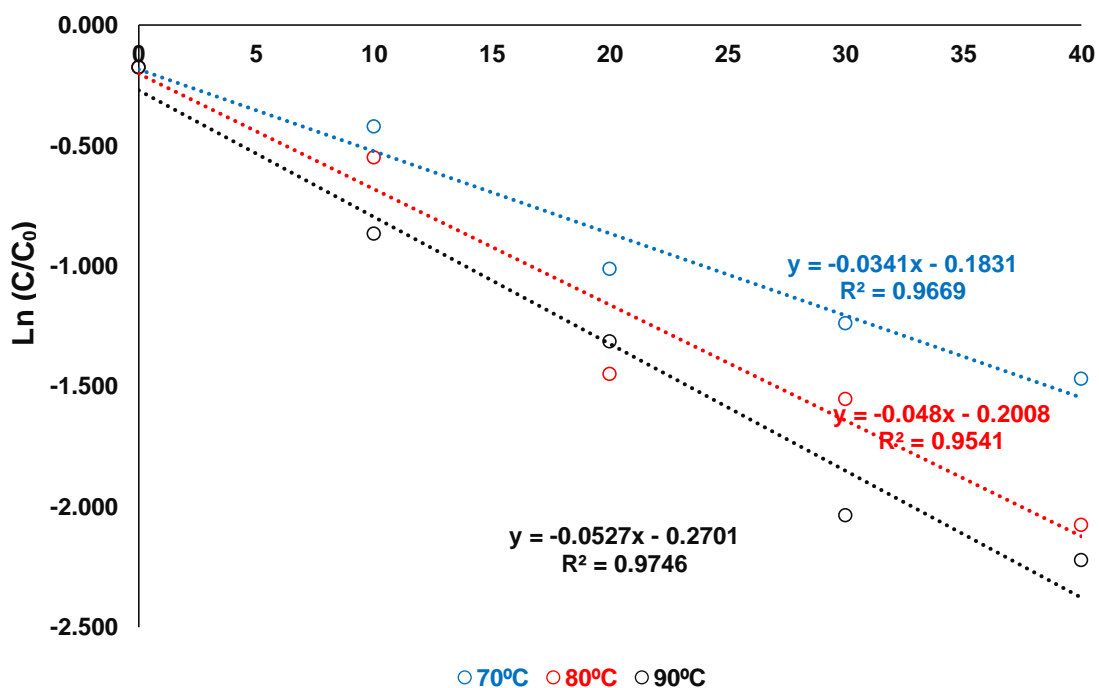


Figura 5. Cinética de primer orden de degradación de antocianinas durante la pasteurización de la pulpa de camu camu.

En estudios previos sobre degradación térmica de antocianinas, la degradación térmica seguía una reacción cinética de orden uno, jugo y concentrado de agraz (MARTÍNEZ *et al.* 2011), jugo de jaboticaba a las temperaturas entre 70 y 90°C (MERCALI *et al.*, 2015), puré de arándanos en el procesamiento hidrotermodinámico (MARTYNENKO *et al.*, 2016), en extractos de juçara y de uva "Italia" entre 50 y 90°C (PERON *et al.*, 2017), durante el procesamiento térmico de pulpas de grosellas negras, arándanos y bayas de maqui (BUSSO *et al.*, 2017), en la preparación de mermelada de mora silvestre fueron ajustadas a ecuaciones cinéticas de primer orden (NIKOLIĆ *et al.*, 2018).

El Cuadro 15 muestra los resultados de los parámetros cinéticos de la degradación de antocianinas durante el proceso de pasteurización de la pulpa de camu camu.

Cuadro 15. Parámetros cinéticos de degradación para el contenido de antocianinas.

Temperatura	k	D	t _{1/2}	Q ₁₀	Ea
70°C	0.0341 ± 0.0002	67.5398 ± 0.3470	20.3315 ± 0.1045	1.41	
80°C	0.0480 ± 0.0002	47.9246 ± 0.1922	14.4268 ± 0.0579		22.68
90°C	0.0527 ± 0.0010	43.6939 ± 0.8579	13.1532 ± 0.2582	1.10	

¹ Los valores corresponden a la media SD, para n = 3 corridas.

El incremento de la temperatura y tiempo de pasteurización ocasiona un incremento del valor de **k** de las antocianinas; mientras que los valores del tiempo de reducción decimal (**D**) y el tiempo de vida media (**t_{1/2}**) disminuyen conforme se aumenta la temperatura de pasteurización, siendo más estable a la temperatura de 70°C (mayor tiempo de vida media). Respecto al valor de **Q₁₀** podemos afirmar que la degradación es mayor cuando la temperatura varía de 70°C a 80°C. Por otro lado el valor de **Ea** (22.68 kJ/mol) es un indicador de la energía necesaria para el inicio de la reacción de degradación de antocianinas.

La velocidad de degradación (**k**) de antocianinas aumentó en un 40.76% cuando se eleva la temperatura de 70 a 80°C; Sin embargo, cuando la temperatura se incrementó de 80°C a 90°C la velocidad de degradación fue menor (9.79%). Esto demuestra que las antocianinas son más estables en el intervalo de temperatura de 80 a 90°C, por ser el cambio del valor de **k** menos drástico. Al aumentar la temperatura, el valor de la velocidad de degradación (**k**) de las antocianinas se incrementa, lo que demuestra al igual que en el caso del ácido ascórbico, que la degradación de antocianinas depende de la temperatura, siendo mayor esta dependencia al incrementar la temperatura de 70 a 80°C.

En estudios sobre degradación térmica de antocianinas se reportó similar comportamiento con lo encontrado en la investigación; en extractos de juçara y de uva "Italia" entre 50 y 90°C el valor **D** disminuyó con el aumento de la temperatura (PERON *et al.*, 2017), donde las antocianinas de juçara se degradaron más lentamente que las extraídas de las uvas "Italia" (PERON *et al.*, 2017). También, el comportamiento de **k** y $t_{1/2}$ es similar a lo reportado para el jugo y concentrado de agraz (Martínez *et al.* 2011): Para el jugo de jaboticaba a las temperaturas entre 70 y 90°C, las constantes de velocidad variaron de 1.8 a $7.6 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ (MERCALI *et al.*, 2015). Por otro lado, las antocianina en el puré de arándanos presentaron vidas medias ($t_{1/2}$) de 346.6 min a 70°C, 187.3 min a 80°C, 123.8 min a 87.5°C, 80.6 min a 95°C y 38.7 min a 105°C (MARTYNENKO *et al.*, 2016), valores mucho mayores a lo determinado en el presente estudio.

Por otro lado el valor de **Ea** (22.68 kJ/mol) es menor a lo reportado en otras investigaciones para otros productos; así tenemos, para la pérdida de antocianinas durante el procesamiento térmico de pulpas de grosellas negras, arándanos y bayas de maqui la **Ea** estuvo entre 81 y 94 kJ/mol (BUSSO *et al.*, 2017). La degradación de las antocianinas del puré de arándanos mostró una **Ea** de 66.37 kJ/mol (MARTYNENKO *et al.*, 2016). Luego, como la **Ea** de la degradación de antocianinas en pulpa de camu camu durante la pasteurización (70 – 90°C) es más baja que las reportadas en la literatura consultada, ello demuestra que la tasa de degradación de antocianinas presenta menor dependencia de la temperatura.

4.5. Evaluación del efecto de la pasteurización en los parámetros cinéticos

4.5.1. Evaluación de los parámetros cinéticos de degradación del contenido de ácido ascórbico

En el Cuadro 16 se muestran la prueba de Tukey para los valores de la velocidad de degradación.

Cuadro 16. Comparación múltiple de medias para la velocidad de degradación (k) del contenido de ácido ascórbico.

Temperatura	Casos	k (1/s)
70°C	3	0.0204 ± 0.0018 ^a
80°C	3	0.0234 ± 0.0002 ^b
90°C	3	0.0351 ± 0.0009 ^c

Los valores representan la media ± SD, para $n = 3$.

Diferentes superíndices indican diferencia significativa.

Existe diferencia significativa ($P_v < 0.05$) entre los valores de k del contenido de ácido ascórbico por efecto de la temperatura de pasteurización. A medida que la temperatura de pasteurización se incrementa, el valor de la velocidad de degradación (k) se incrementa, siendo el incremento 14.71% para la temperatura de 80°C y 72.06% de incremento para la temperatura de 90°C, en referencia al valor de k para la temperatura de 70°C de pasteurización.

La comparación múltiple de Tukey realizada a los valores D se muestra en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Comparación múltiple de medias para el tiempo de reducción decimal (D) para el contenido de ácido ascórbico.

Temperatura	Casos	D (min)
70°C	3	113.8590 ± 9.9850 ^a
80°C	3	98.2689 ± 0.7207 ^b
90°C	3	65.6501 ± 1.7354 ^c

Los valores representan la media ± SD, para $n = 3$.

Diferentes superíndices indican diferencia significativa.

Observamos la existencia de diferencia significativa ($P_v < 0.05$) entre los valores del tiempo de reducción decimal (D) del contenido de ácido ascórbico

por efecto de la temperatura de pasteurización. A medida que la temperatura de pasteurización se incrementa el valor **D** disminuye; es decir, el tiempo de reducción decimal disminuye conforme se incrementa la temperatura, siendo la disminución del valor **D** en un 13.69% para la temperatura de 80°C y 42.34% para la temperatura de 90°C, en referencia al valor **D** para la temperatura de 70°C de pasteurización.

En el Cuadro 18 observamos la comparación múltiple de Tukey de los valores del tiempo medio ($t_{1/2}$) para el contenido de ácido ascórbico en la pulpa de camu camu durante la pasteurización.

Cuadro 18. Comparación múltiple de medias para el tiempo medio ($t_{1/2}$) de reducción al 50% del contenido de ácido ascórbico.

Temperatura	Casos	$t_{1/2}$ (min)
70°C	3	34.2750 ± 3.0058 ^a
80°C	3	29.5819 ± 0.2169 ^b
90°C	3	19.7627 ± 0.5225 ^c

Los valores representan la media ± SD, para n =3.

Diferentes superíndices indican diferencia significativa.

Existe diferencia significativa ($P_v < 0.05$) entre los valores del tiempo medio ($t_{1/2}$), tiempo en que la pulpa todavía tiene un 50% de ácido ascórbico por efecto de la temperatura de pasteurización. Conforme la incrementamos la temperatura de pasteurización el valor del tiempo medio ($t_{1/2}$) disminuye; es decir, el tiempo en la cual la pulpa contiene el 50% de ácido ascórbico cada vez es menor según se incremente la temperatura, siendo la disminución del valor del tiempo medio ($t_{1/2}$) en un 13.69% para la temperatura de 80°C y 42.34% para la temperatura de 90°C, en referencia al valor del tiempo medio ($t_{1/2}$) para la temperatura de 70°C de pasteurización.

En la bibliografía consultada no logramos encontrar datos sobre parámetros cinéticos de la degradación de ácido ascórbico en pulpa de camu camu durante el proceso de pasteurización.

4.5.2. Evaluación de los parámetros cinéticos de degradación del contenido de antocianinas

El Cuadro 19 muestra los resultados de la prueba de Tukey realizada a los valores de la velocidad de degradación del contenido de antocianinas.

Cuadro 19. Comparación múltiple de medias para la velocidad de degradación (k) del contenido de antocianinas.

Temperatura	Casos	k (1/min)
70°C	3	0.0341 ± 0.0001 ^a
80°C	3	0.0481 ± 0.0002 ^b
90°C	3	0.0527 ± 0.0010 ^c

Los valores representan la media ± SD, para n =3.

Diferentes superíndices indican diferencia significativa.

Observamos una diferencia significativa ($P_v < 0.05$) entre los valores de **k** del contenido de antocianinas por efecto de la temperatura de pasteurización. Conforme incrementamos la temperatura de pasteurización, se incrementa el valor de **k**, siendo el incremento 41.06% para la temperatura de 80°C y 54.55% de incremento para la temperatura de 90°C, en referencia al valor de k para la temperatura de 70°C de pasteurización.

En el Cuadro 20 se observa los resultados de la comparación múltiple de medias realizada al valor **D** para el contenido de antocianinas durante la pasteurización.

Cuadro 20. Comparación múltiple de medias para el tiempo de reducción decimal (D) para el contenido de antocianinas.

Temperatura	Casos	D (min)
70°C	3	67.5398 ± 0.3470 ^a
80°C	3	47.9247 ± 0.1922 ^b
90°C	3	43.6939 ± 0.8579 ^c

Los valores representan la media ± SD, para n =3.

Diferentes superíndices indican diferencia significativa.

Observamos la existencia de diferencia significativa ($P_v < 0.05$) entre los valores del tiempo de reducción decimal (**D**) para el contenido de antocianinas, por efecto de la temperatura de pasteurización. Conforme la temperatura de pasteurización se incrementa, el valor **D** disminuye, siendo la disminución del valor **D** en un 29.04% para la temperatura de 80°C y 35.31% para la temperatura de 90°C, en referencia al valor **D** para la temperatura de 70°C de pasteurización.

En el Cuadro 21 se reporta los resultados de la comparación múltiple de medias realizada a los valores del tiempo medio ($t_{1/2}$) del contenido de antocianinas durante el tratamiento térmico.

Cuadro 21. Comparación múltiple de medias para el tiempo medio ($t_{1/2}$) de reducción al 50% del contenido de antocianinas.

Temperatura	Casos	$t_{1/2}$ (min)
70°C	3	20.3315 ± 0.1044 ^a
80°C	3	14.4268 ± 0.0579 ^b
90°C	3	13.1532 ± 0.2583 ^c

Los valores representan la media ± SD, para n =3.

Diferentes superíndices indican diferencia significativa.

Observamos la existencia de diferencia significativa ($P_v < 0.05$) entre los valores del tiempo medio ($t_{1/2}$), tiempo en que la pulpa contiene un 50% de antocianinas por efecto de la temperatura de pasteurización. Conforme incrementamos la temperatura de pasteurización, el valor del tiempo medio ($t_{1/2}$) disminuye; es decir, el tiempo en la cual la pulpa contiene el 50% de ácido ascórbico cada vez es menor según se incremente la temperatura, siendo la disminución del valor del tiempo medio ($t_{1/2}$) en un 29.04% para la temperatura de 80°C y 35.31% para la temperatura de 90°C, en referencia al valor del tiempo medio ($t_{1/2}$) para la temperatura de 70°C de pasteurización.

La mayor estabilidad de los compuestos bioactivos puede explicarse por diferencias en las concentraciones totales de antocianinas y ácido ascórbico, así como por la composición de antocianinas (MARTINSEN *et al.*, 2020).

V. CONCLUSIONES

- El contenido de vitamina C y antocianinas en la pulpa de camu camu se vieron afectados por la temperatura y tiempos de pasteurización, a mayor temperatura y tiempo del tratamiento térmico, mayor fue la pérdida. El periodo del tiempo de exposición durante el tratamiento térmico es el que afecta más a la pérdida de vitamina C y antocianinas.
- La degradación del ácido ascórbico y de antocianinas se ajustó adecuadamente a un modelo cinético de primer orden. Conforme se incrementó la temperatura y el tiempo de pasteurización, la velocidad de degradación (**k**) aumentó significativamente ($P_v < 0.05$). El ácido ascórbico es más estable a baja temperatura (70°C – 80°C); mientras que las antocianinas a mayor temperatura (80°C – 90°C).
- Los parámetros cinéticos de la degradación térmica del ácido ascórbico y de antocianinas se ven afectados por la temperatura y tiempo de pasteurización. Los valores del tiempo de vida media ($t_{1/2}$) para el ácido ascórbico y las antocianinas disminuyen con el aumento de la temperatura, lo que indica que la degradación es rápida. Sin embargo, para las mismas temperaturas el ácido ascórbico presentó mayor estabilidad térmica.
- Durante la pasteurización de la pulpa de camu camu el ácido ascórbico se degrada más lentamente que las antocianinas. Esto se confirma por los valores de la Energía de Activación (**Ea**), siendo 28.17 kJ/mol y 22.68 kJ/mol, para el ácido ascórbico y antocianinas respectivamente.

VI. RECOMENDACIONES

- Tener en cuenta la información obtenida sobre el efecto del tratamiento térmico en la pérdida de la vitamina C y antocianinas durante la pasteurización de pulpa de camu camu para mejorar las condiciones de proceso.
- Realizar investigaciones sobre la degradación de compuestos bioactivos durante el almacenamiento en refrigeración de la pulpa de camu camu, pero pasteurizando la fruta.
- Actualmente se viene produciendo harina de camu camu con fines de exportación; luego, es necesario investigar la degradación de los componentes bioactivos durante el secado en lecho fluidizado, variando la temperatura y velocidad de secado.
- El néctar de camu camu que se vende en los supermercados necesitan someterse a validación la concentración de los componentes bioactivos; luego, se hace necesario estudiar la estabilidad de los componentes bioactivos en el néctar.
- Realizar estudios de cinética de degradación térmica de la pulpa de camu camu a presiones reducidas, para tener una mayor información científica sobre este fruto.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC (Association of Official Agricultural Chemists). 2002. Método oficial de análisis. 16ª edición, Asociación de Analistas Oficiales, Washington DC.
- ASHRAF, M.A; IQBAL, M; RASHEED, R; HUSSAIN, I; RIAZ, M; ARIF, M.S. 2018. Environmental Stress and Secondary Metabolites in Plants. *Plant Metabolites and Regulation Under Environmental Stress*, 153–167. doi:10.1016/b978-0-12-812689-9.00008-x
- BERK, Z. 2018. Food process engineering and technology. 3er ed. Academic Press, Elsevier. United Kingdom.
- BRAVO, L. 1998. Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Reviews*, 56(11), 317–333.
- BONAFINE, O; CAÑIZARES, A; LAVERDE, D. 2006. Importancia de los fitoquímicos en la alimentación. *INIA Divulga*. 2006 (enero–abril); 7:9-12.
- BUSSO, C.C; BAEZA, R; SÁNCHEZ, V. 2017. Comparison of the kinetics of monomeric anthocyanins loss and colour changes in thermally treated Blackcurrant, Maqui Berry and Blueberry pulps from Argentina. *Journal of Berry Research*, 7(2), 85–96.
- CASTRO, J.C; MADDOX, J.D; IMÁN, S.A. 2018. Camu-camu— *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh. *Exotic Fruits*, 97–105. doi:10.1016/b978-0-12-803138-4.00014-9
- CRUZ, R.M.S; VIEIRA, M.C; SILVA, C.L.M. 2008. Efecto de los tratamientos de calor y termosonicación sobre la cinética de inactivación de peroxidasa en berros (*Nasturtium officinale*). *Revista de Ingeniería*, 72(1): 8-15.

- CUNHA, E.C. 2018. Avaliação e caracterização dos compostos bioativos do camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) Mc Vaugh). Tese apresentada obtenção do título de Doutora em Ciência de Alimentos. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. 128 p.
- CUNHA-SANTOS, E.C.E; VIGANÓ, J; NEVES, D.A; MARTÍNEZ, J; GODOY, H.T. 2019. Vitamin C in camu-camu [*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh]: evaluation of extraction and analytical methods. *Food Research International*, 115, 160–166. doi:10.1016/j.foodres.2018.08.031
- FENNEMA, O. 2000. Química de alimentos. 2nd ed. Zaragoza: Acribia.
- FERREIRA, A.R.P. 2012. Compostos bioativos de camu-camu (*myrciaria dubia*) em função do ambiente de cultivo e do estágio de maturação. Tese de Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Viçosa. 138 p.
- GARCÍA, B.C; CHACÓN, V.G; MOLINA, C.M.E. 2011. Evaluación de la vida útil de una pasta de tomate mediante pruebas aceleradas por temperatura. *Ingeniería*, 21(2): 31-38.
- GARCÍA, S.E; LEANDRO-LAGUNA, C; VICENTE, S.E; HILARIO, R.J; ROMÁN, C.W; RUIZ, A.F. 2014. Variación de las características biométricas, físicas y químicas de la fruta del camu camu (*Myrciaria dubia* Mc Vaugh), en tres estados de madurez: Verde, pintón y maduro, procedente de los cultivos de Yarinacocha y Pucallpillo. *Investigación Universitaria*, 7(1): 37 – 46.
- GHISELLI, A; NARDINI, M; BALDI, A; SCACCINI, C. 1998. Antioxidant Activity of Different Phenolic Fractions Separated from an Italian Red Wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(2), 361–367.
- GONÇALVES, S.A.E. 2012. Compostos bioativos do camu-camu (*Myrciaria dubia* McVaugh): caracterização e atividade biológica. Tese de Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade de São Paulo. 114 p.

- GRIGIO, M.L. 2017. Atributos qualitativos e funcionais do camu-camu e elaboração de produtos com potencial funcional. Tese de Doutorado em Biodiversidade e Conservação. Universidade Federal de Roraima. 112p.
- HERNÁNDEZ, M.S; CARRILLO, M; BARRERA, J; FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J.P. 2011. Camu-camu (*Myrciaria dubia* Kunth McVaugh). *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*, 352–375e.
- HIWILEPO-VAN HAL, P; BOSSCHAART, C; VAN TWISK, C; VERKERK, R; DEKKER, M. 2012. Kinetics of thermal degradation of vitamin C in marula fruit (*Sclerocarya birrea* subsp. *caffra*) as compared to other selected tropical fruits. *LWT - Food Science and Technology*, 49(2), 188–191.
- HUNG, C; YEN, G.C. 2002. Antioxidant Activity of Phenolic Compounds Isolated from *Mesona Procumbens* Hemsl. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10): 2993 -2997.
- IMÁN, C.S; BRAVO, Z.L; SOTERO, S.V; OLIVA, C.C. 2011a. Contenido de vitamina C en frutos de camu camu *Myrciaria dubia* (H.B.K) Mc Vaugh, en cuatro estados de maduración, procedentes de la Colección de Germoplasma del INIA Loreto, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 2(2011), 123-130.
- IMÁN, C.S; PINEDO, F.S; MELCHOR, A.P. 2011b. Caracterización morfológica y evaluación de la colección nacional de germoplasma de camu camu *Myrciaria dubia* (H.B.K) Mc Vaugh, del INIA Loreto-Perú. *Scientia Agropecuaria*, 2(4), 189 - 201.
- KADAKAL, Ç; DUMAN, T, EKINCI, R. 2017. Thermal degradation kinetics of ascorbic acid, thiamine and riboflavin in rosehip (*Rosa canina* L) nectar. *Food Science and Technology*, 38(4), 667–673.
- KUMAR, S; KHADKA, M; MISHRA, R; KOHLI, D; UPADHAYA, S. 2017. Effects of Conventional and Microwave Heating Pasteurization on Physiochemical Properties of Pomelo (*Citrus maxima*) Juice. *Journal of Food Processing & Technology*, 08(07).

- LABUZA, T.P. 1984. Application of chemical kinetics to deterioration of foods. *Journal of Chemical Education*, 61(4).
- LEE, J; DURST, R.W; WROLSTAD, R.E. 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the ph differential method: Collaborative study. *Journal of AOAC International*, 88(5), 1269–1278.
- LING, B; TANG, J; KONG, F; MITCHAM, E. J; WANG, S. 2014. Kinetics of Food Quality Changes During Thermal Processing: a Review. *Food and Bioprocess Technology*, 8(2): 343–358
- MAEDA, N.R; PANTOJA, L; YUYAMA, L.K.O; CHAAR, J.M. 2007. Estabilidad de ácido ascórbico y antocianinas en néctar de camu camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. Mc Vaugh). *Cienc. Tecnol. Aliment*, 27(2): 313 - 316.
- MAHAN, L.K; RAYMOND, J.L. 2017. Krause's food & the nutrition care process. 14th ed. St. Louis Missouri: Elsevier. 1134 p.
- MALDONADO-ASTUDILLO, Y.I; ALIA-TEJACAL, I; NÚÑEZ-COLÍN, C.A; JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ, J; PELAYO-ZALDÍVAR, C; LÓPEZ-MARTÍNEZ, V; ANDRADE-RODRIGUEZ, M; BAUTISTA-BAÑOS, S; VALLE-GUADARRAMA, S. 2014. Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. mombin* L. *Scientia Horticulturae*, 174, 193–206. doi:10.1016/j.scienta.2014.05.016
- MARTÍNEZ, ZJ; ROJAS, SH; BORDA, GG; HASTAMORIR, CA; MEDINA, RM. 2011. Estabilidad de antocianinas en jugo y concentrado de agraz (*Vaccinium meridionale* SW.). *Rev. Fac. Nac. Agron.*, 64(1): 6023 – 6035.
- MARTINSEN, B.K; AABY, K; SKREDE, G. 2020. Effect of temperature on stability of anthocyanins, ascorbic acid and color in strawberry and raspberry jams. *Food Chemistry*, 316, 126297.
- MARTYNENKO, A; CHEN, Y. 2016. Degradation kinetics of total anthocyanins and formation of polymeric color in blueberry hydrothermodynamic (HTD) processing. *Journal of Food Engineering*, 171, 44–51.

- MARSZAŁEK, K; MITEK, M; SKĄPSKA, S. 2015. The effect of thermal pasteurization and high pressure processing at cold and mild temperatures on the chemical composition, microbial and enzyme activity in strawberry purée. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 27, 48–56.
- MERCALI, G.D; GURAK, P.D; SCHMITZ, F; MARCZAK, L.D.F. 2015. Evaluation of non-thermal effects of electricity on anthocyanin degradation during ohmic heating of jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) juice. *Food Chemistry*, 171, 200–205.
- MERCALI, G.D; JAESCHKE, D.P; TESSARO, I.C; MARCZAK, L.D.F. 2012. Study of vitamin C degradation in acerola pulp during ohmic and conventional heat treatment. *LWT - Food Science and Technology*, 47(1), 91–95.
- MERCALI, G.D; JAESCHKE, D.P; TESSARO, I.C; MARCZAK, L.D.F. 2013. Degradation kinetics of anthocyanins in acerola pulp: Comparison between ohmic and conventional heat treatment. *Food Chemistry*, 136(2), 853–857.
- MIDAGRI (MINISTERIO DE AGRICULTURA). 2000. Programa Nacional de camu camu. Perú. Pp. 6. Consultado abril 28 de 2020. Disponible en http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletin/camu-camu/prog_nac_camucamu.pdf
- MUNYAKA, A.W; MAKULE, E.E; OEY, I; VAN LOEY, A; HENDRICKX, M. 2010. Thermal Stability of l-Ascorbic Acid and Ascorbic Acid Oxidase in Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Journal of Food Science*, 75(4), C336–C340.
- NASCIMENTO, O.V.DO; SILVA, E.L. 2021. CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia* (HBK) McVaugh), a small Amazonian fruit rich in vitamin C and a supplement for immunity. *Research, Society and Development*, 10(6), e27810615877. doi:10.33448/rsd-v10i6.15877

- NIKOLIĆ, M; PAVLOVIĆ, A; MITIĆ, M; MITIĆ, S; TOŠIĆ, S; PECEV-MARINKOVIĆ, E; MRMOŠANIN, J. 2018. Thermal degradation kinetics of total polyphenols, flavonoids, anthocyanins and individual anthocyanins in two types of wild blackberry jams. *Advanced Technologies*, 7(1), 20–27.
- OBREGÓN-LA ROSA, A.J; ELÍAS-PENAFIEL, C; CONTRERAS-LÓPEZ, E; ARIAS-ARROYO, G; BRACAMONTE-ROMERO, M. 2021. Características fisicoquímicas, nutricionales y morfológicas de frutas nativas. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(1), 17 - 25. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2021.202>
- OLIVEIRA, J. 2013. Estudo da viabilidade de embalagens e temperaturas de armazenamento na qualidade pós-colheita de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh). Tese de Mestrado em Ciências. Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 134 p.
- ORDÓÑEZ-SANTOS, L.E; YOSHIOKA-TAMAYO, L.S. 2012. Cinética de degradación térmica de vitamina C en pulpa de mango (*Mangifera indica* L.). *Vitae* 19(Supl. 1): S80-S83.
- ORDÓÑEZ-SANTOS, L.E; OSPINA, P.M; RODRÍGUEZ, R.D.X. 2013. Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Lasallista de Investigación* 10(2): 44-51.
- OZANA, S.A. 2014. Principais compostos bioativos e capacidade antioxidante no epicarpo do camu-camu (*Myrciaria dubia*) em função da maturação. Tese de Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Pará. 66 p.
- PÁEZ, G; FREAY, J; MORENO, M; MÁRMOL, Z; ARAUJO, K; RINCÓN, M. 2007. Cinética de la degradación del ácido ascórbico en jugo de parchita. *Afinidad* LXV. (533):51-55.

- PATRAS, A; BRUNTON, N.P; O'DONNELL, C; TIWARI, B.K. 2010. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology*, 21(1): 3-11.
- PEHLIVAN, F. E. 2017. Vitamin C: An Antioxidant Agent. Vitamin C. doi:10.5772/intechopen.69660
- PERON, D.V; FRAGA, S; ANTELO, F. 2017. Thermal degradation kinetics of anthocyanins extracted from juçara (*Euterpe edulis Martius*) and "Italia" grapes (*Vitis vinifera* L.), and the effect of heating on the antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 232, 836–840.
- QUEIROZ, F, OLIVEIRA, C; PINHO, O; FERREIRA, I.M.P. 2009. Degradation of anthocyanins and anthocyanidins in blueberry jams/stuffed fish. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(22), 10712 - 10717.
- SABERIAN, H; HAMIDI-ESFAHANI, Z; ABBASI, S. 2015. Effect of conventional and ohmic pasteurization on some bioactive components of *Aloe vera* gel. *Nutrition & Food Science*, 43(2): 175–183.
- SALAS, N.T; ESTRADA, A.E; LENGUA, C.R; PINO, G.J; ALVIS, R.D; BAZAN, G.D; BECERRA, V.E; SANDIVAR, R.J, CARHUANCHO, M.A; OSORIO, A.A; CAJA, V.R. 2009. Proceso para obtener bebida nutracéutica a partir de *Myrciaria dubia* (camu camu), orientado a reducir efecto genotóxico en niños de edad escolar. *Rev.Per.Quím.Ing.Quím.*, 12(9); 34 – 41.
- SÁNCHEZ-CHÁVEZ, W; CORTEZ-ARREDONDO, J; SOLANO-CORNEJO, M. 2015. Cinética de degradación térmica de betacianinas, betaxantinas y vitamina C en una bebida a base de jugo de remolacha (*Beta vilgaris* L.) y miel de abeja. *Scientia Agropecuaria* 6(2): 111-118.
- SANTOS, P.H.S; SILVA, M.A. 2008. Retention of Vitamin C in Drying Processes of Fruits and Vegetables-A Review. *Drying Technology*, 26(12), 1421–1437.

- SANTHIRASEGARAM, V; RAZALI, Z; GEORGE, D.S; SOMASUNDRAM, C. 2015. Effects of Thermal and Non-thermal Processing on Phenolic Compounds, Antioxidant Activity and Sensory Attributes of Chokanan Mango (*Mangifera indica* L.) Juice. *Food and Bioprocess Technology*, 8(11), 2256–2267.
- SARKIS, J.R; JAESCHKE, D.P; TESSARO, I.C; MARCZAK, L.D.F. 2013. Effects of ohmic and conventional heating on anthocyanin degradation during the processing of blueberry pulp. *LWT - Food Science and Technology*, 51(1), 79–85.
- SILVA, S; ALVES, E.R; NUNES, M.R. 2007. Fisiologia pós-colheita de frutas tropicais. II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-COLHEITA DE FRUTAS, HORTALIÇAS E FLORES, 2, 2007, Viçosa – MG. Palestras e Resumos. UFV/EMBRAPA; SBF, 390 p. 2007
- VIEIRA, R.P; MOKOCHINSKI, J.B; SAWAYA, A.C. 2015. Mathematical Modeling of Ascorbic Acid Thermal Degradation in Orange Juice during Industrial Pasteurizations. *Journal of Food Process Engineering*, 39(6), 683–691.
- VOLDEN, J; BORGE, G.I.A; BENGTSSON, G.B; HANSEN, M; THYGESEN, I.E; WICKLUND, T. 2008. Effect of thermal treatment on glucosinolates and antioxidant-related parameters in red cabbage (*Brassica oleracea* L. ssp. capitata f. rubra). *Food Chemistry*, 109(3): 595 - 605.
- WANG, S.Y; JIAO, H. 2000. Scavenging Capacity of Berry Crops on Superoxide Radicals, Hydrogen Peroxide, Hydroxyl Radicals, and Singlet Oxygen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(11), 5677–5684.
- WEST, M.E; MAUER, L.J. 2013. Color and Chemical Stability of a Variety of Anthocyanins and Ascorbic Acid in Solution and Powder Forms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(17): 4169 – 4179.
- YETENAYET, B. T; HOSAHALLI, S. R. 2015. Temperature and high pressure stability of lycopene and vitamin C of watermelon Juice. *African Journal of Food Science*, 9(5), 351–358.

ANEXOS

ANEXO-I: Resumen estadístico para el contenido de ácido ascórbico en la pulpa de camu camu durante la pasteurización.

Nivel	Recuento	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
MEDIA GENERAL	45	1.4620	0.00677	1.44821	1.47588
Temperatura					
70°C	15	1.5849	0.01173	1.5609	1.60883
80°C	15	1.5099	0.01173	1.48597	1.5339
90°C	15	1.2913	0.01173	1.26737	1.3153
Tiempo					
0 min	9	2.3640	0.01515	2.33306	2.39494
10 min	9	1.5914	0.01515	1.5605	1.62239
20 min	9	1.4162	0.01515	1.38528	1.44716
30 min	9	1.1653	0.01515	1.13439	1.19627
40 min	9	0.7732	0.01515	0.742281	0.804163
Temperatura por Tiempo					
70°C 0 min	3	2.3640	0.02624	2.31041	2.41759
70°C 10 min	3	1.7390	0.02624	1.68541	1.79259
70°C 20 min	3	1.4867	0.02624	1.43308	1.54026
70°C 30 min	3	1.3700	0.02624	1.31641	1.42359
70°C 40 min	3	0.9647	0.02624	0.911075	1.01826
80°C 0 min	3	2.3640	0.02624	2.31041	2.41759
80°C 10 min	3	1.6283	0.02624	1.57474	1.68192
80°C 20 min	3	1.4637	0.02624	1.41008	1.51726
80°C 30 min	3	1.2607	0.02624	1.20708	1.31426
80°C 40 min	3	0.8330	0.02624	0.779409	0.886591
90°C 0 min	3	2.3640	0.02624	2.31041	2.41759
90°C 10 min	3	1.4070	0.02624	1.35341	1.46059
90°C 20 min	3	1.2983	0.02624	1.24474	1.35192
90°C 30 min	3	0.8653	0.02624	0.811742	0.918925
90°C 40 min	3	0.5220	0.02624	0.468409	0.575591

ANEXO-II: Análisis de varianza para el contenido de ácido ascórbico en la pulpa de camu camu.

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	Fc	Pv
Modelo	13.5217	14	0.9658	467.54	0.00
Temperatura	0.6978	2	0.3489	168.90	0.00
Tiempo	12.5539	4	3.1385	1519.29	0.00
Temperatura*Tiempo	0.2699	8	0.0337	16.33	0.00
Residuo	0.0620	30	0.0021		
Total	13.5836	44		R ² : 99.33%	

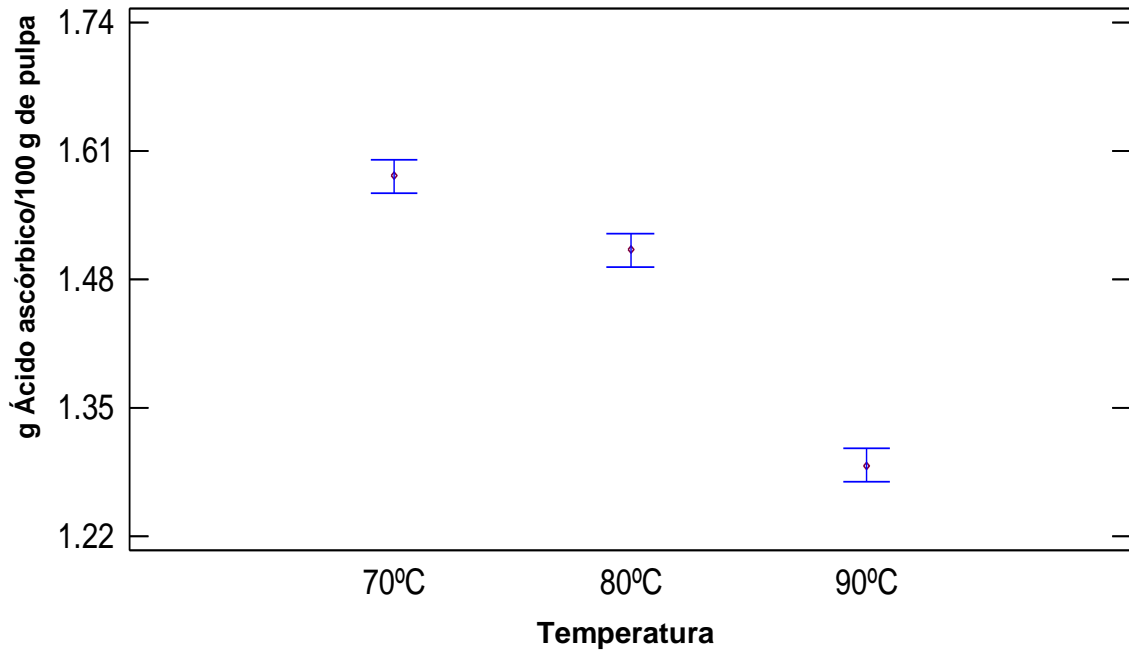
ANEXO-III: Comparación múltiple de medias de Tukey para el contenido de ácido ascórbico en función de la temperatura.

Temperatura	Recuento	Media MC
90°C	15	1.2913 ± 0.0117 ^a
80°C	15	1.5099 ± 0.0117 ^b
70°C	15	1.5849 ± 0.0117 ^c

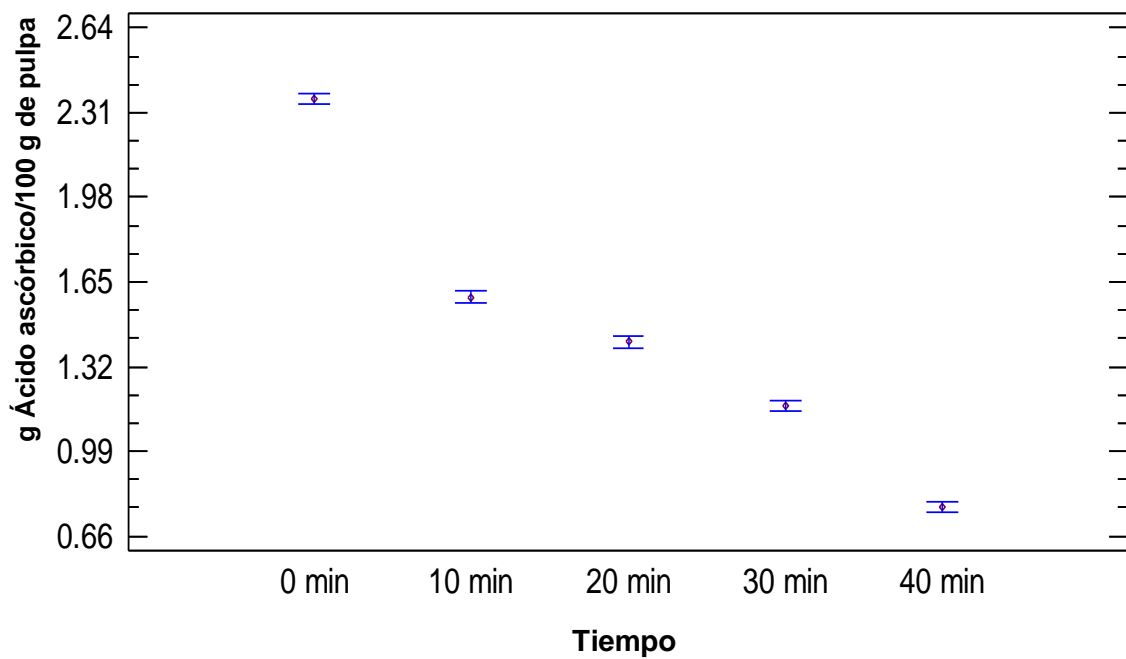
ANEXO-IV: Comparación múltiple de medias de Tukey para el contenido de ácido ascórbico en función del tiempo.

Tiempo	Recuento	Media MC
40 min	9	0.7732 ± 0.0152 ^a
30 min	9	1.1653 ± 0.0152 ^b
20 min	9	1.4162 ± 0.0152 ^c
10 min	9	1.5914 ± 0.0152 ^d
0 min	9	2.3640 ± 0.0152 ^e

ANEXO-V: Variación del contenido de ácido ascórbico en función de la temperatura de pasteurización.



ANEXO-VI: Variación del contenido de ácido ascórbico en función del tiempo de pasteurización.



ANEXO-VII: Resumen estadístico para el contenido de antocianinas en la pulpa de camu camu durante la pasteurización.

Nivel	Recuento	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
MEDIA GENERAL	45	0.4085	0.0013	0.4058	0.4112
Temperatura					
70°C	15	0.4751	0.0022	0.4705	0.4797
80°C	15	0.4040	0.0022	0.3994	0.4086
90°C	15	0.3464	0.0022	0.3418	0.3510
Tiempo					
0 min	9	0.8390	0.0029	0.8331	0.8450
10 min	9	0.5506	0.0029	0.5446	0.5565
20 min	9	0.2884	0.0029	0.2825	0.2943
30 min	9	0.2103	0.0029	0.2043	0.2162
40 min	9	0.1545	0.0029	0.1484	0.1603
Temperatura por Tiempo					
70°C 0 min	3	0.8390	0.0050	0.8287	0.8493
70°C 10 min	3	0.6553	0.0050	0.6450	0.6656
70°C 20 min	3	0.3624	0.0050	0.3521	0.3727
70°C 30 min	3	0.2892	0.0050	0.2789	0.2995
70°C 40 min	3	0.2297	0.0050	0.2194	0.2400
80°C 0 min	3	0.8390	0.0050	0.8287	0.8493
80°C 10 min	3	0.5760	0.0050	0.5657	0.5863
80°C 20 min	3	0.2684	0.0050	0.2582	0.2787
80°C 30 min	3	0.2114	0.0050	0.2011	0.2217
80°C 40 min	3	0.1253	0.0050	0.1150	0.1356
90°C 0 min	3	0.8390	0.0050	0.8287	0.8493
90°C 10 min	3	0.4204	0.0050	0.4101	0.4306
90°C 20 min	3	0.2344	0.0050	0.2241	0.2446
90°C 30 min	3	0.1303	0.0050	0.1200	0.1405
90°C 40 min	3	0.1081	0.0050	0.0978	0.1184

ANEXO-VIII: Análisis de varianza para el contenido de antocianinas.

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	Fc	Pv
Modelo	3.0905	14	0.2207	2903.69	0.00
Temperatura	0.1247	2	0.06235	820.19	0.00
Tiempo	2.9145	4	0.72862	9584.14	0.00
Temperatura*Tiempo	0.0513	8	0.00641	84.33	0.00
Residuo	0.0023	30	0.00008		
Total	3.0928	44		R ² : 99.89%	

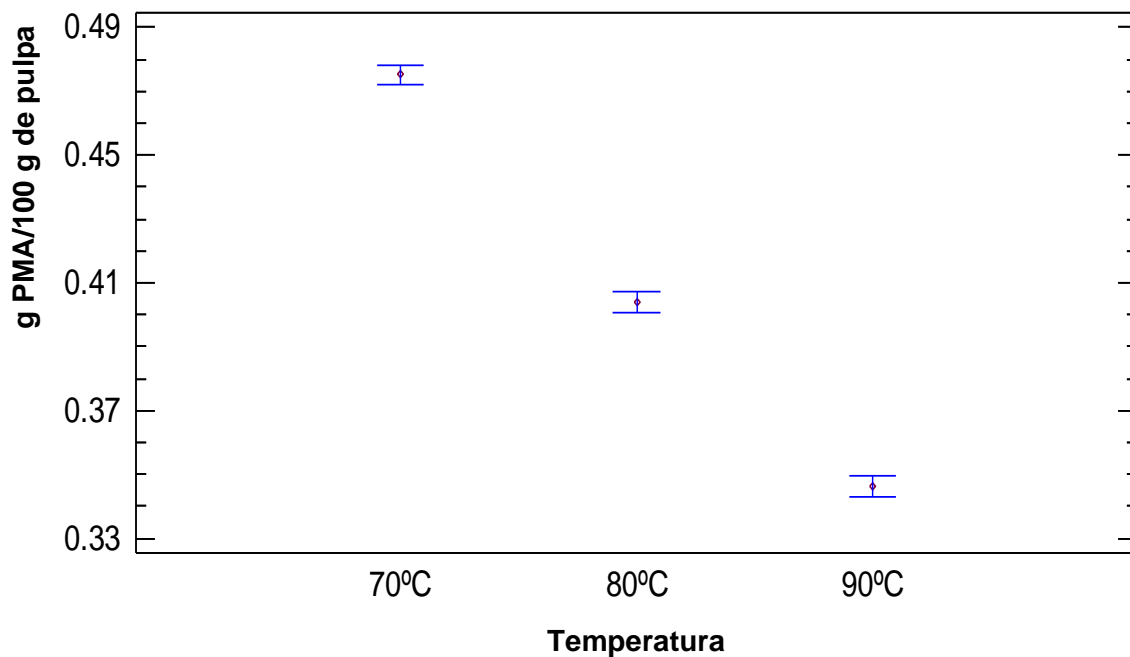
ANEXO-IX: Comparación múltiple de medias de Tukey para el contenido de antocianinas en función de la temperatura.

Temperatura	Recuento	Media MC
90°C	15	0.3464 ± 0.0022 ^a
80°C	15	0.4040 ± 0.0022 ^b
70°C	15	0.4751 ± 0.0022 ^c

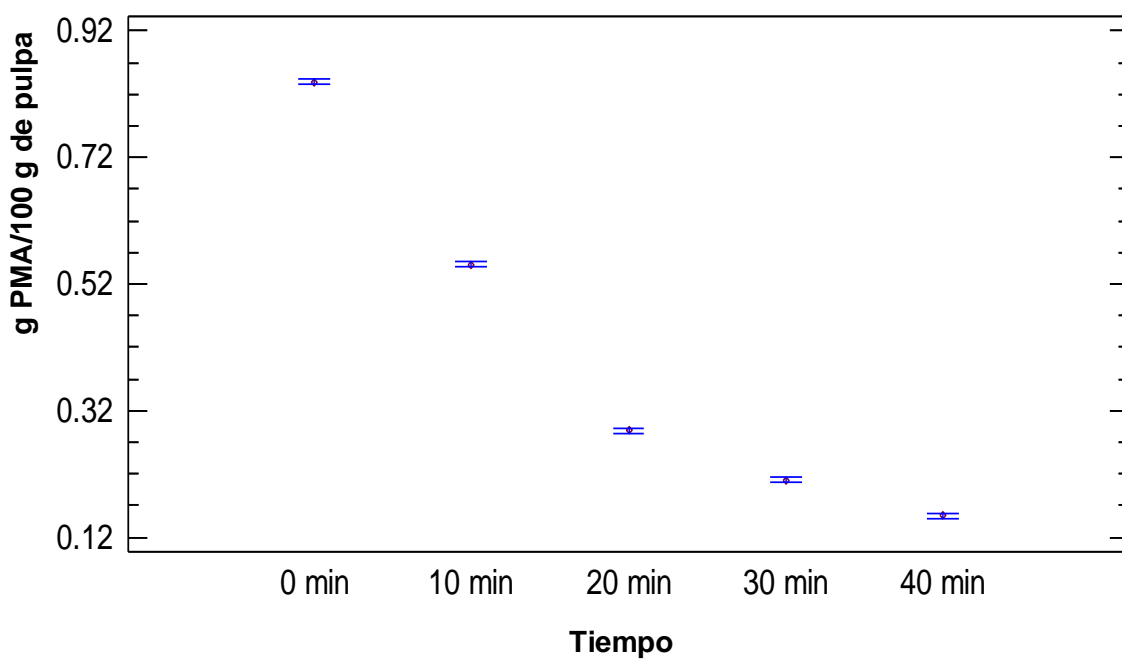
ANEXO-X: Comparación múltiple de medias de Tukey para el contenido de antocianinas en función del tiempo.

Tiempo	Recuento	g PMA/100 g de pulpa
40 min	9	0.1544 ± 0.0029 ^a
30 min	9	0.2103 ± 0.0029 ^b
20 min	9	0.2884 ± 0.0029 ^c
10 min	9	0.5506 ± 0.0029 ^d
0 min	9	0.8390 ± 0.0029 ^e

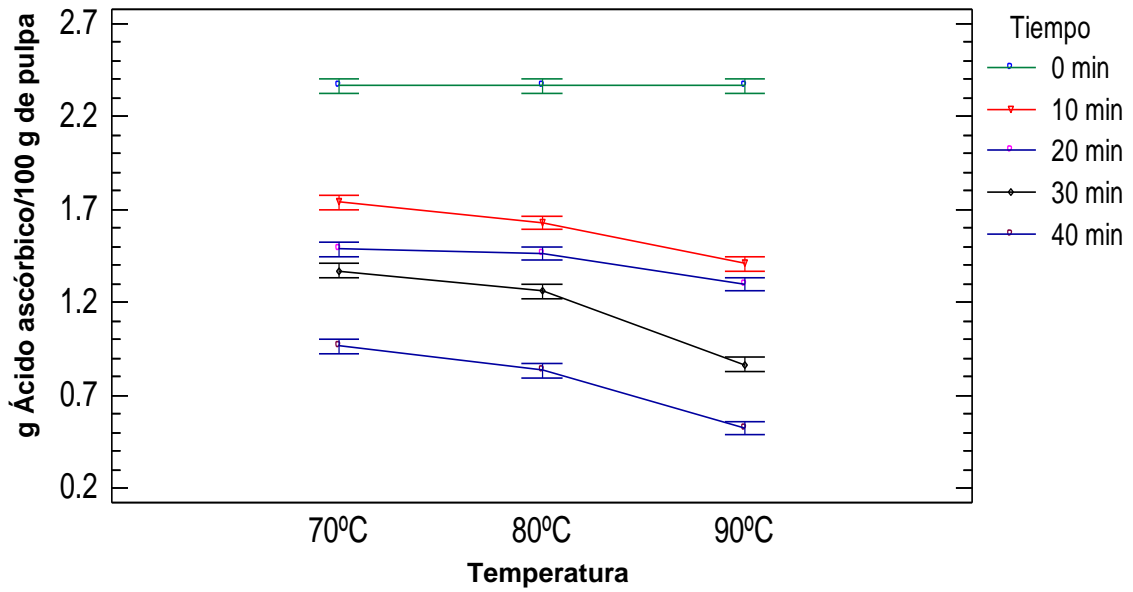
ANEXO-XI: Variación del contenido de antocianinas en función de la temperatura de pasteurización.



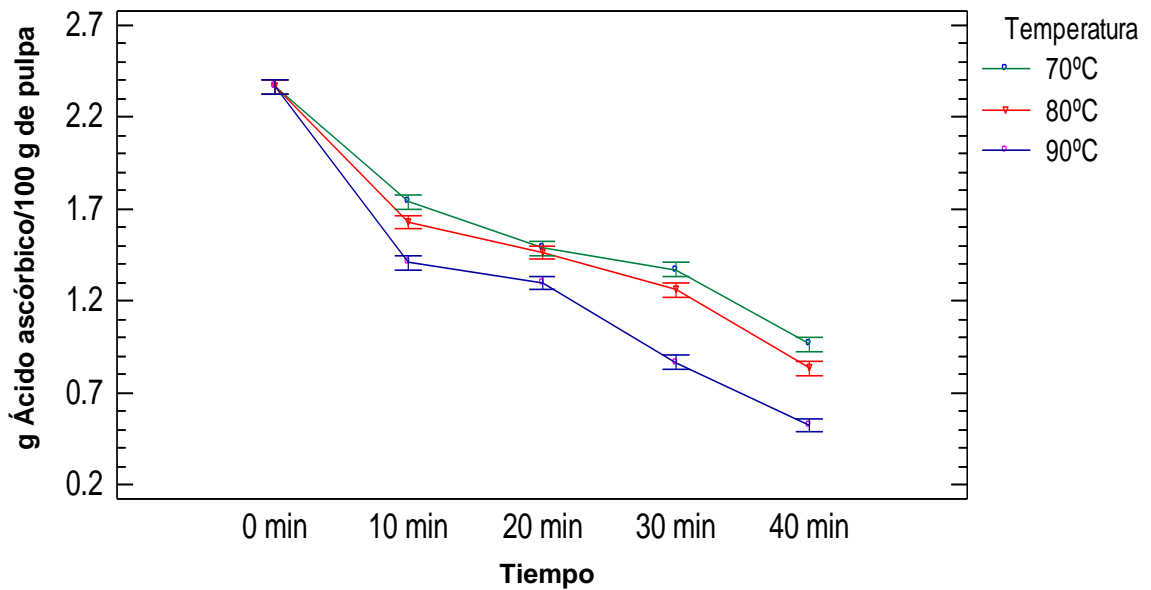
ANEXO-XII: Variación del contenido de antocianinas en función del tiempo de pasteurización.



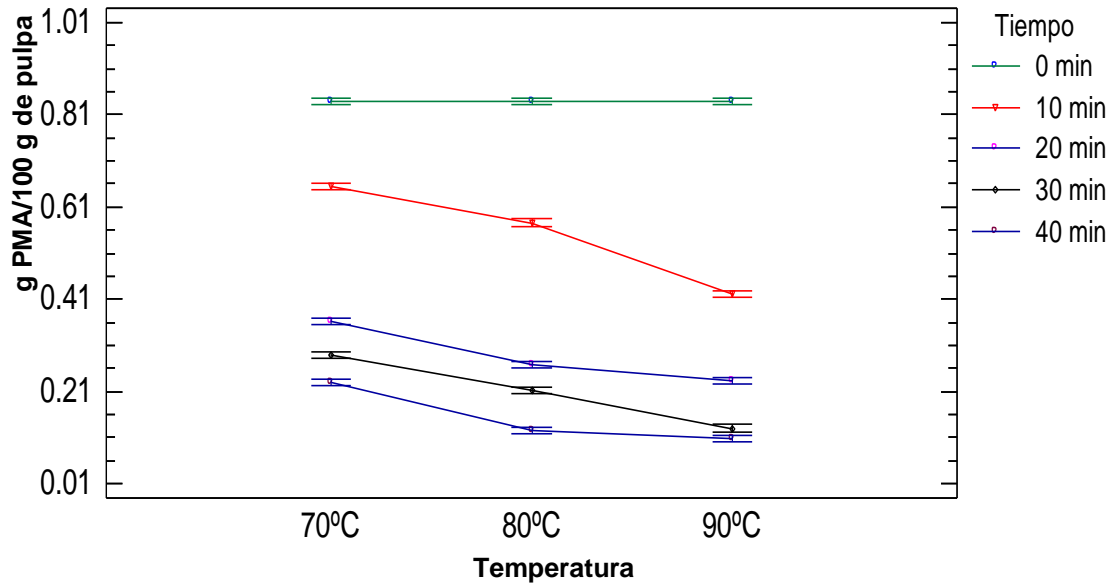
ANEXO-XIII: Efecto de la interacción Temperatura-Tiempo para el contenido de ácido ascórbico en función de la temperatura de pasteurización.



ANEXO-XIV: Efecto de la interacción Temperatura-Tiempo para el contenido de ácido ascórbico en función del tiempo de pasteurización.



ANEXO-XV: Efecto de la interacción Temperatura-Tiempo para el contenido de antocianinas en función de la temperatura de pasteurización.



ANEXO-XVI: Efecto de la interacción Temperatura-Tiempo para el contenido de antocianinas en función del tiempo de pasteurización.

