

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**



**“CINETICA DE LA DEGRADACION Y ESTABILIDAD DEL  
ACIDO ASCORBICO EN LA PULPA DE  
COPOAZU (*Theobroma grandiflorum*)”**

**TESIS PRESENTADA POR:**

Bach. LIMA PIMENTEL, Víctor Hugo

**PARA OPTAR EL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO  
AGROINDUSTRIAL.**

**ASESOR:** Ing. COLQUEHUANCA  
VILCA, Julián.

**CO-ASESOR:** Ing. ARROYO SALAS,  
Yoni.

**PUERTO MALDONADO – PERÚ**

**2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**



**“CINETICA DE LA DEGRADACION Y ESTABILIDAD DEL  
ACIDO ASCORBICO EN LA PULPA DE  
COPOAZU (*Theobroma grandiflorum*)”**

**TESIS PRESENTADA POR:**

Bach. LIMA PIMENTEL, Víctor Hugo

**PARA OPTAR EL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO  
AGROINDUSTRIAL.**

**ASESOR:** Ing. COLQUEHUANCA  
VILCA, Julián.

**CO-ASESOR:** Ing. ARROYO SALAS,  
Yoni.

**PUERTO MALDONADO – PERÚ**

**2019**

## DEDICATORIA

*A Dios, por darme la salud y fortaleza para cumplir con mis objetivos.*

*A mi amada Katyria, por acompañarme en este camino y darme el mayor de los regalos; nuestro Mateo, quién nos llena de alegría todos los días.*

*A mis padres, Benito Lima y Delmicia Pimentel por ser ejemplos de vida y brindarme todo su cariño, amor y apoyo incondicional.*

*A mis hermanos, Juan y Marcos; por su apoyo y paciencia en todo momento.*

*Victor Hugo Lima Pimentel*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por acogerme en sus aulas y brindarme la formación profesional, humanística y científica.

A mis asesores, el Ing. Julián Colquehuanca Vilca, Ing. Yoni Arroyo Salas y a la Dra. Lastenia Cutipa Chávez, por su asesoramiento y apoyo en el desarrollo de la presente tesis.

Al Vice Rectorado De Investigación de la UNAMAD por el financiamiento para la ejecución del presente trabajo de investigación.

A mis Jurados: Dra. María Isabel Cajo Pinche, Ing. Pedro Saúl Montalván Apolaya, M.Sc. Ronald Quispe Flores e Ing. Javier Eduardo Díaz Viteri por sus observaciones y aportes, los cuales ayudaron a enriquecer la presente tesis.

A Mary Cruz Mendoza Quispe, por su apoyo durante la parte experimental del presente proyecto.

A todas las personas que de alguna forma contribuyeron en la realización del presente trabajo de investigación.

## PRESENTACION

El presente trabajo de investigación tiene por finalidad evaluar la cinética de degradación y estabilidad del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) con y sin tratamiento térmico durante su almacenamiento por 80 días a diferentes temperaturas (5°C, -5°C -15°C) y realizando observaciones cada 20 días; así mismo se monitorea el contenido de solidos totales (°Brix), pH y acidez total titulable.

El trabajo de investigación consta de cuatro capítulos, estructurados y desarrollados como se detallan a continuación:

Capítulo I: Problema de investigación, está constituido por la descripción del problema, formulación del problema, objetivos, variables de estudio, operacionalización de las variables, hipótesis, justificación y consideraciones éticas.

Capítulo II: Marco teórico, comprendido por los antecedentes de estudio, marco teórico y definición de términos.

Capítulo III: Metodología de investigación: se detallan el tipo de estudio, diseño de estudio, población, muestra y tratamiento de los datos.

Capitulo IV: Resultados de la investigación, se presentan los resultados obtenidos en cuatro secciones; obtención de pulpa de copoazú, evaluación del efecto del proceso productivo y almacenamiento en las características fisicoquímicas, parámetros cinéticos de degradación del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú y análisis estadístico.

## RESUMEN

El copoazú (*Theobroma grandiflorum*) fruta típica de la amazonía presenta una pulpa ácida, sabor agradable y de aroma característico, esta característica exótica va cautivando cada vez más adeptos, teniendo gran potencial comercial en la industria alimentaria y cosmética. En el presente trabajo de investigación se evaluaron los efectos de tres temperaturas de almacenamiento (5°C, -5°C y -15°C) en la pulpa de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) tratada térmicamente a 90°C por 60 segundos y comparada con la muestra sin tratamiento térmico. La pulpa fue almacenada durante 80 días y cada 20 días se evaluó el pH, acidez total titulable, °Brix y ácido ascórbico. El estudio tiene por objetivo determinar la cinética de degradación del ácido ascórbico y su estabilidad en el tiempo entre muestras con y sin tratamiento térmico. La cinética de degradación fue ajustada a las ecuaciones de orden cero, primer orden y segundo orden. Concluyéndose que el ácido ascórbico sigue una reacción de deterioro de orden uno tanto para las muestras con y sin tratamiento térmico. A través de la ecuación de Arrhenius fue posible determinar la energía de activación referente a la degradación del ácido ascórbico durante su almacenamiento; para el ajuste con el modelo de cinética de primero orden se encontró una  $E_{aTT} = 25,10 \text{ Kcal/mol}$  y  $E_{aSTT} = 10,5098 \text{ Kcal/mol}$ .

**Palabras claves:** *Theobroma grandiflorum*, ácido ascórbico, pulpa, cinética.

## ABSTRACT

The copoazú (*Theobroma grandiflorum*) typical fruit of the Amazon has an acidic pulp, pleasant taste and characteristic aroma, this exotic characteristic is captivating more and more followers, having great commercial potential in the food and cosmetic industry. In the present research work the effects of three storage temperatures (5 ° C, -5 ° C and -15 ° C) on the copoazú pulp (*Theobroma grandiflorum*) heat treated at 90 ° C for 60 seconds and compared were evaluated with the sample without heat treatment. The pulp is stored for 80 days and pH, total titratable acidity, ° Brix and ascorbic acid are evaluated every 20 days. The study aims to determine the degradation kinetics of ascorbic acid and its stability over time between samples with and without heat treatment. The degradation kinetics was adjusted to the equations of zero order, first order and second order. Concluding that ascorbic acid follows a reaction of changes of order one for both samples with and without heat treatment. Through the Arrhenius equation it was possible to determine the activation energy related to the degradation of ascorbic acid during storage; for the adjustment with the first order kinetic model, an  $E_{aTT} = 25.10 \text{ Kcal /mol}$  and  $E_{aSTT} = 10.5098 \text{ Kcal /mol}$  was found.

**Keywords:** *Theobroma grandiflorum*, ascorbic acid, pulp, kinetics.

## INTRODUCCION

Uno de los procesos de conservación de alimentos más importantes es el almacenamiento a bajas temperaturas, no solo por los efectos deseables que se obtienen, sino por la calidad organoléptica final del producto. Se ha estudiado que el almacenamiento de alimentos a bajas temperaturas inhibe la actividad microbiana, enzimática y preserva los nutrientes contenido en la matriz alimentaria.

Uno de los constituyentes más importantes en las frutas y vegetales, es el ácido ascórbico, el cual es un micronutriente esencial en la alimentación del hombre al ser asociada a la síntesis de diferentes moléculas de importancia para la salud, el cual se encuentra presente en diversos alimentos.

El ácido ascórbico es considerado un elemento altamente termo sensible, a diferencia de otras vitaminas cuando es sometido a procesamiento térmico, este llega a perder hasta el 100% de su concentración si no llega a ser tratado adecuadamente (Santos y Silva, 2008). Por tal motivo la concentración residual de ácido ascórbico es considerado como un indicador de calidad nutricional durante el procesamiento y almacenamiento de alimentos.

La predicción de la cantidad de pérdida de ácido ascórbico requiere conocer la cinética de degradación, siendo la constante de degradación específica para cada producto y se determina experimentalmente. Se han realizado estudios para determinar la cinética de degradación en vitaminas, y se establece que estas reacciones siguen una ecuación de primer orden, cuya constante de degradación está regida por el modelo de Arrhenius.

Para la presente investigación se trabajó con tratamiento térmico a 90°C por 60 seg. y sin tratamiento térmico, y temperaturas de almacenamiento (5°C, -5°C y -15°C); para determinar las propiedades fisicoquímicas (ácido ascórbico, pH, acidez total titulable y sólidos totales) en la pulpa de copoazú (*Theobroma grandiflorum*); planteándose si la cinética de degradación y estabilidad del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) no es influenciada por la temperatura de tratamiento térmico y

almacenamiento. Utilizando para cada tratamiento 10 Kg de pulpa de un total de 100 Kg de frutos de copoazú fisiológicamente maduros.

Por ello, la presente investigación tiene como objetivo determinar la cinética de degradación y estabilidad del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú (*Theobroma grandiflorum*).

## INDICE

Pág.

<b>CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.3 Objetivos .....	2
1.4 Variables .....	3
1.5 Operacionalización de las variables .....	4
1.6 Hipótesis.....	5
1.7 Justificación.....	5
1.8 Consideraciones éticas .....	6
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEORICO .....</b>	<b>7</b>
2.1. Antecedentes de estudio.....	7
2.2. Marco teórico.....	9
2.3. Definición de términos.....	21
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>22</b>
3.1. Tipo de estudio.....	22
3.2. Diseño del estudio.....	22
3.3. Población y muestra.....	22
3.4. Tratamientos de los datos .....	30
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACION.....</b>	<b>32</b>
4.1 Obtención de pulpa de copoazú .....	32
4.1.1 Evaluación físico química de la pulpa de copoazú .....	32
4.2 Evaluación del efecto del proceso productivo y almacenamiento en las características fisicoquímicas.....	33
4.2.1 Solidos solubles (°Brix).....	33
4.2.2: pH:.....	36
4.2.3: Acidez titulable total (expresado en % ácido cítrico) .....	38

4.2.4: Ácido ascórbico (mg/100g).....	41
4.3 Parámetros cinéticos de degradación del Ácido Ascórbico en la pulpa de Copoazú ( <i>Theobroma grandiflorum</i> ). .....	44
4.3.1 Cinética de degradación del Ácido Ascórbico durante el almacenamiento en pulpa sin tratamiento térmico.....	44
4.3.2 Cinética de degradación del Ácido Ascórbico durante el almacenamiento en pulpa con tratamiento térmico.....	51
4.4 ANALISIS ESTADÍSTICO.....	57
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>SUGERENCIAS .....</b>	<b>62</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>63</b>

## INDICE DE CUADROS

Pág.

<b>Cuadro 1:</b> Operacionalización de las variables .....	4
<b>Cuadro 2:</b> Diseño experimental de la investigación. ....	31
<b>Cuadro 3:</b> Matriz de consistencia.....	700

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1:</b> Árbol de copoazú ( <i>Theobroma grandiflorum</i> ) .....	11
<b>Figura 2:</b> Copoazú ( <i>Theobroma grandiflorum</i> ) .....	11
<b>Figura 3:</b> Degradación del ácido ascórbico. ....	18
<b>Figura 4:</b> Diagrama de flujo del proceso de obtención de pulpa de copoazú y tratamiento. ....	27
<b>Figura 5:</b> Comportamiento de °Brix en la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico durante el procesado y almacenamiento. ....	34
<b>Figura 6:</b> Comportamiento de °Brix en la pulpa de copoazú con tratamiento térmico durante el procesado y almacenamiento. ....	35
<b>Figura 7:</b> Comportamiento del pH de la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico durante el procesado y almacenamiento. ....	36
<b>Figura 8:</b> Comportamiento del pH de la pulpa de copoazú con tratamiento térmico durante el procesado y almacenamiento. ....	37
<b>Figura 9:</b> Comportamiento del ácido cítrico de la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico durante el procesado y almacenamiento. ....	39
<b>Figura 10:</b> Comportamiento del ácido cítrico de la pulpa de copoazú con tratamiento térmico durante el procesado y almacenamiento. ....	40
<b>Figura 11:</b> Comportamiento del Ácido ascórbico de la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico durante el procesado y almacenamiento. ....	42
<b>Figura 12:</b> Comportamiento del Ácido ascórbico de la pulpa de copoazú con tratamiento térmico durante el procesado y almacenamiento. ....	43
<b>Figura 13:</b> Cinética de degradación de ácido ascórbico en orden de reacción cero. ....	46

<b>Figura 14:</b> Cinética de degradación del ácido ascórbico en orden de reacción uno.....	47
<b>Figura 15:</b> Cinética de degradación de ácido ascórbico en orden de reacción dos. ....	48
<b>Figura 16:</b> Gráfica de Arrhenius de la degradación de ácido ascórbico en la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico.....	49
<b>Figura 17:</b> Cinética de degradación del ácido ascórbico en orden de reacción cero.....	52
<b>Figura 18:</b> Cinética de degradación del ácido ascórbico en orden de reacción uno.....	52
<b>Figura 19:</b> Cinética de degradación del ácido ascórbico en orden de reacción dos. ....	53
<b>Figura 20:</b> Gráfica de Arrhenius de la degradación de ácido ascórbico en la pulpa de copoazú con tratamiento térmico. ....	55
<b>Figura 21:</b> Q-Q plot de residuales de contenido de ácido ascórbico en pulpa de copoazú con tratamiento térmico. ....	57
<b>Figura 22:</b> Q-Q plot de residuales de contenido de ácido ascórbico en pulpa de copoazú sin tratamiento térmico. ....	59

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1:</b> Caracterización físico química de la pulpa de copoazú de acuerdo con estudios hechos por Martin (2013) .....	13
<b>Tabla 2:</b> Contenido de sales minerales en pulpa de copoazú mg/100g base húmeda).....	13
<b>Tabla 3:</b> Rendimiento de copoazú. ....	32
<b>Tabla 4:</b> Análisis fisicoquímico de la pulpa de copoazú. ....	33
<b>Tabla 5:</b> Contenido de ácido ascórbico (mg/100g) en las muestras durante almacenamiento.....	45
<b>Tabla 6:</b> Parámetros cinéticos de degradación de ácido ascórbico en pulpa de copoazú sin tratamiento térmico.. ....	48
<b>Tabla 7:</b> Contenido de ácido ascórbico (mg/100g) en las muestras durante almacenamiento.....	51
<b>Tabla 8:</b> Parámetros cinéticos. ....	54
<b>Tabla 9:</b> Resumen estadístico para la degradación de AA en pulpa de copoazú con tratamiento térmico (90°C/ 60s) y diferentes T° de almacenamiento.....	57
<b>Tabla 10:</b> Resultados ANOVA.....	58
<b>Tabla 11:</b> Resultados de la prueba Tukey.....	58
<b>Tabla 12:</b> Resumen estadístico de la degradación de AA en pulpa de copoazú sin tratamiento térmico a diferentes T° de almacenamiento. ....	59
<b>Tabla 13:</b> Resultados ANOVA. ....	60
<b>Tabla 14:</b> Resultados de la prueba Tukey. ....	60
<b>Tabla 15:</b> Determinación del número de orden de reacción a una temperatura de 5°C.....	71

<b>Tabla 16:</b> Determinación del número de orden de reacción a una temperatura de -5°C.....	71
<b>Tabla 17:</b> Determinación del número de orden de reacción a una temperatura de -15°C.....	71
<b>Tabla 18:</b> Determinación del número de orden de reacción a una temperatura de 5°C.....	72
<b>Tabla 19:</b> Determinación del número de orden de reacción a una temperatura de -5°C.....	72
<b>Tabla 20:</b> Determinación del número de orden de reacción a una temperatura de -15°C.....	72
<b>Tabla 21:</b> Valores de ácido ascórbico de la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico a diferentes temperaturas de almacenamiento. ....	73
<b>Tabla 22:</b> ANOVA de ácido ascórbico a diferentes temperaturas de almacenamiento en pulpa de copoazú sin tratamiento térmico. ....	73
<b>Tabla 23:</b> Resultados de la prueba Tukey.....	73
<b>Tabla 24:</b> Valores de ácido ascórbico de la pulpa de copoazú con tratamiento térmico a diferentes temperaturas de almacenamiento. ....	74
<b>Tabla 25:</b> ANOVA de ácido ascórbico a diferentes temperaturas de almacenamiento en pulpa de copoazú con tratamiento térmico ....	74
<b>Tabla 26:</b> Resultados de la prueba Tukey.....	74
<b>Tabla 27:</b> Valores de acidez titulable de la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico a diferentes temperaturas de almacenamiento .....	75
<b>Tabla 28:</b> ANOVA de acidez titulable a diferentes temperaturas de almacenamiento en pulpa de copoazú sin tratamiento térmico. ....	75
<b>Tabla 29:</b> Resultados de la prueba Tukey.....	75
<b>Tabla 30:</b> Valores de acidez titulable de la pulpa de copoazú con tratamiento térmico a diferentes temperaturas de almacenamiento. ....	76

<b>Tabla 31:</b> ANOVA de acidez titulable a diferentes temperaturas de almacenamiento en pulpa de copoazú con tratamiento térmico. ....	76
<b>Tabla 32:</b> Resultados de la prueba Tukey. ....	76
<b>Tabla 33:</b> Valores de °Brix de la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico a diferentes temperaturas de almacenamiento. ....	77
<b>Tabla 34:</b> ANOVA de °Brix a diferentes temperaturas de almacenamiento en pulpa de copoazú sin tratamiento térmico.....	77
<b>Tabla 35:</b> Resultados de la prueba Tukey. ....	77
<b>Tabla 36:</b> Valores de °Brix de la pulpa de copoazú con tratamiento térmico a diferentes temperaturas de almacenamiento. ....	78
<b>Tabla 37:</b> ANOVA de °Brix a diferentes temperaturas de almacenamiento en pulpa de copoazú con tratamiento térmico. ....	78
<b>Tabla 38:</b> Resultados de la prueba Tukey. ....	78
<b>Tabla 39:</b> Valores de pH de la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico a diferentes temperaturas de almacenamiento. ....	79
<b>Tabla 40:</b> ANOVA de pH a diferentes temperaturas de almacenamiento en pulpa de copoazú sin tratamiento térmico.....	79
<b>Tabla 41:</b> Resultados de la prueba Tukey. ....	79
<b>Tabla 42:</b> Valores de pH de la pulpa de copoazú con tratamiento térmico a diferentes temperaturas de almacenamiento. ....	80
<b>Tabla 43:</b> ANOVA de pH a diferentes temperaturas de almacenamiento en pulpa de copoazú con tratamiento térmico .....	80
<b>Tabla 44:</b> Resultados de la prueba Tukey. ....	80

## CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Descripción del problema

Las frutas y sus derivados son elementos que en la actualidad forman parte de una dieta equilibrada en toda persona, y el incremento de su consumo está asociado a un inferior padecimiento de afecciones degenerativas (Lampe, 1999). Se reconoce que su consumo; tanto frescos como procesados en sus diversas gamas aportan dosis de vitaminas, minerales y polifenoles antioxidantes que pueden ser de fácil o mejor absorción, los cuales son favorables para nuestra salud (Vila, 2007).

El copoazú (*Theobroma grandiflorum*) es una fruta que en la actualidad ha percibido una gran trascendencia económica en la Región de Madre de Dios debido a la gran cantidad de productos que pueden obtener a partir de ella, como son: pulpa envasada, jugos, mermeladas, néctares, helados, licores, cupulate o chocoazú (pasta similar a la del cacao) y manteca (Alves et al., 2007); los mismos que poco a poco por medio de las empresas procesadoras instaladas en la región han ido ganando posición a nivel nacional; sin lugar a duda, la pulpa es el producto de mayor comercialización en su presentación de pulpa congelada. El atributo más importante encontrado en el copoazú es su contenido de Ácido ascórbico entre 25 -35 mg/100 g de pulpa (Vieira et alt., 2000).

Al ser sometido el copoazú (*Theobroma grandiflorum*) a procesos de beneficiamiento para la obtención de su pulpa es importante que tantos

sus propiedades fisicoquímicas y nutricionales se conserven, y en mayor importancia el ácido ascórbico; el cual, se ve afectado por diversos factores como el tipo de procesamiento, condiciones de almacenamiento, tipo de envasado, exposición a la luz y oxígeno, temperatura y la existencia de catalizadores metálicos, enzimas o pH (Lavarda, 2011).

El almacenamiento bajo congelación permite aumentar la estabilidad y preservación de las propiedades nutricionales, químicas y sensoriales de las pulpas de frutas, sin embargo, las acciones de enzimas pueden alterar su color y sabor (Fu & Labuza, 1997); de igual forma, bajas temperaturas pueden ocasionar pérdida del ácido ascórbico (Tavares et al., 1998).

## **1.2 Formulación del problema**

En consecuencia, a la descripción del problema se formula la siguiente pregunta: ¿en qué medida los procedimientos para la obtención de pulpa de copoazú y su almacenamiento a diferentes temperaturas afectan su contenido de ácido ascórbico?

## **1.3 Objetivos**

### **Objetivo General**

- Determinar la cinética de degradación y estabilidad del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú (*Theobroma grandiflorum*).

### **Objetivos Específicos**

- Determinar la degradación del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) con y sin tratamiento térmico a 3 diferentes temperaturas de almacenamiento.
- Determinar las constantes cinéticas de degradación del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) en función del tratamiento térmico aplicado y temperatura de almacenamiento.

- Evaluar la estabilidad de la pulpa de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) a través del monitoreo en la concentración de ácido ascórbico, pH, acidez total titulable y sólidos solubles (°Brix) durante un periodo de 80 días bajo tres temperaturas de almacenamiento.

## 1.4 Variables

### Variables Independientes

- Tratamiento térmico
- Temperatura de almacenamiento

### Variables Dependientes

- Propiedades físico químicas (Ácido ascórbico, pH, Acidez titulable, Sólidos solubles totales).

## 1.5 Operacionalización de las variables

**Cuadro 1:** Operacionalización de las variables

Variable		Definición	Dimensión	Indicadores	
Independientes	Tratamiento térmico	Método físico para la conservación de alimentos, en el cual el alimento es sometido a calor controlando el tiempo y la temperatura para posteriormente realizar el enfriamiento, esto con la finalidad de reducir la carga microbiana e inactivar enzimas.	Sin tratamiento térmico	Sin registro	
		Temperatura a la cual serán almacenadas las muestras de copoazu en condiciones normalmente usadas por la industria.	Con tratamiento térmico	T = 90°C t = 60 seg.	
	Temperaturas de almacenamiento	Temperatura	5°C -5°C -15°C		
Dependientes	Propiedades físico químicas	Á. ascórbico	Se determinará por el método volumétrico de reducción del 2, 6 diclorofenol indofenol.	Reacción de oxidación-reducción; cambio de color.	mg/100g
		pH	Se determinará por medio de un potenciómetro.	Mide el potencial de Hidrogeniones.	Escala del 0-14
		Acidez titulable	Titulación potenciométrica expresado en porcentaje de ácido cítrico.	Método se basa en determinar el volumen de NaOH estandar necesario para neutralizar el ácido contenido en la muestra.	% de ácido cítrico
		Sólidos totales	Método por el cual permite medir el porcentaje de sacarosa y sólidos solubles presentes en la muestra con un refractómetro.	Mide la refractancia de la luz a través de la muestra.	°Brix

Fuente: Elaboración propia (2019).

## 1.6 Hipótesis

**H<sub>0</sub>:** La cinética de degradación y estabilidad del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) no es influenciada por la temperatura de procesamiento y almacenamiento.

**H<sub>1</sub>:** La cinética de degradación y estabilidad del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) es influenciada por la temperatura de procesamiento y almacenamiento.

## 1.7 Justificación

El copoazú es una de las frutas tropicales más importantes en la Región Madre de Dios, con un gran potencial económico, rico en compuestos aromáticos con el cual se pueden producir jugos néctares, mermeladas, etc.; de alta calidad sensorial.

El copoazú presenta un alto contenido de pectina, comparable al de la manzana, el cual es un tipo de fibra dietética que en diversos estudios demostró tener efecto hipocolesterolemico, además de regula la tasa de glucosa en la sangre.

Debido al corto periodo de oferta del copoazú en los mercados y ferias de nuestra región y a la perecibilidad de sus frutos, se hace necesario la búsqueda de técnicas que mejor conserven el producto y su estabilidad nutricional y organoléptica.

La presente investigación es importante porque permite evaluar la estabilidad de la pulpa de copoazú frente a su contenido de ácido ascórbico, puesto que es una sustancia orgánica que en pequeñas dosis deben ser suministradas al organismo quien es incapaz de asegurar su biosíntesis, a fin de promover el crecimiento, mantener la vida y la capacidad de reproducción de animales superiores y del hombre.

## **1.8 Consideraciones éticas**

El presente trabajo de investigación se enfocó en evaluar el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre dos muestras de pulpa de copoazú con y sin tratamiento térmico y estimar su estabilidad en el tiempo; teniendo como factor limitante el contenido de ácido ascórbico.

Durante el desarrollo del presente trabajo de investigación no se realizaron pruebas con humanos, ni animales.

## CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

### 2.1. Antecedentes de estudio

**Arizaleta et al., (2015)**, caracterizaron el fruto del copoazú y determinaron el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la calidad de su pulpa. Se colectaron frutos fisiológicamente maduros y de buena apariencia. Se caracterizó el contenido de sólidos solubles totales, pH, acidez total titulable y vitamina C. La pulpa se almacenó en dos condiciones de temperatura ( $4\pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $-24\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) por 35 días. Se estudió la evolución del color de la pulpa y de los atributos químicos. La pulpa junto a las semillas permitió aprovechar un 59,74% de la masa fresca del total del fruto. La temperatura de almacenamiento únicamente afectó el valor del parámetro colorimétrico Hue de la pulpa al adquirir tonos amarillos más puros en la condición de  $-24\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Con relación a los parámetros químicos, la temperatura de almacenamiento solo influyó en el contenido de vitamina C y la acidez total titulable, las bajas temperaturas retardaron notablemente la disminución del contenido de la vitamina. Por lo que recomiendan usar temperaturas de  $-24\pm 2^{\circ}\text{C}$  para almacenamiento de la pulpa de copoazú, por un periodo de hasta 35 días.

**Vieira et al., (2000)**, evaluaron en un néctar de copoazú con 25% de pulpa y 15% de azúcar en agua la degradación térmica del ácido ascórbico y deshidroascórbico. El AA se determinó mediante HPLC y los resultados mostraron que el AA se degrada en DHAA. Un modelo de primer orden reversible describió bien los datos de degradación AA, con una energía de activación de  $74 \pm 6 \text{ kJ / mol}$  y  $k_{80^{\circ}\text{C}} = 0,032 \pm 0,003 \text{ min}^{-1}$ . El comportamiento cinético de DHAA sugirió una reacción consecutiva de primer orden en la que

DHAA era la producción intermedia de degradación de AA. Se derivó un modelo mecanístico para predecir la concentración de DHAA. Las constantes de velocidad se reemplazaron por la ecuación de Arrhenius en el modelo para evaluar la dependencia de la temperatura y se usaron los parámetros cinéticos para la degradación de AA, previamente determinados. Se estimó una energía de activación de  $65 \pm 9 \text{ kJ / mol}$  y una  $k_{80^\circ\text{C}}$  de  $0,013 \pm 0,003 \text{ min}^{-1}$ .

**Galvis, (2003)**, estudió la estabilidad de la pulpa de dos variedades de mora (Castilla y San Andrés) mediante la cinética de su fermentación bajo condiciones de refrigeración y congelación, realizando el monitoreo de pH, acidez, °Brix, vitamina C y contenido de etanol. Los resultados obtenidos muestran que la cinética de fermentación en la pulpa de mora corresponde a la de orden uno, siendo la muestra de pulpa variedad Castilla sin aplicación de tratamiento térmico y almacenada a  $4^\circ\text{C}$  la que presenta mejor correlación de 0,9956; y las muestras tratadas térmicamente y conservadas durante 40 días la de menor contenido de vitamina C; al igual que los °Brix disminuyeron en el almacenamiento en las muestras tratadas térmicamente y conservadas a  $4^\circ\text{C}$ .

**Yamashita et al. (2003)**, analizaron la estabilidad de la vitamina C en pulpa pasteurizada de acerola en estado natural y congeladas, ambas almacenadas a  $-12^\circ\text{C}$  y  $-18^\circ\text{C}$ , y un jugo de acerola pasteurizado embotellado, manteniendo la temperatura ambiente, durante 4 meses de almacenamiento. Las pulpas congeladas no presentaron degradación significativa durante este periodo, sin embargo, las fruta en estado natural presentaron una cinética de degradación de 1° orden y el jugo, de orden cero. Después de 4 meses de almacenamiento las acerolas almacenadas a  $-12^\circ\text{C}$  y  $-18^\circ\text{C}$  presentaron valores de  $869 \pm 12$  y  $1,223 \pm 148 \text{ mg vit C/100g}$ , representando una pérdida de 43% y 19%, respectivamente, en relación al valor inicial. Pulpas a  $-12^\circ\text{C}$  y  $-18^\circ\text{C}$  presentaron valores de  $1,314 \pm 6$  y  $1,322 \pm 2 \text{ mg vit C/100g}$ , respectivamente, representando una pérdida de

aproximadamente 3% y el jugo presentó una pérdida de 32%, correspondiendo a un valor final de  $673 \pm 17$  mg vit C/100g.

**Ordóñez et al., (2013)**, analizaron la cinética del deterioro térmico de la vitamina C en láminas de guayaba de 0,53 cm de grosor x 6,10 cm diámetro, los que fueron tratados térmicamente (75,85 y 95°C durante 20, 30 y 40 minutos) a presión atmosférica, el contenido de ácido ascórbico se cuantificó por el método de valoración con 2,6 Diclorofenol indofenol. Se determinó que el contenido de vitamina C en las láminas de guayaba disminuyeron entre 56,70 – 60%, y su velocidad de deterioro y energía de activación fueron:  $k = 0,80 - 1,45 \text{ min}^{-1}$ . ( $R^2 > 0,90$ ), y  $E_a = 7,57 \text{ Kcal/mol}$ , respectivamente. Los parámetros cinéticos en esta investigación se ajustan a la ecuación de Arrhenius y de orden uno; la reducción de vitamina C se incrementa conforme aumenta la temperatura y el tiempo.

## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1. Generalidades del Copoazú (*Theobroma grandiflorum*)

El árbol de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) se distribuye en las selvas tropicales de Brasil, Colombia, Perú, Ecuador, Guyana Francesa, Guyana, Surinam y Costa Rica (Yang et al., 2003); pertenece a la familia de las Sterculiaceae y al género *Theobroma*, el cual comprende 22 especies. Una de las especies de *Theobromas* más conocidos es el *Theobroma cacao*, de gran importancia económica por el sabor de sus semillas fermentadas y beneficiadas (Gondim et al., 2001).

Un copoazú silvestre puede alcanzar una altura de hasta 20m y 45 cm de diámetro, medidos desde el tallo hasta la altura del pecho. Mientras que uno cultivado su altura oscila entre los 5 a 8 m, y su dosel logra alcanzar los 7 m de diámetro. Generalmente el árbol de copoazú florece dos a tres veces al año posterior a su siembra. El fruto del copoazú alcanza una maduración entre 120 a 135 días, después de la floración, ocurriendo generalmente en las temporadas de lluvia (Gondim et al., 2001).

### 2.2.2. Taxonomía del Copoazú

El copoazú en una primera identificación perteneció a la familia Esterculiaceae, posteriormente se clasificó dentro de la familia Malvaceae (Alverson et al., 1999)

**División:** Fanerógamas.

**Clase:** Angiospermae.

**Orden:** Malvales.

**Familia:** Malvaceae.

**Género:** Theobroma

**Especie:** *T. grandiflorum* (Alverson  
al. 1999)

### 2.2.3. Características del Copoazú

El copoazú presenta una forma ovalada, con los extremos arredondeadas, con un diámetro de 10 a 12 cm, logra pesar entre 500 a 4500 g. Las semillas se encuentran superpuestas en 5 hileras verticales, siendo cada semilla envuelta por una capa de pulpa delicadamente fibrosa blanca amarilla, de sabor acidulado y olor característico agradable (Cavalcante, 1991).

El rendimiento de los frutos, así como la en la mayoría de otras frutas, es variable de acuerdo con el tamaño, la procedencia, el periodo de cosecha o el método de extracción. Los frutos logran pesar en promedio 1,275 kg, del cual 43,4% es cascara, 38,5% pulpa, 17,9% semillas y 2,85% placenta (Venturieri, 1993).



**Figura 1:** Árbol de copoazú (*Theobroma grandiflorum*)  
Fuente: elaboración propia (2019)



**Figura 2:** Copoazú (*Theobroma grandiflorum*)  
Fuente: elaboración propia (2019)

El fruto del copoazú presenta una coloración marrón, polvoriento y forma alargada. La cáscara es dura, presentando un espesor de 1 a 3 cm, presenta un cubierta de polvo marrón, puede contener entre 20 a 50 semillas y que son envueltas por una pulpa mucilaginosa (Franco y Shibamoto, 2000).

Según Melgarejo et al. (2006), las variedades cultivables son las siguientes:

- Redondo: Apariencia redonda con un peso aproximado de 1,5 kg y de tamaño mediano.
- Mamorana. Fruto de forma alargada y terminación en punta, pesa entre 2,5 a 4 kg.
- Mamau. No presenta semilla y puede pesar en emdia 2,3 kg con un rendimiento en pulpa del 67%.

Durante la maduración, los frutos caen sin el pedúnculo, ocasión en que genera el olor característico, lo que indica su perfecta maduración. Sus semillas contienen 48% de manteca blanca aromática que puede ser utilizada en la fabricación de chocolate (Cavalcante, 1991).

#### **2.2.4. Composición del fruto**

El copoazú es una fruta ácida, de sabor exótico y agradable, rico en compuestos volátiles y sales minerales. Además de eso, el copoazú presenta alto contenido de pectina, comparable al de la manzana, fibra dietética soluble que, según algunos trabajos, han demostrado reducción de los niveles séricos de colesterol y triglicéridos en ratas y humanos (Fietz & Salgado, 1999; Arjmandi et al. (1992).

Martin (2013) en su estudio sobre el secado de pulpa de copoazú por atomización, caracterizó la pulpa de copoazú en la etapa inicial a su

investigación; obteniendo los siguientes valores físico químicos de la pulpa in natura, mostrados en la siguiente Tabla 1.

**Tabla 1:** Caracterización físico química de la pulpa de copoazú de acuerdo con estudios hechos por Martin (2013)

<b>Componente</b>	<b>Copoazú in natura</b>
Humedad (%)	83,80±0,41
Proteína (%)	7,42±0,28
Grasa (%)	2,92±0,05
Ceniza (%)	4,66±0,00
Fibras (%)	3,43±1,43
Azúcares totales (%)	5,48±0,73
Azúcares reductores (%)	2,22±0,14
Actividad de agua (a 25°C)	0,94
Sólidos solubles totales (°Brix)	18,59
Acidez Titulable Total (%)	2,81±0,09
Ácido ascórbico (mg/100g)	56,16±1,15
pH	3,72±0,04

**Fuente:** Adaptado de Martin (2013).

En otro estudio, Rofez et al., (2004) compararon la composición química de tres frutas típicas amazónicas: arazá, bacuri y copoazú. Según los resultados, las tres frutas mostraron ser buenas fuentes de sales minerales. El copoazú, particularmente, presentó buenas cantidades de potasio, importante en el control del balance de sales en los tejidos humanos y fosforo. Los resultados de los análisis para el copoazú están representados en la siguiente Tabla 3.

**Tabla 2:** Contenido de sales minerales en pulpa de copoazú mg/100g base húmeda).

<b>Sales minerales</b>	<b>Pulpa de copoazú</b>
Na	2,56 (+/- 0,20)
K	34,27 (+/-4,27)
Ca	5,57 (+/-0,85)
Mg	13,07 (+/-1,94)
P	15,73 (+/- 0,48)
Fe	0,432 (+/- 0,024)
Zn	0,532 (+/- 0,024)
Cu	0,258 (+/- 0,059)
Mn	0,21 (+/- 0,048)

**Fuente:** Rofez et al. (2004)

### 2.2.5. Compuestos volátiles del copoazú

Velho et al., (1991), estudiaron los compuestos responsables por el aroma de la pulpa fresca y semillas del copoazú a través de cromatografía gaseosa con espectrofotometría de masa. Según los autores, los compuestos volátiles más abundantes presentes en la pulpa fueron los ácidos 9-octadecanoico, hexadecanoico y pirazina, siendo encontrados también en las semillas.

Según Rogez et al.,(2004), los principales compuestos volátiles relacionados al aroma floral del copoazú son linalol, -terpinol, 2-feniletanol, mirceno y linoleno. En relación al aroma exótico del copoazú, los autores sugieren que están relacionados los dos y el metoxi-2,5-dimetil-3(2H)-furano.

### 2.2.6. Copoazú: productos y mercado

La importancia económica del copoazú está asociada principalmente a su pulpa y semillas. La pulpa presenta un agradable aroma y sabor del que se preparan jugos, refrescos, helados, dulces, compotas, licores, yogures, concentrados, pulpas deshidratadas y aromatizantes (Velho et al., 1990). El copoazú, por presentar alto contenido de pectina y por ser naturalmente ácido favorece la producción de néctar, dulces y jaleas (Cavalcante, 1991).

Las semillas son utilizadas para la obtención de *copulate*, producto con características organolépticas y nutritivas similares a las del cacao, también se puede obtener manteca (Velho et al., 1990)

Actualmente el proceso de obtención de pulpa constituye un gran obstáculo para la comercialización en el mercado interno y externo, puesto que en su gran mayoría esta labor se realiza manualmente sin guardar las mínimas consideraciones de higiene, salvo algunas industrias que cuentan con equipos que minimizan el riesgo de contaminación cruzada en el producto final.

### 2.2.7. Pulpa congelada

La inmensa cantidad de frutas tropicales con aromas y sabores peculiares y la preferencia por alimentos procesados que conserven sus características sensoriales y nutricionales ha contribuido en el incremento del consumo de estas frutas y sus derivados. Las pulpas de frutas son productos para el consumo directo o insumo en las industrias de jugos, refrescos, jaleas, néctares, helados, yogures, productos de confitería, entre otros (Balischi, 2002).

El congelamiento de la pulpa de fruta se tornó una opción viable para evitar las pérdidas de producción, pues preserva las características originales de la fruta fresca posibilitando, inclusive, su comercialización en los periodos de entre cosecha. Además de esto, algunos frutos, como el copoazú son bastante perecibles, siendo prácticamente inviable su transporte *in natura* para largas distancias.

Actualmente el copoazú es encontrado en el mercado regional y nacional, principalmente en forma de pulpa congelada.

En nuestro país aún no existe un padrón que estandarice las características y composición mínima de la pulpa o puré de copoazú; sin embargo, Brasil ha avanzado en su legislación contemplando los siguientes requerimientos (BRASIL, 2000):

- Color: blanco o blanco amarillo.
- Sabor: levemente ácido.
- Aroma: propio, característico del copoazú.
- Sólidos solubles en °Brix, a 20°C: mínimo de 9°Brix.
- pH: mínimo de 2,60.
- Acidez total expresada en % de ácido cítrico: mínimo de 1,5 g/100 g.

- Ácido ascórbico: mínimo de 18 mg/100 g.
- Azúcares totales naturales del copoazú: mínimo de 6,0 g/100 g.
- Sólidos totales: mínimo de 12 g/100 g.

#### **2.2.8. El copoazú como alimento funcional**

Una gran diversidad de productos derivados de frutos y una permanente inserción de nuevos alimentos procesados al mercado de consumo, no son en su mayoría debidamente investigados con respecto a sus propiedades y actividades benéficas a la salud. La pulpa de copoazú y sus derivados, han despertado interés científico debido a sus compuestos bioactivos (Kuskoski et al., 2006; Porte et al., 2010 ; Santos et al., 2010; Sousa et al., 2011). El copoazú es un alimento funcional debido a los valores de vitamina C, carotenoides, capacidad antioxidante y compuestos fenólicos (Santos et al., 2010).

El fruto del copoazú, además de contener nutrientes esenciales y de micronutrientes como minerales, fibras y vitaminas, también posee compuestos secundarios de naturaleza fenólica, como los polifenoles (Harbone & Willians, 2000). El interés de la industria de alimentos para comercialización es, además de atender los padrones exigidos por la legislación vigente, que estas posean propiedades que mejoren su funcionalidad, así como el aumento en los compuestos bioactivos, siendo muchas de ellas antioxidantes. Los antioxidantes son compuestos que actúan inhibiendo el/o disminuyendo los efectos desencadenados por los radicales libres (Soares et al., 2001), pudiendo ser establecidos como compuestos que protegen las células contra los efectos dañinos de los radicales libres oxigenados y nitrogenados, formados por procesos oxidativos. Los radicales libres en exceso generan un desequilibrio, dando inicio al estrés oxidativo, proceso metabólico responsable por el desencadenamiento de diversos tipos de dolencias crónico-degenerativas.

### 2.2.9. Ácido ascórbico

El ácido ascórbico es un nutriente de gran importancia, necesario para la síntesis de colágeno. Su deficiencia puede provocar escorbuto y es uno de los antioxidantes naturales utilizados para evitar el pardeamiento, decoloración y prolongar la vida útil durante la elaboración de alimentos procesados (Athmaselvi, Kumar y Poojitha, 2016).

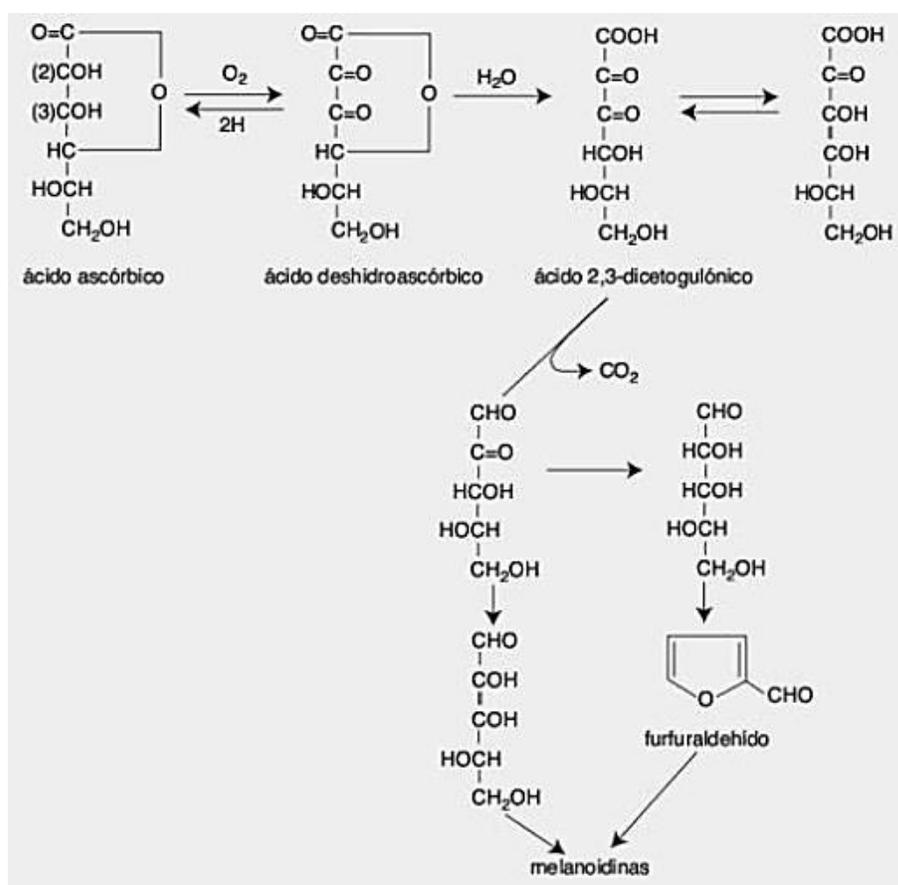
El ácido ascórbico existe de dos formas fácilmente reversible mediante reducción u oxidación química, su forma reducida es el ácido L ascórbico y su forma oxidada el ácido L deshidroascórbico. Su deficiencia causa debilidad ósea, mala cicatrización, pérdida de dientes y encías sangrantes. La mayoría de las plantas y diversos animales pueden sintetizar el ácido ascórbico, mientras que los mamíferos perdieron esta capacidad. Una ingesta diaria en adultos es de 60 mg/día (Zeece, 2020).

El ácido ascórbico participa en las reacciones REDOX como antioxidante, eliminando los radicales libres en las células. Otra de las funciones del ácido ascórbico es suministrar lípidos, proteínas y ácidos nucleicos (ADN y ARN); mejora la absorción de hierro en el intestino, apoya en normal funcionamiento del sistema inmune mediante la producción de glóbulos blancos; así como promotor de la salud en la prevención de enfermedades coronarias (CHD), reduciendo el riesgo de ataques cardiacos. Se considera que el ácido ascórbico protege mediante un capa endotelial las células que internar de los vasos sanguíneos (Erdman et al., 2012; citado por Zeece, 2020).

El ácido ascórbico es sensible a la oxidación, lo que resulta en su destrucción. Esta acción indeseable se debe a distintos factores como, luz solar, calor, oxígeno y presencia de iones metálicos. La oxidación de grupos hidroxilo en ácido L-ascórbico modifica la molécula en ácido deshidroascórbico. Felizmente, la reversión al ácido L-ascórbico ocurre en presencia de un agente reductor, mientras que la degradación irreversible

se da cuando el ácido deshidroascórbico es oxidado ácido dicetogluónico, el cual carece de actividad vitamínica. Los alimentos como frutas o vegetales, liberan ácido ascórbico oxidasa cuando son cortados o triturados, encima que inactiva e oxida a esta vitamina. El ácido ascórbico en presencia de iones de cobre, hierro y/o pH alcalino, acelera su oxidación (Zeece, 2020).

El uso del ácido ascórbico en combinación con ácido cítrico y ácido D ascórbico controla el pardeamiento enzimático de las verduras y frutas al ser cortadas; así mismo pueden controlar la reacción de oxidación en lípidos, y en embutidos conservar el color y evitar sabores desagradables (Zeece, 2020).



**Figura 3:** Degradación del ácido ascórbico.

Fuente: Badui (2013).

En la Figura 3 se muestra el efecto del oxígeno en la degradación del ácido ascórbico, esta destrucción se da térmicamente por vía anaeróbica no oxidativa y que su oscurecimiento es acompañado por el desarrollo de furfural (Badui, 2013).

## 2.2.10. Cinética de degradación del ácido ascórbico

### Cinética química

Alvarado, (2013) indica que la cinética química estudia la velocidad con la que se dan estas reacciones, sus factores y mecanismos que la afectan. Generalmente relacionado con el cambio en concentración “C” con respecto al tiempo “t” ( $dc = dt$ ) y su dependencia en la concentración del reactivo, temperatura, catalizadores y condiciones ambientales. Los cambios que se manifiestan en los alimentos a nivel superficial y físico son producto de estas diversas reacciones.

### Reacción de orden cero

Estas reacciones son bastante frecuentes para los cambios presentados en los alimentos, particularmente cuando la cantidad de producto formado es solo una fracción de la cantidad de precursores presentes; esto se puede explicar a que el reactivo se encuentra excesivamente y que su concentración permanece constante durante la etapa de observación, por lo que la velocidad se mantiene independiente de la concentración. Ejemplo de estas reacciones de orden cero son la aparición de color marrón en alimentos por la reacción Maillard (Martinus van Boeke, 2009).

La ecuación se representa de la siguiente manera para  $n = 0$ :

$$C = C_0 - k.t$$

Donde:  $k$  = constante cinética,  $T$  = temperatura,  $C_0$  y  $C$  = concentración inicial y final.

### Reacción de primer orden

Gran parte del deterioro en los alimentos obedece a una cinética de primer orden, entre ellas la pérdida de vitaminas en alimentos en conservas y deshidratados, deterioro de calidad en proteínas de origen vegetal, rancidez en aceites, entre otros. La velocidad de esta reacción es en igual proporción a la primera potencia de la concentración del reaccionante (Alvarado, 2013) y se expresa en la siguiente ecuación ( $n = 1$ ):

$$\frac{-d[C]}{dt} = k[C]$$

Donde:  $k$  = constante cinética,  $T$  = temperatura,  $C_0$  y  $C$  = concentración inicial y final.

### Reacción de Segundo Orden

Martinus van Boekel, (2009) las reacciones de segundo orden no se reportan con regularidad en la literatura correspondiente a la ciencia de alimentos, aunque se esperaría debido a las muchas reacciones de naturaleza biomolecular. Las reacciones de segundo orden reportadas, se dan cuando existen cambios en los aminoácidos relacionados en la reacción de Maillard. La ecuación de segundo orden se expresa en la siguiente ecuación ( $n = 2$ ).

$$\frac{d[C]}{dt} = -k[C]^2$$

$$\frac{1}{[C]} = \frac{1}{[C]_0} + k \cdot T$$

Donde:  $n$  = orden de reacción,  $k$  = constante cinética,  $T$  = temperatura,  $C_0$  y  $C$  = concentración inicial y final.

### 2.3. Definición de términos

**Ácido ascórbico.** El ácido ascórbico es uno de los compuestos más termolábiles y sensibles en condiciones adversas de manipulación, procesamiento y almacenamiento; su nivel de degradación es utilizado como indicador de calidad y para estimar la vida en anaquel en jugos y pulpas de frutas.

**°Brix.** Escala de medición utilizada para expresar el porcentaje masa/masa de sólidos solubles contenidos en una solución, como masa/masa.

**Acidez titulable.** Permite medir la concentración de ácido total contenido en un alimento, esta cantidad se determina a través de una valoración exhaustiva de los ácidos intrínsecos con una base estándar. La acidez titulable es el mejor predictor del impacto en el sabor de un alimento (Sadler y Murphy, 2010).

**pH.** Es una abreviatura matemática que expresa el potencial de hidrógeno iónico (alcalinidad, neutral y acidez) en un alimento generalmente líquido.

**Degradación de vitaminas.** La degradación de vitaminas conduce a una disminución en el valor nutricional del alimento, esta degradación puede deberse a diversos mecanismos como hidrólisis, exposición a luz, calor, ácido, oxidación por  $O_2$ .

**2,6 Diclorofenol indofenol.** Es una sal sódica utilizado ampliamente para valorar el ácido ascórbico mediante titulación. El tinte indicador es originalmente de color azul y cuando se reduce pasa a un color rosado tenue hasta desaparecer debido a su estructura quinoidal.

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

### 3.1. Tipo de estudio

El presente trabajo de investigación es de tipo experimental, el cual se llevó a cabo en los ambientes de la Planta Piloto de Frutas y en el laboratorio de Procesos Agroindustriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios de la ciudad de Puerto Maldonado.

### 3.2. Diseño del estudio

El diseño de estudio experimental adoptado fue un DCA (Diseño Completamente al Azar), con un intervalo de confianza del 95% ( $p < 0,05$ ), realizando el análisis de varianza y las pruebas de comparación de Tukey a los tratamientos.

### 3.3. Población y muestra

#### Población

La población está constituida por 100 kg de frutos de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) fisiológicamente maduros, de los cuales se espera obtener un rendimiento promedio del 38% de pulpa.

#### Muestra

La cantidad de muestra a utilizar está constituida por 10 kg de pulpa de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) distribuidos en bolsas de polietileno de alta densidad con 100 g. de pulpa necesarios para realizar los análisis físico químicos.

### 3.4.1 Materiales

#### **Materia Prima**

Copoazú (*Theobroma grandiflorum*), fruta de forma elipsoide con extremos arredondados procedentes de la zona de Bajo Madre de Dios km 9 margen izquierdo (Latitud -12.576444 y Longitud -69.096155), perteneciente a la localidad de El Triunfo, distrito Las Piedras, provincia de Tambopata, Madre de Dios.

#### **Materiales de acondicionamiento**

- Jabas fruteras.
- Tinas plásticas (capacidad 80 litros)
- Balanza digital Marca Coretto EP100 (capacidad de 100 kg  $\pm$ 10g)
- Cucharones de acero inoxidable
- Bolsas de alta densidad con aditivo EVA (capacidad 200g)

#### **Materiales de laboratorio**

- Buretas 50 ml.
- Soporte universal.
- Pipetas 5, 10 ml.
- Pera de succión.
- Vaso de precipitados 20, 50 ,100 ml.
- Probeta 50 ml.
- Baguetas
- Matraz Erlenmeyer 50 ,100 ml.
- Fiolas 25 ,50 ,100, 250, 1000 ml.
- Embudos de vidrio 75 ,90 mm.
- Cucharilla.
- Picetas 0,25 y 1 L.
- Hisopos
- Papel filtro Whatman N°4

## Equipos

- Pulpeadora de 2HP, marca "A&C Ingenieros".
- Refractómetro digital Marca H.W.Kassel modelo NR151
- pH-metro marca HANNA modelo HI 98183.
- Plancha de calentamiento marca Thermo Scientific HP88854105
- Balanza analítica marca SARTORIUS.
- Refrigeradora Marca COLDEX modelo RGP 354.
- Congeladora Marca Friolux modelo EC 420
- Licuadora marca OSTER modelo 4655-053.
- Selladora de bolsa marca SAMWIN, modelo SF300S.

## Reactivos

- 2,6 Diclorofenol Indofenol (DCFI) P.A. (Sal sódica) MP(U.S.A.) Mod. 150118.
- Ácido Oxálico Q.P.
- Ácido Ascórbico (Vitamina C)
- Bicarbonato de Sodio Q.P.
- Hidróxido de Sodio (O.1 N)
- Agua destilada
- Fenolftaleína

### 3.4.2 Métodos

#### **Determinación de Ácido ascórbico.**

Para la determinación del contenido de Ácido ascórbico se utilizó el método estándar de la AOAC modificado por BENASSI & ANTUNES, (1988) basada en que el ácido ascórbico reduce el indicador DCFI, a una solución incolora, la cual, al llegar al punto final de titulación, se torna en un color rosa pálido en medio ácido.

Solución de Acido oxálico al 2%: Se debe guardar en envase de vidrio oscuro en refrigeración para su conservación.

Solución 2,6-diclorofenol indofenol al 0,01%: Debe ser almacenada en envase de vidrio oscuro y en refrigeración. Pesar en balanza analítica 100 mg de DCFI e 210 mg de bicarbonato de sodio, Diluir en 50 ml de agua destilada caliente el DCFI y completar en balón volumétrico de 1 litro, juntamente con el bicarbonato de sodio. Estandarizar con solución estándar de ácido ascórbico.

Ácido ascórbico: Se prepara una solución más concentrada y de esta se toma un alícuota y prepara la solución. Para la solución patrón o estándar se pesa exactamente 125 mg de ácido ascórbico en balanza analítica, diluir con ácido oxálico en balón volumétrico de 50 ml.

Estandarización de la solución DCFI: tomar 1 ml de solución estándar de ácido ascórbico, completar el volumen en un balón de 25 ml con ácido oxálico 2%, tomar un alícuota de 10 ml y titular con solución estándar DCFI (duplicado).

Procedimiento: pesar 25 g de muestra, mezclar con 50 g de solución de ácido oxálico, del extracto obtenido retirar un alícuota de 10 g, diluir a 50 ml en balón volumétrico y filtrar. Retirar un alícuota de 10 ml de la solución y titular con DCFI (punto de viraje-aparecimiento color rosa). El contenido de ácido ascórbico de las muestras se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\frac{mg AA}{100g} = \frac{V.DCFI}{V.DCFI \text{ estandar (ml)}} \times \frac{100 g}{m.muestra (25 g)} \times \frac{m.solvente + muestra tratada (g)}{m.alicuota (10g)} \times \frac{V.balon (50ml)}{V.alicuota (ml)}$$

Donde:

V. DCFI = Volumen del 2, 6 Diclorofenol indofenol

m = Masa

V. balón = Volumen del balón

V. alícuota = Volumen del alícuota

**Acidez (%)**

Se realiza mediante la titulación de la muestra con NaOH 0.1 N y fenolftaleína como indicador, los resultados se expresan en porcentaje de ácido cítrico con peso equivalente a 64.04. AOAC 942.15 (2005).

**Sólidos solubles (°Brix)**

Se determinó mediante refractómetro digital a una temperatura de 20°C. AOAC 931.12 (2005).

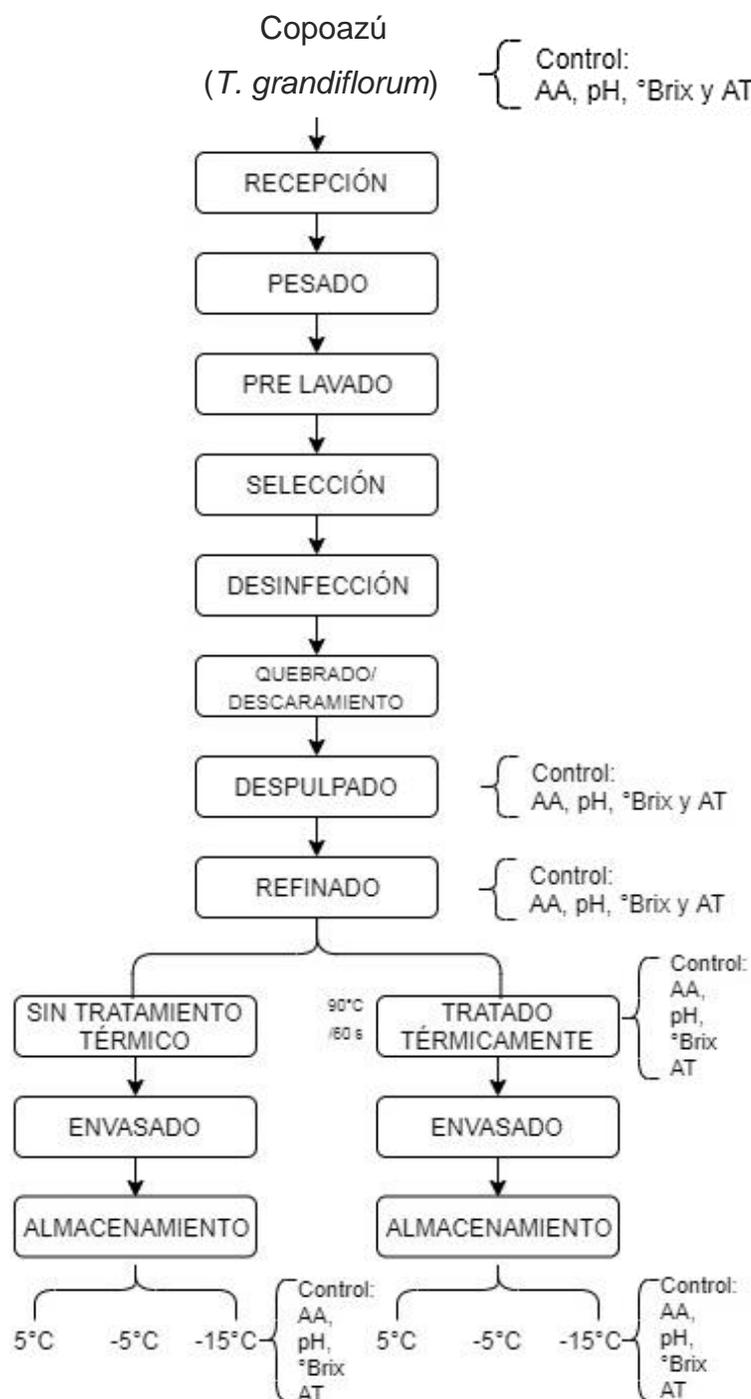
**Determinación de pH**

Se determinó mediante la valoración potenciométrica con un pH-metro. AOAC 981.12 (2005)

**3.4.3 Metodología experimental**

La metodología consistió en evaluar el contenido de ácido ascórbico en la pulpa de copoazú en cada etapa de los procesos normalmente utilizados para su obtención, con y sin tratamiento térmico y su almacenamiento a 3 temperaturas durante 80 días; luego se determinaron los parámetros cinéticos de la degradación del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú.

a. Descripción del flujo de proceso de obtención de pulpa de copoazú.



**Figura 4:** Diagrama de flujo del proceso de obtención de pulpa de copoazú y tratamiento.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

**Materia prima**

Los frutos de copoazú fueron colectados totalmente maduros fisiológicamente. Estos son trasladados a la Planta Piloto de Frutas de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

**Recepción**

Se verificó superficialmente la materia prima, separando los que presentes rajaduras o deterioro.

**Pesado**

Se efectuó el pesado de los frutos para determinar rendimiento.

**Lavado**

Se eliminó las partículas que se encuentran en la superficie del fruto como tierra, polvo y/o partículas extrañas. Esto se realiza con agua potable y una escobilla de cerdas plásticas.

**Selección**

Se verificó que el estado de los frutos reúna las características establecidas, se eliminan los frutos que aun presentan daños o inadecuados para el procesamiento, los que pudieron no ser verificados durante su recepción.

**Desinfección**

Se realizó con una solución de agua clorado  $100 \text{ mg.L}^{-1}$  por inmersión durante 5 minutos para inactivar la carga microbiana presente en el fruto.

**Quebrado/descascarado**

Se extrajo la pulpa junto a la semilla del fruto mediante un martillo de goma, el cual fracciona la cáscara permitiendo su remoción; así mismo se va separando las fibras, para luego llevarlo a la despulpadora.

### **Despulpado**

Se realizó en una despulpadora con una malla de orificio de 2,9 mm de diámetro, esta operación nos permite separar las semillas y fibras que aun pudiesen permanecer junto a la pulpa.

### **Refinado**

Una vez obtenida la pulpa de copoazú, se sometió a refinamiento en licuadora comercial durante 3 minutos para obtener un producto homogéneo.

### **Pasteurizado**

Obtenida la pulpa refinada de copoazú, esta es dividida en dos grupos: un grupo sin tratamiento térmico; y el otro sometido a pasteurización. La pulpa es pasteurizada a 90°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ) durante 60 segundos para inactivar la acción enzimática de la pulpa.

### **Envasado**

El envasado se realizó en bolsas de alta densidad con aditivo EVA (resistente a bajas temperaturas) en cantidades de 100 g.

### **Almacenamiento**

Los grupos de muestras fueron almacenados a tres temperaturas (5°C, -5°C y -15°C) por un periodo de 80 días

#### **b. Parámetros cinéticos de degradación del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú.**

Para obtener los valores de los parámetros cinéticos en la pulpa de copoazú se utilizó el método gráfico.

### **Determinación de la constante de velocidad de reacción de degradación (K)**

La constante de velocidad K se halló por cada tratamiento a través del valor de la pendiente mediante regresión lineal del logaritmo de la concentración del AA en función del tiempo.

$$\text{Log}C = \text{Log}C_0 - \frac{K}{2,303} * t$$

### **Determinación de la Energía de Activación (Ea)**

Para hallar la Ea, se evaluó el efecto de la temperatura sobre la constante de velocidad de reacción (K) en relación del inverso de la temperatura absoluta correspondiente, para posterior utilizar regresión lineal.

$$\text{Log}K = \text{Log}K_0 - \frac{Ea}{2,303R} * \frac{1}{T}$$

## **3.4. Tratamientos de los datos**

Para el análisis estadístico se efectuará un diseño estadístico completamente al azar (DCA) para la muestra con y sin tratamiento térmicamente a las mismas condiciones. Los resultados son analizados mediante un ANOVA para comparar las medias con nivel de confianza del 95%.

Para el análisis del presente estudio se utilizó el software Microsoft Excel y InfoStat/E versión estudiante.

Materia prima	Tratamiento térmico	Temperatura de almacenamiento	Observaciones
Copoazú (pulpa)	Con tratamiento térmico (90°C/60 s)	5°C	0
		-5°C	20 días
		-15°C	40 días 60 días 80 días
	Sin tratamiento térmico	5°C	0
		-5°C	20 días
		-15°C	40 días 60 días 80 días

**Cuadro 2:** Diseño experimental de la investigación.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACION

### 4.1 Obtención de pulpa de copoazú

El rendimiento de pulpa de copoazú obtenido en la investigación es de 26,3%, este valor es inferior a lo reportado por Venturieri (1993) quien reporta un rendimiento de 38,5% y Arizaleta et al., (2015) con 32,79% en masa fresca. Es importante recalcar que en el presente estudio se consideró el porcentaje de la placenta por separado, la cual representa un 6,53%. Si consideramos esta proporción, el valor obtenido representa un 32,83%, el cual es próximo a lo reportado por los investigadores antes mencionados.

**Tabla 3:** Rendimiento de copoazú.

Producto	Rendimiento (%)
Cáscara	49,43
Semilla	17,71
Pulpa	26,33
Placenta	6,53

Fuente: Elaboración propia (2019).

#### 4.1.1 Evaluación físico química de la pulpa de copoazú

En la etapa inicial de esta investigación fue realizada la caracterización de la pulpa de copoazú in natura, los que se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 4:** Análisis fisicoquímico de la pulpa de copoazú.

<b>Características Fisicoquímicas</b>	<b>Valor</b>
Sólidos solubles (°Brix )	11,33
pH	3,18
Acidez Titulable (exp. en % Ác. Cítrico)	2,27
Ácido Ascórbico (mg/100 g)	58,22

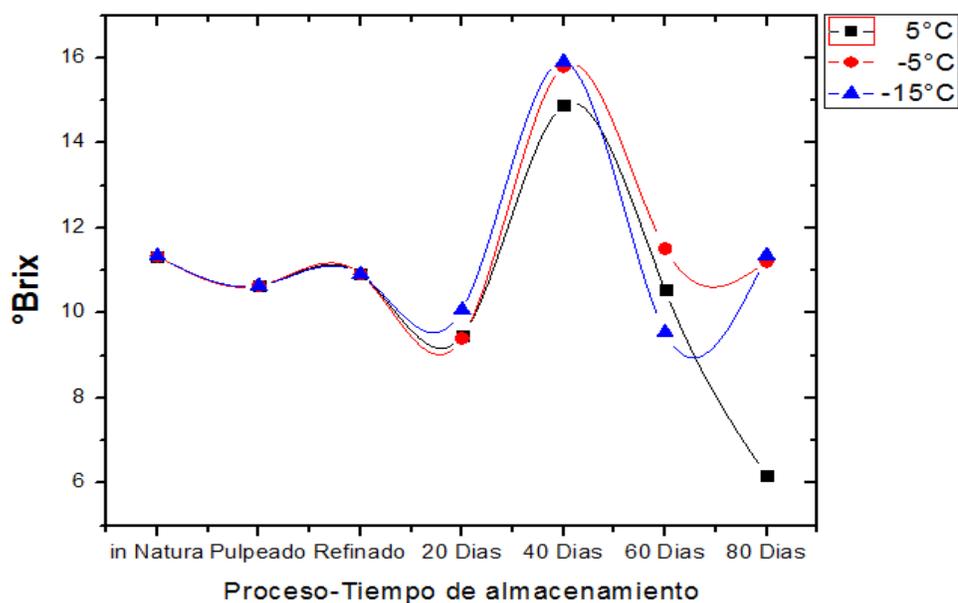
**Fuente:** Elaboración propia (2019).

En la Tabla 4 se puede apreciar que la pulpa de copoazú (*Theobroma gradiflorum*) es un producto con un alto contenido de ácido ascórbico (58,22 mg/100g), este resultado se asemeja a lo reportado por Martin (2013), quien en su estudio encontró 56,16 mg ácido ascórbico/100 g. de muestra. De la misma manera el valor de sólidos solubles obtenidos experimentalmente se encuentra por debajo de lo reportado por Martin (2013) (18,59 °Brix), pero estos se encuentran dentro del rango reportado por Villachica (1996), INIAP (2008) mencionado por Pérez (2015) con 10,80 y 11,17 °Brix; el valor de pH obtenido experimentalmente (3,18) se encuentra dentro del rango obtenido por los autores mencionados antes y el valor obtenido experimentalmente de la acidez titulable (2,27 % ácido cítrico) se encuentra en similar rango según lo mencionado por Pérez (2015) y Martin (2013).

## **4.2 Evaluación del efecto del proceso productivo y almacenamiento en las características fisicoquímicas.**

### **4.2.1 Sólidos solubles (°Brix)**

En las Figuras 5 y 6 se graficó el comportamiento de la variable °Brix de la muestra sin tratamiento térmico y la tratada térmicamente durante su almacenamiento a diferentes temperaturas.

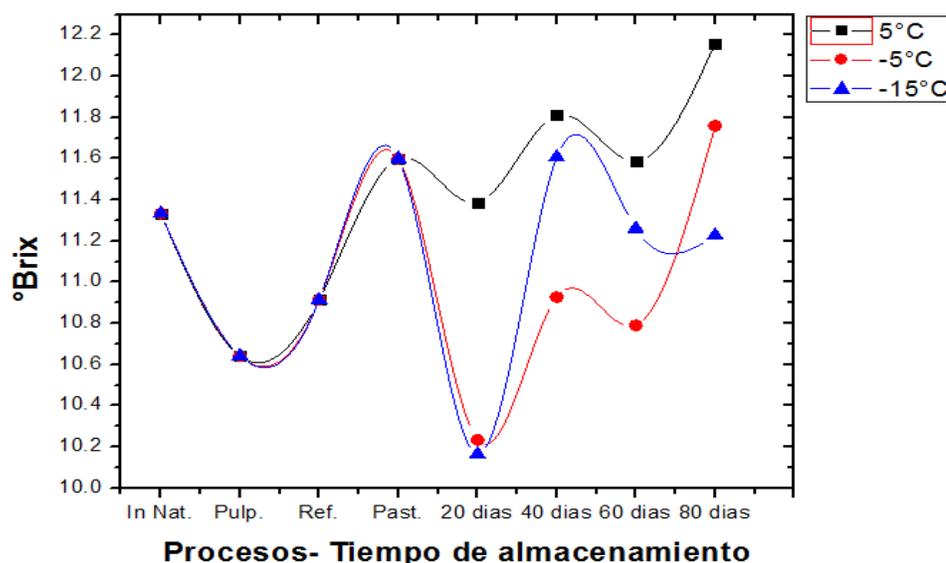


**Figura 5:** Comportamiento de °Brix en la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico durante el procesado y almacenamiento.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

En la Figura 5 se aprecia como los procesos de pulpeado y refinado influyen mínimamente en el contenido de °Brix, con una pérdida 0,69 °Brix en el proceso de pulpeado (10,64 °Brix) y un ligero aumento de 0,27 °Brix durante la etapa de refinado en referencia a la etapa anterior, según Castellano et al., (2016), a medida que la temperatura se incrementa, la concentración de °Brix se incrementa, esta concentración de azúcares se da por efectos de la degradación de los polisacáridos de las membranas celulares. También se aprecia en la Figura 5 que al cabo de 40 días de almacenamiento de las muestras de pulpa de copoazú sin tratamiento térmico, el valor de los sólidos solubles aumenta a 14,89; 15,80 y 15,91 °Brix en las diferentes temperaturas de almacenamiento (5°C, -5°C y -15°C respectivamente) y posteriormente se mantiene estable a partir del día 60, manteniéndose en un rango de 9,5 a 11,5 °Brix para las muestras almacenadas a -5°C y -15°C.

Mientras que para la pulpa de copoazú almacenada a 5°C se aprecia un descenso considerable a los 80 días, esto debido a que los azúcares reductores contenidos aún en la muestra se degradan por acción enzimática.



**Figura 6:** Comportamiento de °Brix en la pulpa de copoazú con tratamiento térmico durante el procesado y almacenamiento.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

En la Figura 6 para la muestra de pulpa de copoazú con tratamiento térmico se puede apreciar un aumento de 0,69 °Brix en referencia a la última etapa desarrollada, esto se explica que debido a proceso térmico aplicado se elimina agua a través de evaporación, logrando una mayor concentración de los sólidos solubles, reflejándose en un aumento en la lectura de °Brix (Castellano et al, 2016).

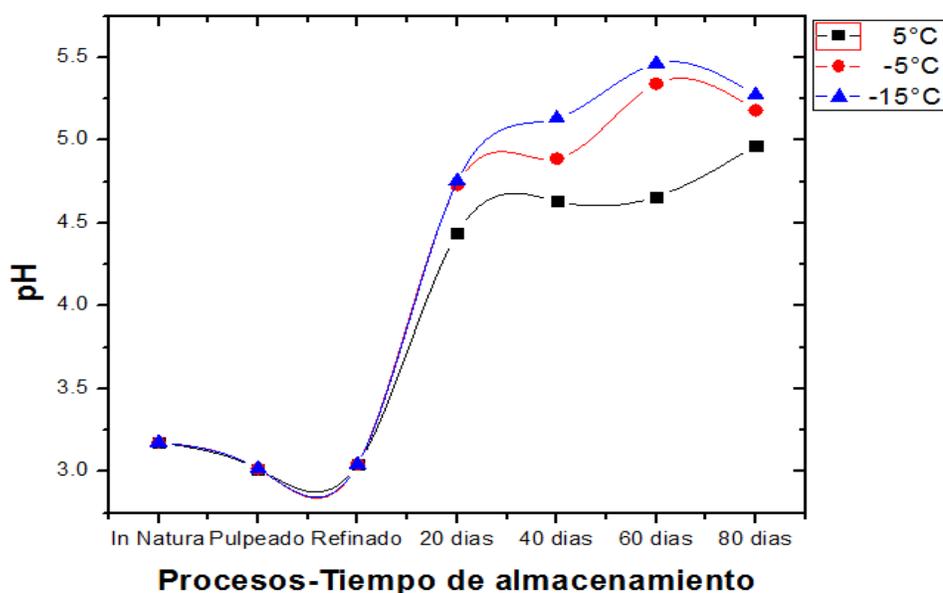
De igual manera se observa que los valores de °Brix durante su almacenamiento se mantienen estables (11,60-12,76). iguales a lo reportado por Martin (2013) =10,74-18,59 °Brix ya que las bajas temperaturas retrasan la actividad enzimática y el crecimiento microbiano (Gonzales, 2010); así mismo se observa al igual que en la Figura 5 un aumento en los valores de °Brix a los 40 días de

almacenamiento, según Bouzari et al., (2015) citado por Domínguez Guadarrama et al., (2018); explica que durante el almacenamiento en frío, se incrementa la concentración de azúcares.

Se determinó que entre los tratamientos para las muestras con y sin tratamiento térmico que no existe diferencias significativas para el contenido de sólidos solubles (°Brix) ( $P$  valor  $> 00.5$ ) durante su almacenamiento a diferentes temperaturas, con un nivel de confianza del 95%, esto quiere decir que ningún tratamiento influye significativamente en el contenido de °Brix en la pulpa de copoazú.

#### 4.2.2: pH:

En la Figura 7 y 8 se puede apreciar el comportamiento de los valores de pH frente a las temperaturas de almacenamiento, tanto de las muestras con y sin tratamiento térmico durante los 80 días.

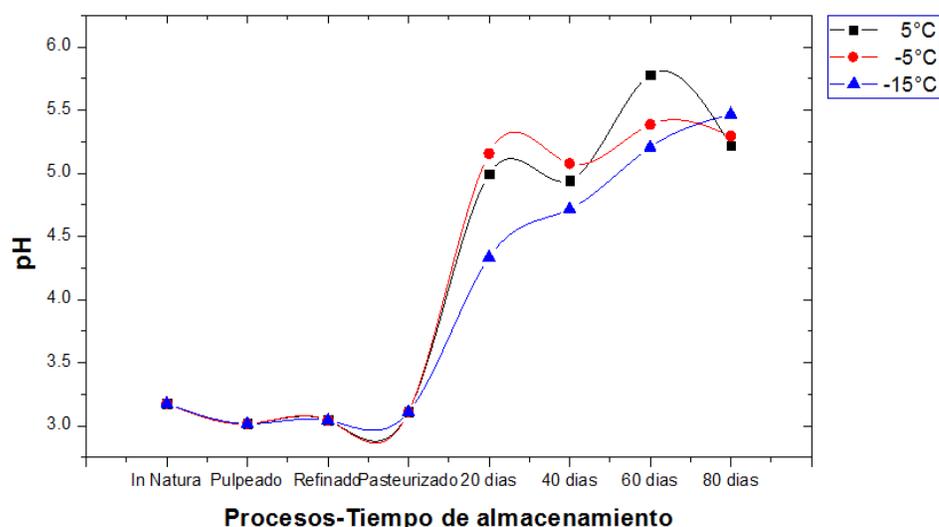


**Figura 7:** Comportamiento del pH de la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico durante el procesado y almacenamiento.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

Los valores de pH en la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico es mínimamente afectado durante la etapa de pulpeado; con una

reducción de 3,18 a 3,02 y una pérdida de 0,16 unidades de pH, este valor disminuye debido a los procesos mecánicos sometidos para su obtención, afectando la integridad de su matriz y compartimientos celulares, dando como resultado la liberación de agua (Dunker et al., 1942).; posteriormente durante el proceso de refinado el valor de pH aumenta en 0,02 (3,04) debido a la evaporación de agua liberada contenida en la pulpa homogenizada; y posteriormente durante el periodo de almacenamiento los valores de pH se mantienen estables entre los valores de 4 y 5.



**Figura 8:** Comportamiento del pH de la pulpa de copozú con tratamiento térmico durante el procesado y almacenamiento.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

En la Figura 8 se aprecia el comportamiento del pH de la pulpa de copozú con tratamiento térmico, posterior a la etapa de refinado se evidenció un ligero aumento de 0,07 en el valor de la pulpa tratada térmicamente (3,11) y durante el periodo de almacenamiento a los 20 días un aumento de 3,11 a 4,99; 5,16 y 4,33 (5°C, -5°C, -15°C respectivamente). Este incremento del pH al igual que en la Figura 7 ha sido reportado en otros estudios, como el realizado por Lopes et al., (2005) quien durante el monitoreo del

pH en la pulpa de pitanga congelada y observó que este aumentaba durante los 90 días de almacenado (de 3,27 a 3,40). Este comportamiento también es reportado por Mejía, et al., (2006) quien tras almacenar pulpa de arazá a  $-20^{\circ}\text{C}$  el valor de pH aumento 2,79 a 2,9 unidades.

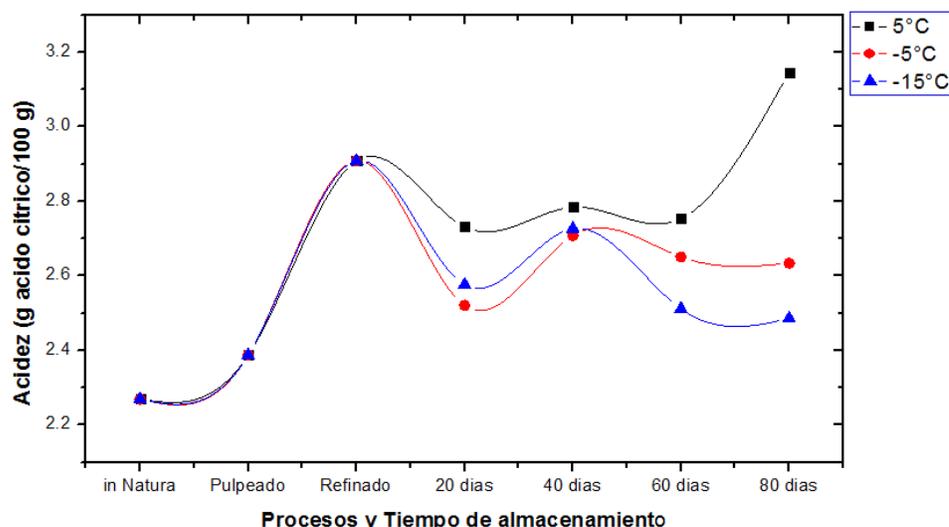
Posterior a los 20 días de almacenamiento tanto en las muestras con y sin tratamiento térmico, los valores de pH se mantienen en un rango 4,44 a 5,47. Las variaciones de pH graficadas en las Figuras 7 y 8 durante el almacenamiento también fueron reportadas por Arizaleta et al., (2015) quien reportó similares variaciones durante el almacenamiento de frutos de copoazú a  $4^{\circ}\text{C}$  y  $-24^{\circ}\text{C}$ , pero dicho efecto no fue significativo.

Los valores finales de pH obtenidos para la pulpa con y sin tratamiento térmico son: TT:  $5^{\circ}\text{C} = 4,97$ ;  $-5^{\circ}\text{C} = 5,18$  y  $-15^{\circ}\text{C} = 5,27$  y STT:  $5^{\circ}\text{C} = 5,22$ ;  $-5^{\circ}\text{C} = 5,29$  y  $-15^{\circ}\text{C} = 5,47$ .

Tanto para las muestra con y sin tratamiento térmico almacenadas a diferentes temperaturas no presentan diferencias significativas (P valor  $> 00.5$ ), con un nivel de confianza del 95%, esto quiere decir que ningún tratamiento influye significativamente en los valores de pH en la pulpa de copoazú, es similar a lo reportado por Arizaleta (2015).

#### **4.2.3: Acidez titulable total (expresado en % ácido cítrico)**

En las Figuras 9 y 10 se aprecia el comportamiento de la acidez titulable total durante su almacenamiento a diferentes temperaturas para las muestras de copoazú sin y con tratamiento térmico.



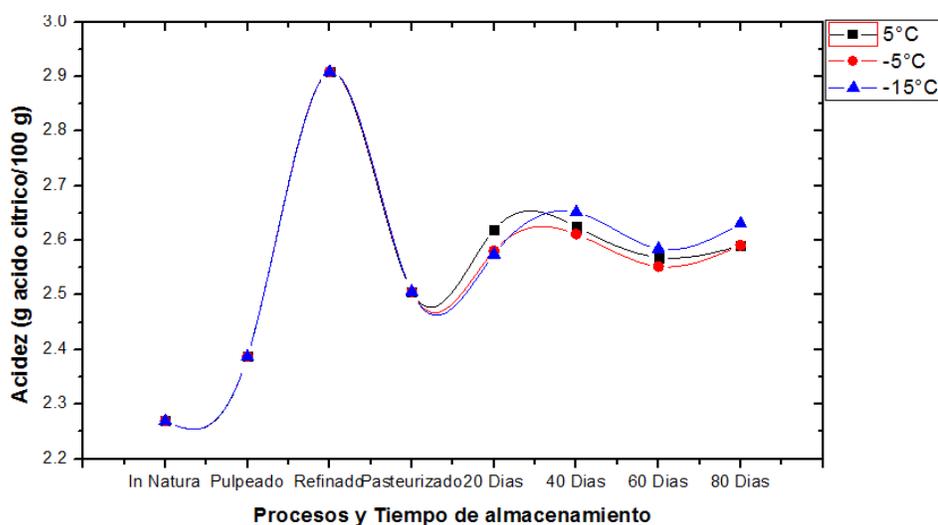
**Figura 9:** Comportamiento del ácido cítrico de la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico durante el procesado y almacenamiento.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

En la Figura 9 y 10, los primeros puntos graficados hasta la etapa de refinado se observa un incremento en el valor de la acidez titulable. El valor inicial de acidez titulable para la muestra de copoazú es de 2,27; durante el proceso de pulpeado, este valor se incrementa a 2,39 y en la etapa de refinado se incrementa a 2,91. El incremento del pH durante estas etapas se sustenta en que a medida que aumenta la temperatura de proceso o almacenamiento, aumenta el contenido de ácido cítrico en los frutos, debido al consumo de los ácidos orgánicos presentes aún en el producto (Castellano et al., 2016).

En la Figura 9 se observa que durante la etapa de almacenamiento, posterior a la etapa de refinado; los valores de la acidez titulable se mantienen estables y poco variables en un rango de 2,52 a 2,63; este comportamiento es similar a lo reportado por Arizaleta et al., (2015); donde los valores de la acidez titulable varían con el transcurrir del tiempo almacenados a  $-24^{\circ}\text{C}$ , pero no son afectados significativamente; esto se debe a que las temperaturas de congelación inhiben las reacciones de deterioro del producto y

contribuyen en acumular la mayor cantidad de acidez total. Sin embargo, para la muestra de copoazú sin tratamiento térmico almacenada a 5°C, los valores de acidez total se incrementa a 3,15; esto se debe a que este nivel de temperatura las reacciones enzimáticas del grupo hidrolasas como la pectinesterasa, la poligalacturonasa, la celulasa y la xilanasas, aún permanecen activas y producen la fermentación de los carbohidratos (Vieira et al., 2000).



**Figura 10:** Comportamiento del ácido cítrico de la pulpa de copoazú con tratamiento térmico durante el procesado y almacenamiento.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

En la Figura 10 se observa que durante la etapa del tratamiento térmico aplicado en la pulpa de copoazú, el valor de la acidez total disminuye de 2,91 a 2,51, esto referido a que al someter la pulpa a un proceso térmico se inactivan las enzimas presentes en la pulpa in natura, deteniendo el proceso de degradación y fermentación; según Azeredo (2012).

De igual manera se observa en la Figura 10 que posterior a la etapa del tratamiento térmico, durante su almacenamiento a diferentes temperaturas; los valores de acidez total se mantienen estables

(entre 2,57 a 2,63) durante los 80 días de almacenamiento; esto debido a que las enzimas mencionadas por Vieira et al., (2000) se encuentran inactivas a causa del tratamiento térmico aplicado.

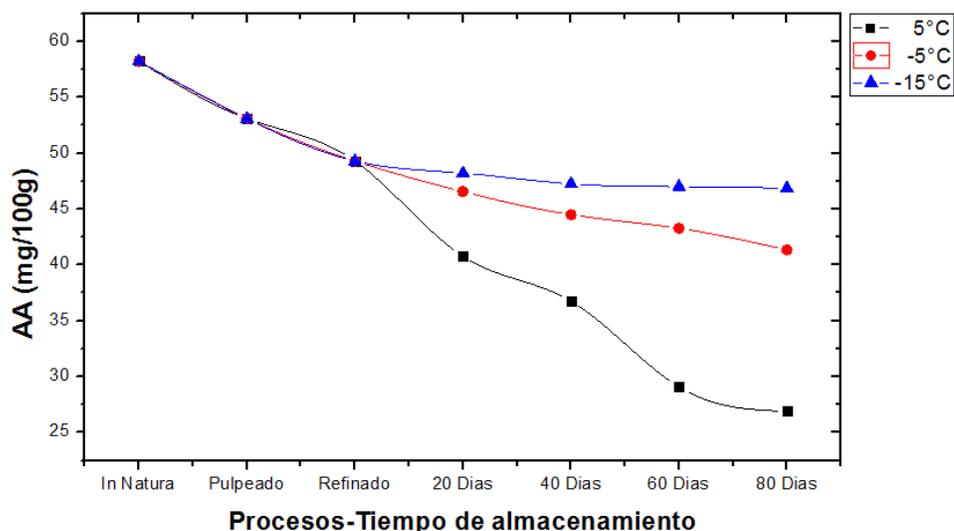
Los valores finales de acidez titulable obtenidos para la pulpa con y sin tratamiento térmico son: TT: 5°C = 2,59; -5°C = 2,59 y -15°C = 2,63 y STT: 5°C = 3,15; -5°C = 2,63 y -15°C = 2,49.

Se determinó que entre los tratamientos para muestra con y sin tratamiento térmico no existe diferencias significativas (P valor > 00.5), con un nivel de confianza del 95%, esto quiere decir que ningún tratamiento influye significativamente en los valores de acidez titulable en la pulpa de copoazú, este resultado es similar a lo reportado por Arizaleta (2015), quien al evaluar la temperatura de almacenamiento sobre la calidad de la pulpa de copoazú, este no afecto su contenido significativamente

#### **4.2.4: Ácido ascórbico (mg/100g).**

En la Figura 11 y 12 se grafica el comportamiento del ácido ascórbico durante las etapas de procesado y almacenamiento a tres temperaturas (5°C, -5°C y -15°C).

En ambas figuras se observa como las etapas de pulpeado y refinado afectan drásticamente el contenido de AA en la pulpa de copoazú, reduciendo de un valor inicial de 58,22 a 49,30 mg/100g. y en la muestra sometida a tratamiento térmico (Figura 12) el valor de AA desciende de 49,30 a 38,20 mg/100g; Esto se explica a que al ser el AA la vitamina más termo sensible, el menor incremento en la temperatura, lo degrada (Fannema y Tannenbaum, 1993).

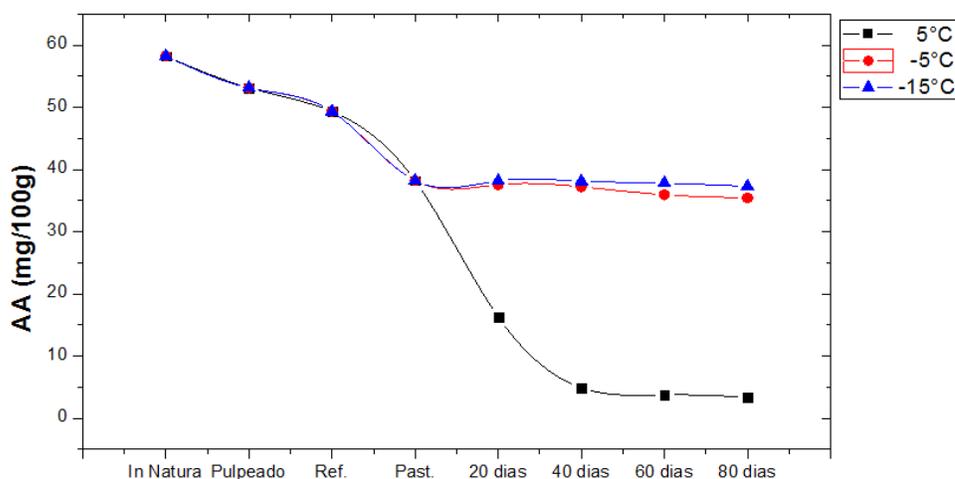


**Figura 11:** Comportamiento del Ácido ascórbico de la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico durante el procesado y almacenamiento.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

En la Figura 11 se aprecia que las muestras sin tratamiento térmico almacenadas a  $-5^{\circ}\text{C}$  y  $-15^{\circ}\text{C}$  muestran un decremento leve de AA en el tiempo con valores finales de 41,35 y 46,86 mg/100g respectivamente; mientras que la muestra almacenada a  $5^{\circ}\text{C}$  es seriamente afectada en el tiempo con un valor final de 26,90 mg/100g. Se explica este comportamiento a que las temperaturas de congelación ( $-5^{\circ}\text{C}$  y  $-15^{\circ}\text{C}$ ) inhiben la degradación de la AA, sin embargo, las muestras almacenadas a  $5^{\circ}\text{C}$  sin tratamiento térmico existen aún reacciones enzimáticas internas que afectan el contenido de AA y la degradan (Silva et al. 2000).

El ácido ascórbico en las muestras almacenadas a  $5^{\circ}\text{C}$  reportó una influencia significativa de la temperatura de almacenamiento, este efecto es similar a lo reportado por Labuza, (1984), Matos y Chuquilín, (2010) y Silverira, (2005).



#### Procesos-Tiempo de almacenamiento

**Figura 12:** Comportamiento del Ácido ascórbico de la pulpa de copoazú con tratamiento térmico durante el procesado y almacenamiento.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

En la Figura 12 se aprecia que las temperaturas de almacenamiento (-5°C y -15°C) en las muestras pasteurizadas mantiene valores constantes en el tiempo desde la etapa del tratamiento térmico, este efecto es similar a lo reportado por Cruz y Vieira, (2007); quienes evidenciaron que el comportamiento del ácido ascórbico a bajas temperaturas sufren oscilaciones, mas no representaron alteraciones significativas al final de su almacenamiento, así mismo menciona que en fresas congeladas el contenido de ácido ascórbico se mantiene constante a lo largo del tiempo de almacenamiento, siendo nuestros resultados concordantes con estos. El tratamiento térmico utilizado, a pesar de haber sido responsable por la degradación significativa del ácido ascórbico, contribuye en su estabilidad durante el almacenamiento de la pulpa de copoazú.

Además se observa que la muestra almacenada a 5°C es afectada seriamente en el tiempo, con un valor final de 3,39 mg AA/100g, este comportamiento se debe a que la temperatura de almacenamiento no evita la degradación del AA y que el tratamiento térmico puede llevar a la oxidación química; además de eso la

presencia de catalizadores metálicos, alcalinidad y baja humedad relativa; otra causal adicional a la disminución del ácido ascórbico es su consumo como agente de reacción de Maillard (Burdurlu, 2006) .

Los valores finales de ácido ascórbico obtenidos para la pulpa con y sin tratamiento térmico son: TT: 5°C = 3,39; -5°C = 35,41 y -15°C = 37,28 y STT: 5°C = 26,90; -5°C = 41,35 y -15°C = 46,86.

Los valores reportados durante la investigación concuerdan con lo descrito por (Arizaleta et al., 2015); quien determinó que el contenido de ácido ascórbico es afectado por la temperatura y que los valores de este varían con el transcurrir del almacenamiento, además que solo el contenido de ácido ascórbico manifiesta una tendencia significativa, al decrecer linealmente. Respecto a este, se ha reportado que frutos como la manzana y el tomate presentan descenso en el contenido de ácido ascórbico durante el almacenamiento (Oliveira et al. 2013), debido al proceso respiratorio del fruto para obtener energía requerida para sus funciones metabólicas.

### **4.3 Parámetros cinéticos de degradación del Ácido Ascórbico en la pulpa de Copoazú (*Theobroma grandiflorum*).**

#### **4.3.1 Cinética de degradación del Ácido Ascórbico durante el almacenamiento en pulpa sin tratamiento térmico.**

Para determinar la cinética de degradación del AA en la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico se utilizaron los datos obtenidos a partir de la etapa de refinado, considerando el valor de AA de esta etapa como el inicial en el tiempo cero (0).

En la Tabla 5 se aprecia las observaciones hechas durante el tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas.

**Tabla 5:** Contenido de ácido ascórbico (mg/100g) en las muestras durante almacenamiento.

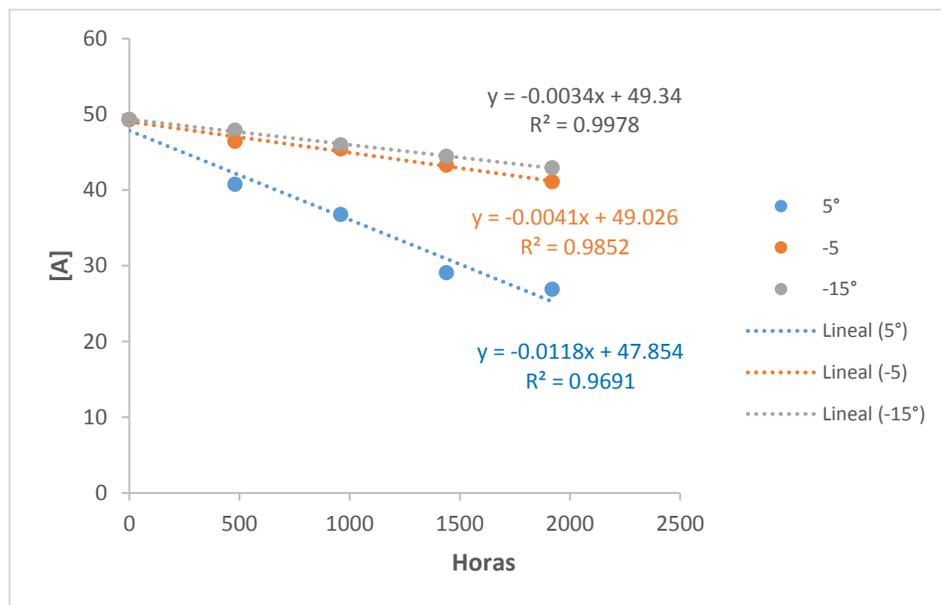
Tiempo (Días)	5°C	-5°C	-15°C
0	49,2954	49,2954	49,2954
20	40,7628	46,4575	47,8974
40	36,7618	45,4291	45,977
60	29,0973	43,2873	44,4635
80	26,9021	41,0986	42,9601

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

### **Determinación del número de orden de reacción en las diferentes temperaturas de almacenamiento.**

Los datos ordenados de la Tabla 5 fueron analizadas gráficamente por temperatura de almacenamiento para luego ajustarlos a las ecuaciones de cinética de reacción de orden cero, uno y dos, y establecer cuál de estas ecuaciones se ajusta mejor a los datos obtenidos.

En las Figuras 13, 14 y 15 se grafican los valores obtenidos de la Tabla 5; ubicando en el eje X las observaciones en el tiempo (0, 20, 40, 60 y 80 días expresados en horas) de almacenamiento de la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico y en el eje Y los valores de la Concentración del ácido ascórbico [A] en cada temperatura de almacenamiento (5°C, -5°C y -15°C).



**Figura 13:** Cinética de degradación de ácido ascórbico en orden de reacción cero.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

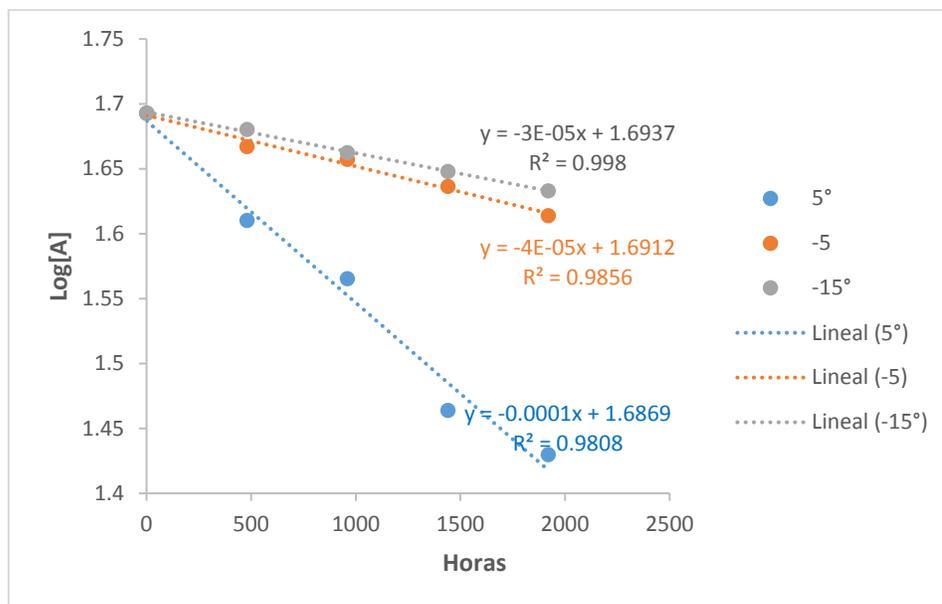
En la Figura 13 se aprecian los valores de ácido ascórbico en función a la ecuación de orden cero, con un  $R^2$  igual a 0,9691; 0,9852 y 0,9987 para las temperaturas 5°C, -5°C y -15°C respectivamente. Siendo el mejor ajuste el reportado a una temperatura de -15°C.

En la Figura 134 se aprecian los valores de ácido ascórbico en función a la ecuación de orden uno, con un  $R^2$  igual a 0,9808; 0,9856 y 0,9988 para las temperaturas 5°C, -5°C y -15°C respectivamente. Siendo el mejor ajuste el reportado a una temperatura de -15°C.

Así mismo se aprecia, que los  $R^2$  reportados por la ecuación de orden uno, son los que presentan mejores ajustes en comparación a lo reportado para las ecuaciones de orden cero y dos.

Estos valores coinciden con lo reportado por Labuza (2003) y Ordóñez (2013); quien demuestra que la degradación térmica del AA sigue una cinética de primer orden, es decir que la velocidad de

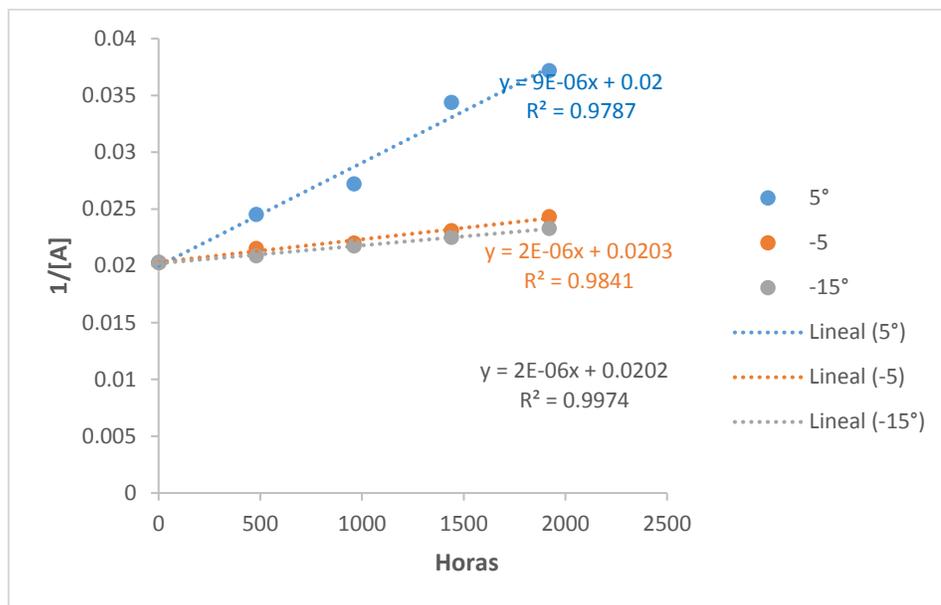
reacción es proporcional a la concentración de AA en cada momento influenciado por la temperatura y de acuerdo a Uddin et al., (2002) mencionado por Silverira ,(2005), la ecuación de primer orden es la que mejor describe la pérdida de ácido ascórbico bajo diferentes condiciones de almacenamiento.



**Figura 14:** Cinética de degradación del ácido ascórbico en orden de reacción uno.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

En la Figura 135 se aprecian los valores de ácido ascórbico en función a la ecuación de orden dos, con un  $R^2$  igual a 0,9787; 0,9841 y 0,9974 para las temperaturas 5°C, -5°C y -15°C respectivamente. Siendo el mejor ajuste el reportado a una temperatura de -15°C. Como se aprecia, los  $R^2$  reportados por la ecuación de orden dos son inferiores a lo reportador por la ecuación de orden uno, datos que se ajustan a la unidad y que lo reportado por Silverira, (2005) describen mejor la degradación del ácido ascórbico.



**Figura 15:** Cinética de degradación de ácido ascórbico en orden de reacción dos.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

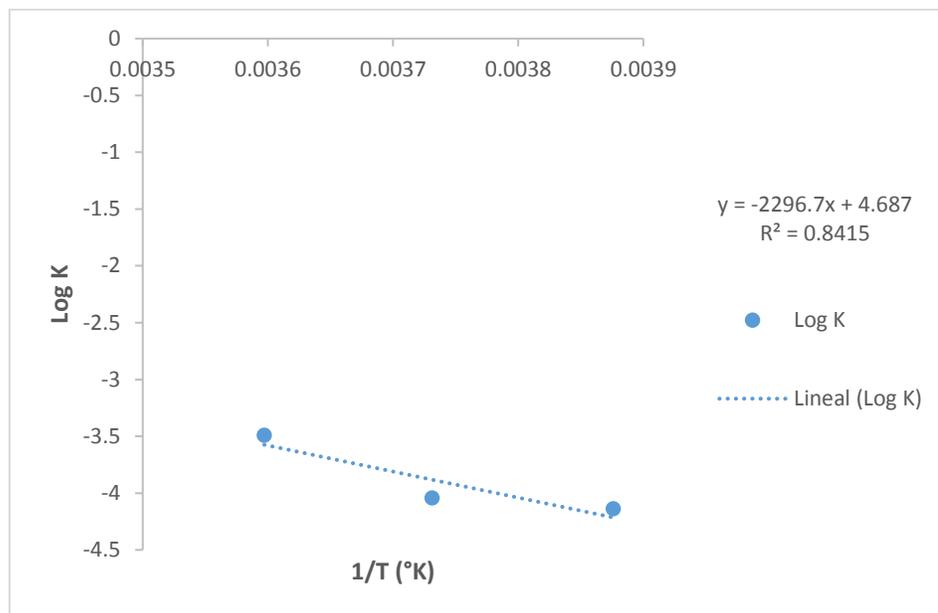
### Determinación de parámetros cinéticos de degradación de ácido ascórbico en pulpa de copoazú sin tratamiento térmico.

**Tabla 6:** Parámetros cinéticos de degradación de ácido ascórbico en pulpa de copoazú sin tratamiento térmico..

T(°C)	1/T (°K)	K (horas <sup>-1</sup> )	Log K	Pendiente	Ea
5	0,0036	0,000322637	-3,4912860		
-5	0,0038	9,05154E-05	-4,0432776	-2296,69653	10509,8234
-15	0,0039	7,28282E-05	-4,1377006		

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

En la Tabla 6 se presentan los valores de los parámetros cinéticos obtenidos en función a las temperaturas de almacenamiento de las muestras de pulpa de copoazú sin tratamiento térmico con la ecuación de Arrhenius,



**Figura 16:** Gráfica de Arrhenius de la degradación de ácido ascórbico en la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

Se realizó una gráfica con los valores obtenidos de la constante de velocidad de degradación (K) de AA (Tabla 6) para obtener el valor de la  $E_a$  térmica, debido al impacto de la temperatura en las reacciones de degradación materia de estudio.

En esta investigación se presenta para la pendiente un valor de 2296,7 con un  $R^2 = 0,8415$ , el valor del coeficiente de regresión es menor que lo reportador por Vieira et al., (2000).

Las discordancia en los parámetros cinéticos del ácido ascórbico con respecto a otras estudios pueden deberse a las temperaturas de proceso empleadas, la matriz biológica y su geometría, y contenido de humedad diferentes de las muestras (Fu y Labuza, 1997).

El valor de la  $E_a$  para la muestra sin tratamiento térmico es igual a 10,5098 Kcal/mol.

### **Determinación de la estabilidad del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico.**

Para determinar la estabilidad del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico a diferentes temperaturas, reemplazamos los valores en el modelo matemático de Arrhenius:

$$\ln C = \ln C_0 - K\theta$$

Como factor limitante en la ecuación se considera el contenido mínimo de ácido ascórbico en pulpa de copoazú según la legislación Brasileira (Brasil, 2000), el cual indica un mínimo de 18 mg/100 g.

A 5°C

$$\begin{aligned}\ln(18) &= \ln(49.2954) - (0,000322637) \times \theta \\ \theta &= 3122,577425 \text{ h.} = 4,34 \text{ meses}\end{aligned}$$

A -5°C

$$\begin{aligned}\ln(18) &= \ln(49.2954) - (9,05154E - 05) \times \theta \\ \theta &= 11132,1437 \text{ h.} = 15,46 \text{ meses}\end{aligned}$$

A -15°C

$$\begin{aligned}\ln(18) &= \ln(49.2954) - (7,28282E - 05) \times \theta \\ \theta &= 13833,40216 \text{ h.} = 19,21 \text{ meses}\end{aligned}$$

Respecto al contenido de ácido ascórbico y las cantidades presentes al finalizar el periodo de almacenamiento a 5°C, -5°C y -15°C en el presente proyecto, su contenido mínimo se encuentran dentro de lo establecido por la legislación Brasileira (Brasil, 2000)

#### 4.3.2 Cinética de degradación del Ácido Ascórbico durante el almacenamiento en pulpa con tratamiento térmico.

Para determinar la cinética de degradación del AA en la pulpa de copoazú con tratamiento térmico a 90°C/ 60 s. se utilizaron los datos obtenidos a partir de la etapa del tratamiento térmico aplicado, considerando el valor de AA de esta etapa como el inicial en el tiempo cero (0).

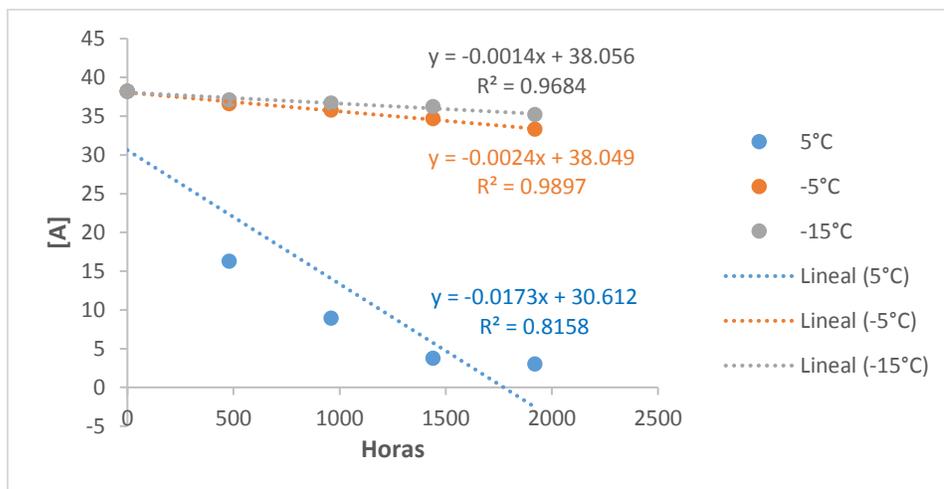
**Tabla 7:** Contenido de ácido ascórbico (mg/100g) en las muestras durante almacenamiento.

Tiempo (Días)	5°C	-5°C	-15°C
0	38,1995	38,1995	38,1995
20	16,2787	36,5808	37,1029
40	8,9248	35,7961	36,6825
60	3,7611	34,6787	36,2236
80	3,0204	33,3127	35,2066

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

#### Determinación del número de orden de reacción en las diferentes temperaturas de almacenamiento.

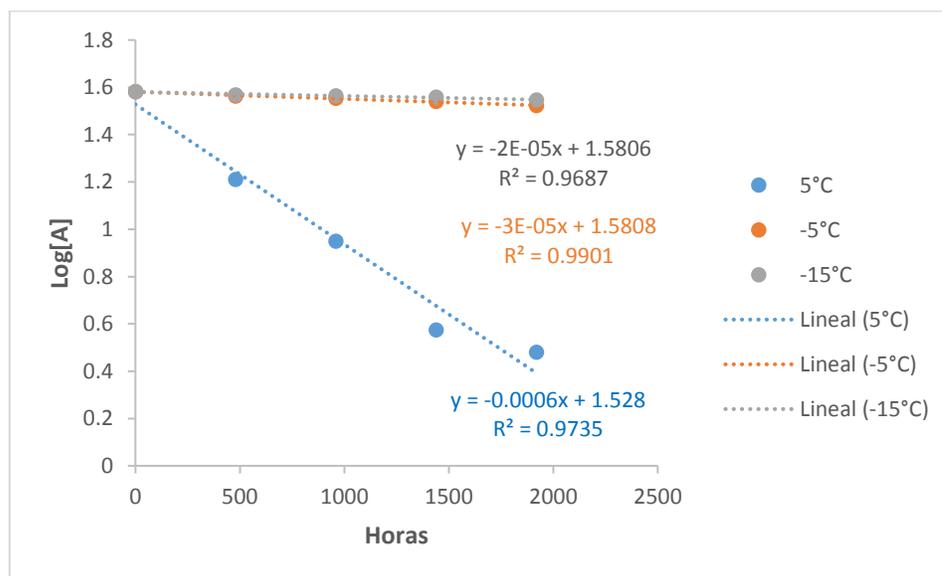
Los datos ordenados de la Tabla 7 se representan en las Figuras 17, 18 y 19; se grafican los valores obtenidos de la Tabla 7; ubicando en el eje X las observaciones en el tiempo (0, 20, 40, 60 y 80 días expresados en horas) de almacenamiento de la pulpa de copoazú con tratamiento térmico y en el eje Y los valores de la concentración del ácido ascórbico [A] en cada temperatura de almacenamiento (5°C, -5°C y -15°C).



**Figura 17:** Cinética de degradación del ácido ascórbico en orden de reacción cero.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

En la Figura 17 se aprecian los valores de ácido ascórbico en función a la ecuación de orden cero, con un  $R^2$  igual a 0,8158; 0,9897 y 0,9684 para las temperaturas 5°C, -5°C y -15°C respectivamente. Siendo el mejor ajuste el reportado a una temperatura de -5°C.



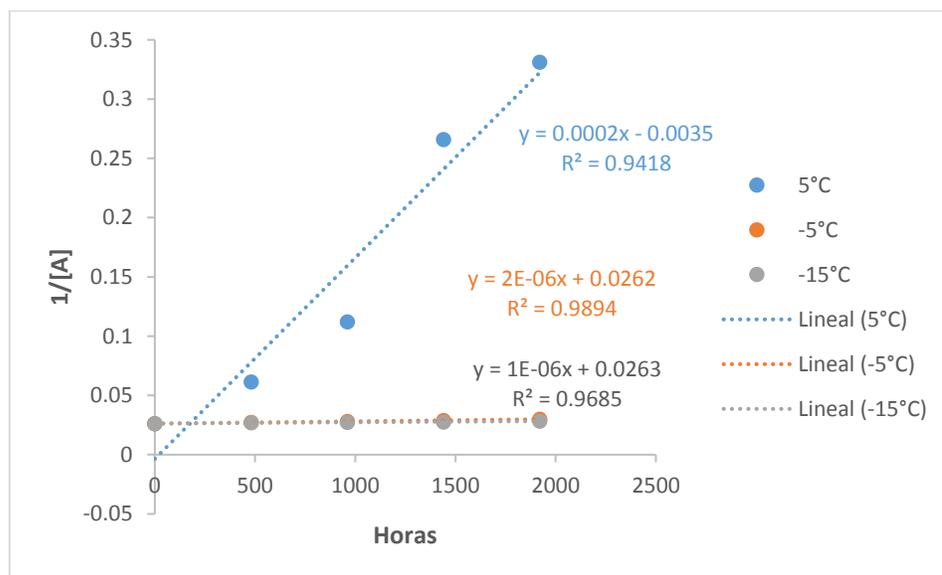
**Figura 18:** Cinética de degradación del ácido ascórbico en orden de reacción uno.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

En la Figura 18 se aprecian los valores de ácido ascórbico en función a la ecuación de orden uno, con un  $R^2$  igual a 0,9687; 0,9902 y 0,9735 para las temperaturas 5°C, -5°C y -15°C respectivamente. Siendo el mejor ajuste el reportado a una temperatura de -15°C.

Así mismo se aprecia, que los  $R^2$  reportados por la ecuación de orden uno, son los que presentan mejores ajustes en comparación a lo reportado para las ecuaciones de orden cero y dos.

Mendoza-corvis y Hernández, (2015), mencionan que el ácido ascórbico sigue una cinética de primer orden para tratamientos térmicos hechos en mango, remolacha, pulpa de mango, guayaba y zumos pasteurizados (Sánchez-Chávez et al., 2015 y Ordóñez y Portilla ,2013)



**Figura 19:** Cinética de degradación del ácido ascórbico en orden de reacción dos.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

En la Figura 19 se aprecian los valores de ácido ascórbico en función a la ecuación de orden dos, con un  $R^2$  igual a 0,9418; 0,9894 y 0,9685 para las temperaturas 5°C, -5°C y -15°C respectivamente.

Siendo el mejor ajuste el reportado a una temperatura de  $-15^{\circ}\text{C}$ . Al igual que los resultados reportados en las muestras de pulpa de copoazú sin tratamiento térmico los ajustes de  $R^2$  reportados por la ecuación de orden dos son inferiores a lo reportados por la ecuación de orden uno, siendo estos los que se acercan a la unidad y que la ecuación de orden uno describen mejor la degradación del ácido ascórbico (Silverira, 2005).

### **Determinación de parámetros cinéticos de degradación de ácido ascórbico en pulpa de copoazú con tratamiento térmico.**

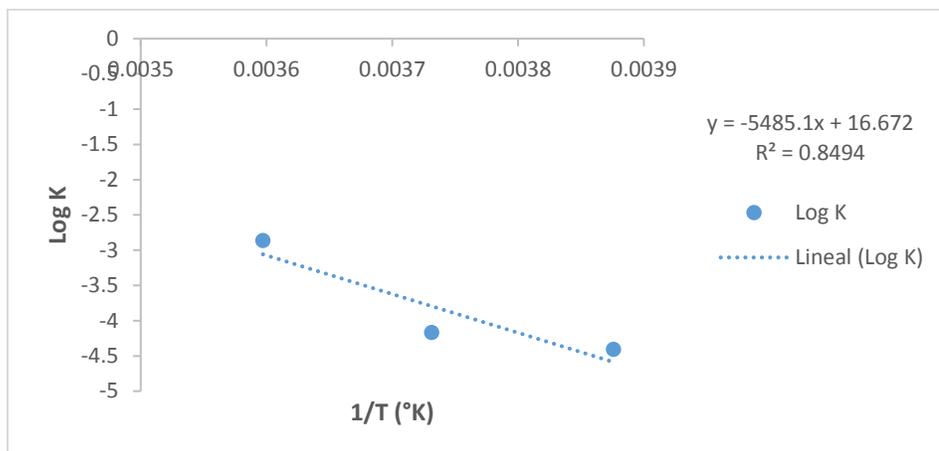
**Tabla 8:** Parámetros cinéticos.

$T(^{\circ}\text{C})$	$1/T (^{\circ}\text{K})$	$K (\text{horas}^{-1})$	$\text{Log } K$	Pendiente	$E_a$
5	0,0036	0,001362755	-2,865582155		
-5	0,0038	6,81708E-05	-4,166401459	-5485,0692	25100,0112
-15	0,0039	3,89989E-05	-4,408947974		

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

En la Tabla 8 son calculados los valores de la constante de velocidad de degradación ( $K$ ) de AA, para ello se utilizó el método gráfico y se obtuvo el valor de la energía de activación térmica. El valor de la  $E_a$  es la pendiente obtenida que se muestra en la Figura 20 y que después del cambio de unidades a  $\text{Kcal/mol}$  se obtiene un valor igual a  $25,10 \text{ Kcal/mol}$ .

Este valor de  $E_a$  para pulpa con tratamiento térmico al igual que el obtenido para la pulpa sin tratamiento térmico difieren de otros autores y que se puede interpretar que por el rango de las temperaturas de estudio, la matriz de la muestra, oxígeno, humedad y pH, son superiores (Bineesh et al., 2005).



**Figura 20:** Gráfica de Arrhenius de la degradación de ácido ascórbico en la pulpa de copoazú con tratamiento térmico.

Fuente: Elaboración propia (2019).

### Determinación de la estabilidad del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú con tratamiento térmico.

Para determinar la estabilidad del ácido ascórbico en el tiempo, se usó como factor limitante en la ecuación se considera el contenido mínimo de ácido ascórbico en pulpa de copoazú según la legislación Brasileira (Brasil, 2000), el cual indica un mínimo de 18 mg/100 g.

A 5°C

$$\ln(18) = \ln(38,19944469) - (0.00136276) \times \theta$$

$$\theta = 552,1509h. = 23.01 \text{ días} = 0,8 \text{ meses}$$

A -5°C

$$\ln(18) = \ln(38,19944469) - (6,8171E - 05) \times \theta$$

$$\theta = 11037,67321 h. = 15,33 \text{ meses}$$

A -15°C

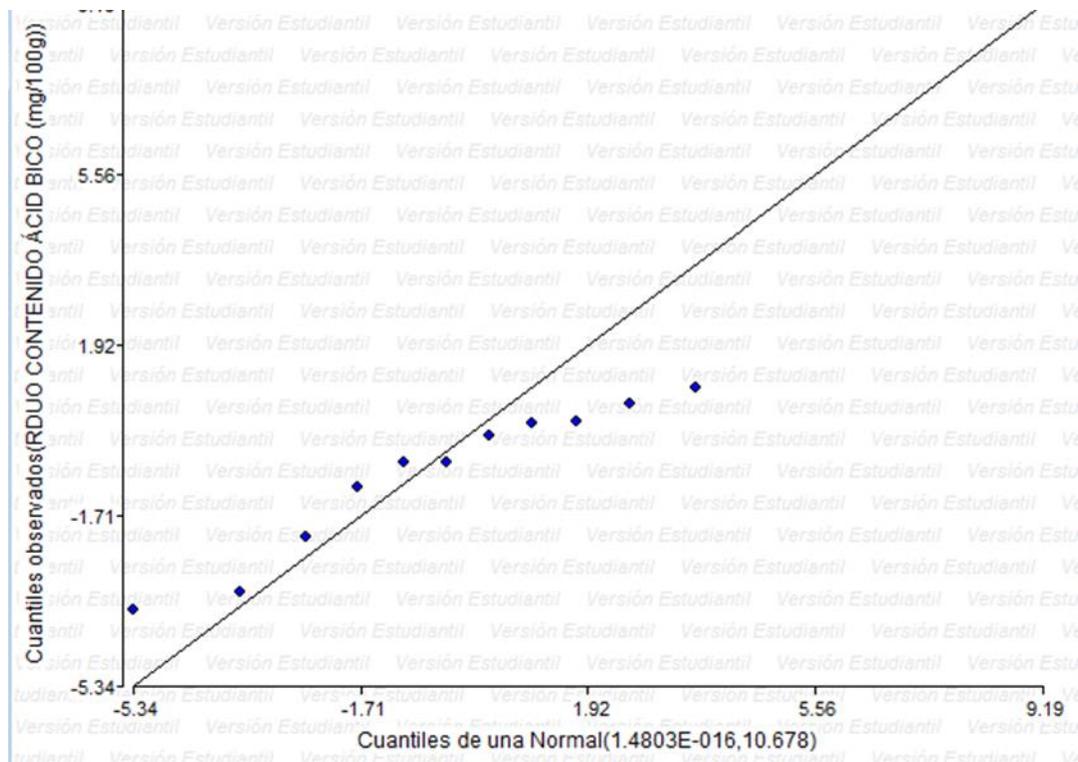
$$\ln(18) = \ln(38,19944469) - (3,8999E - 05) \times \theta$$

$$\theta = 19294,1239 h. = 26,80 \text{ meses}$$

Al igual que en las muestras de copoazú sin tratamiento térmico el contenido de ácido ascórbico y las cantidades presentes al finalizar el periodo de almacenamiento de 5°C, -5°C y -15°C se encuentran dentro de lo establecido por la legislación Brasileira (Brasil, 2000)

## 4.4 ANALISIS ESTADÍSTICO

Para la pulpa de copoazú con tratamiento térmico.



**Figura 21:** Q-Q plot de residuales de contenido de ácido ascórbico en pulpa de copoazú con tratamiento térmico.

Fuente: Elaboración propia (2019).

### Prueba de Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO CONTENIDO ÁCID ASC (..	15	0.00	7.99	0.75	0.6133

**Tabla 9:** Resumen estadístico para la degradación de AA en pulpa de copoazú con tratamiento térmico (90°C/ 60s) y diferentes T° de almacenamiento

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
5°C	5	66,55	13,31	222,0835
-5°C	5	184,29	36,858	1,33867
-15°C	5	189,53	37,906	0,14498

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 10:** Resultados ANOVA.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P valor	Valor crítico para F
Entre tratamientos	1934,2830	2	967,14152	12,977	0.000998	3.88529
Dentro de los tratamientos	894,2686	12	74,522383			
Total	2828,5516	14				

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

En la Tabla 10, se puede observar que existe diferencia estadísticamente significativa entre un tratamiento y otro con respecto al nivel de temperatura de almacenamiento de la pulpa de copoazú (P valor < 0.05), con un nivel de confianza del 95%, lo que nos indica que los diferentes tratamientos influyen significativamente en al menos un tratamiento en el contenido de ácido ascórbico presente en la pulpa de copoazú tratada térmicamente.

Los resultados de la prueba Tukey (Tabla 11) se puede identificar que entre los tratamientos 5°C y -5°C, 5°C y -15°C existe diferencia estadísticamente significativa (P valor < 0,05); mientras que entre los tratamientos -5°C y -15°C no existe diferencia estadísticamente significativa (P valor > 0,05).

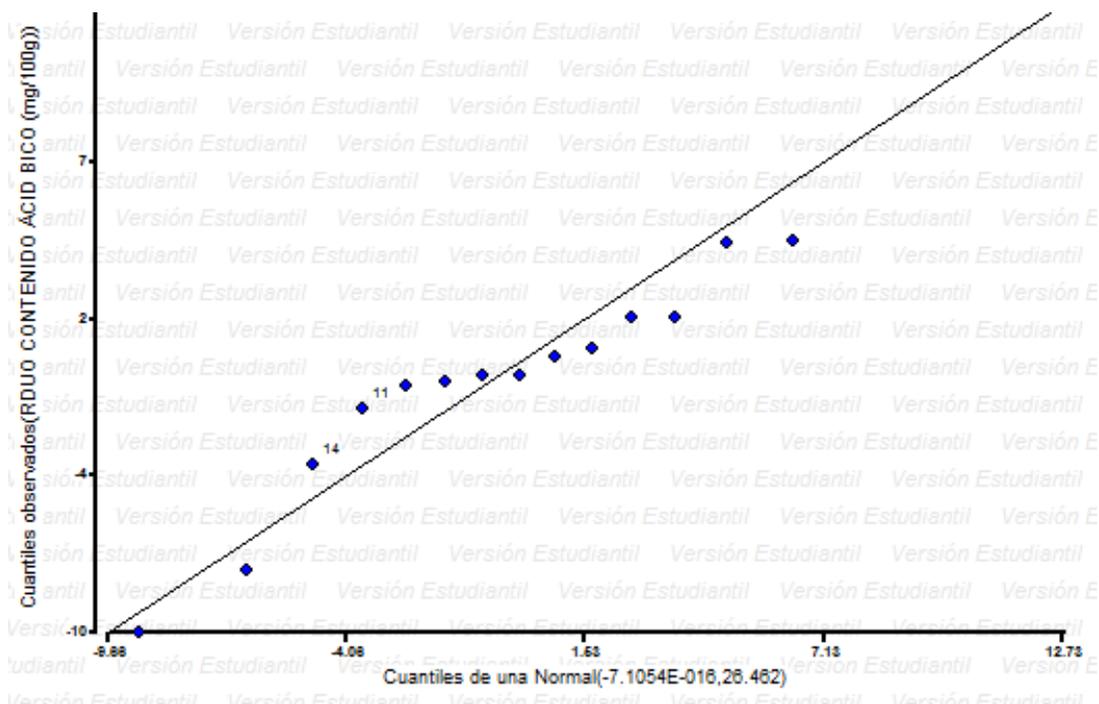
**Tabla 11:** Resultados de la prueba Tukey.

Grupo 1	Grupo 2	M	ES	q-stat	Inferior	Superior	P-valor
5°C	-5°C	23.548	3.860632	6.09952	8.981837	38.11416	0.002678
5°C	-15°C	24.596	3.860632	6.370978	10.02984	39.16216	0.001923
-5°C	-15°C	1.048	3.860632	0.271458	-13.5182	15.61416	0.979927

\*M media; ES error estándar; q stat q estadístico.

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

Para la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico.



**Figura 22:** Q-Q plot de residuales de contenido de ácido ascórbico en pulpa de copoazú sin tratamiento térmico.

Fuente: Elaboración propia (2019).

### Prueba de Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO CONTENIDO ÁCID ASC (..	15	0.00	5.14	0.94	0.6122

**Tabla 12:** Resumen estadístico de la degradación de AA en pulpa de copoazú sin tratamiento térmico a diferentes T° de almacenamiento.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
5°C	5	182.8193	36.56386	82.21533
-5°C	5	224.974	44.99481	9.350156
-15°C	5	238.6237	47.72475	1.05005

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 13:** Resultados ANOVA.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P valor	Valor crítico para F
Entre Tratamiento	338.4982	2	169.2491	5.482312	0.020358	3.885294
Dentro de los tratamientos	370.4621	12	30.87184			
Total	708.9603	14				

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

En la Tabla 13, se puede observar que existe diferencia estadísticamente significativa entre un tratamiento y otro con respecto al nivel de temperatura de almacenamiento de la pulpa de copoazú (P valor < 0.05), con un nivel de confianza del 95%, lo que nos indica que los diferentes tratamientos influyen significativamente en al menos un tratamiento en el contenido de ácido ascórbico presente en la pulpa de copoazú tratada térmicamente.

Los resultados de la prueba Tukey (Tabla 14) se puede identificar que entre los tratamientos 5°C y -15°C existe diferencia estadísticamente significativa (P valor < 0,05); mientras que entre los tratamientos 5°C y -5°C, y -5°C y -15°C no existe diferencia estadísticamente significativa (P valor > 0,05).

**Tabla 14:** Resultados de la prueba Tukey.

Grupo 1	Grupo 2	M	ES	q-stat	Inferior	Superior	P-valor
5°C	-5°C	8.430948	2.484828	3.392971	-0.94431	17.8062	0.07972
5°C	-15°C	11.16089	2.484828	4.491615	1.785634	20.53614	0.020218
-5°C	-15°C	2.729941	2.484828	1.098644	-6.64531	12.1052	0.723689

\*M media; ES error estándar; q stat q estadístico.

**Fuente:** Elaboración propia (2019)

## CONCLUSIONES

Se determinó que durante las etapas de pulpeado y refinado el contenido de ácido ascórbico en la pulpa de copoazú se degradó en un 15,32% y para las muestras sometidas a tratamiento térmico (90°C/60s) en 34,39%. Así mismo para las muestras de pulpa de copoazú sin tratamiento térmico y sometidas a diferentes temperaturas de almacenamiento (5°C, -5°C y -15°C) el contenido de ácido ascórbico se degradó en 45,44%; 16,13% y 4,95% respectivamente; mientras que para las muestras sometidas a tratamiento térmico el contenido de ácido ascórbico se degradó en 91,13%; 7,3% y 2,41% para similar rango de temperaturas.

La velocidad de degradación del ácido ascórbico durante el almacenamiento de la pulpa de copoazú con tratamiento térmico es:  $K_{5^{\circ}\text{C}} = 0,0013$  (horas<sup>-1</sup>),  $K_{-5^{\circ}\text{C}} = 6,81\text{E-}05$  (horas<sup>-1</sup>),  $K_{-15^{\circ}\text{C}} = 3,89\text{E-}5$  (horas<sup>-1</sup>) y para la muestra sin tratamiento térmico:  $K_{5^{\circ}\text{C}} = 0,0003$  (horas<sup>-1</sup>),  $K_{-5^{\circ}\text{C}} = 9,05\text{E-}05$  (horas<sup>-1</sup>),  $K_{-15^{\circ}\text{C}} = 7,28\text{E-}5$  (horas<sup>-1</sup>). Se concluye que temperaturas inferiores a -15°C preservan en mayor medida los valores de ácido ascórbico en la pulpa de copoazú con tratamiento térmico y de igual manera con las muestras sin tratamiento térmico. La energía de activación calculada para el ácido ascórbico durante el almacenamiento de la pulpa de copoazú con tratamiento térmico es 25,10 Kcal/mol y en la muestra sin tratamiento térmico es de 10,5098 Kcal/mol; energía necesaria para iniciar la degradación del ácido ascórbico.

La estabilidad del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú en función de las constantes de degradación cinética ( $K$  horas<sup>-1</sup>) a diferentes temperaturas es: Para la pulpa sin tratamiento térmico a 5°C = 4,34 meses, -5°C = 15,46 meses y -15°C = 19,21 meses; para la pulpa con tratamiento térmico a 5°C = 0,8 meses, -5°C = 15,33 meses y -15°C = 26,8 meses.

## SUGERENCIAS

- Se recomienda realizar trabajos de investigación en cinética microbiana en la pulpa de copoazú almacenado en varias temperaturas con la finalidad de obtener información referente a la calidad microbiológica del producto final.
- Se sugiere ante un exceso de producción de copoazú, determinar parámetros para el procesamiento de pulpa deshidratada y evaluar la estabilidad del ácido ascórbico en el producto final, al ser este un producto fácil de almacenar por periodos prolongados de tiempo.

## Referencias Bibliográficas

- ALVARADO, J.D.D., 2013. *Principios de Ingeniería Aplicados en Alimentos (2da. ed.)*. Segunda Ed. Quito. Ecuador: Secretaria General de la OEA en Ecuador. ISBN 9789942115072.
- ALVERSON, W., WHITLOCK, B., NYFFELER, R., BAYER, C. y BAUM, D., 1999. Filogenia del orden Malvales: evidencia de datos de secuencias. *Diario Americano de Botánica*, vol. 86 (10), pp. 1474–1486.
- ALVES RM, SEBBENN AM, ARTERO AS, CLEMENT C, F.A., 2007. High levels of genetic divergence and inbreeding in populations of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*). *Tree Genet Genomes*, vol. 3, pp. 289–298.
- ARIZALETA, M., ÁLVAREZ, A. y PÉREZ, M., 2015. Caracterización De Frutos Y Efecto De Temperatura De Almacenamiento Sobre Calidad De Pulpa De Copoazú. *Revista Unellez de ...* [en línea], Disponible en: <http://150.187.216.91/revistas/index.php/rucyt/article/view/302>.
- ARJMANDI, B.H., AHN, J., NATHANI, S. y REEVES, R.D., 1992. Dietary Soluble Fiber and Cholesterol Affect Serum Cholesterol Concentration, Hepatic Portal Venous Short-Chain Fatty Acid Concentrations and Fecal Sterol Excretion in Rats. *Journal of Nutrition*, vol. 122, no. 2, pp. 246–253.
- ATHMASELVI, K.A., KUMAR, C. y POOJITHA, P., 2016. Influence of temperature , voltage gradient and electrode on ascorbic acid degradation kinetics during ohmic heating of tropical fruit pulp. *Journal of Food Measurement and Characterization*, vol. 11(1), pp. 144–155. ISSN 2193-4134. DOI 10.1007/s11694-016-9381-5.
- AZEREDO, H.M.C. De, 2012. Fundamentos de estabilidade de alimentos. *Fundamentos de Estabilidade de Alimentos, EMBRAPA* [en línea], pp. 326. ISSN 0031-9023. Disponible en: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Fundamentos+de+estabilidade+de+alimentos#0>.
- BADUI, S., 2013. *Química Alimentos*. S.l.: s.n. ISBN 9786073215084.
- BALISCHI, L., 2002. *Tratamento enzimático da polpa integral de acerola empregando as enzimas pectinex ultra SP-L e Citrozym Ultra L*. S.l.: Dissertação (Mestrado em Eng. Química) – Faculdade de Eng. Química. Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR,.
- BENASSI, M. T.; ANTUNES, A.J., 1988. A comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, vol. 31, pp. 507–513.
- BINEESH, N., SINGHAL, R. y PANDIT, A., 2005. A study on degradation kinetics

- of ascorbic acid in drumstick (*Moringa olifera*) leaves during cooking. *Journal of the Science of Food and Agriculture.*, vol. 85, pp. 1953–1958.
- BRASIL, 2000. Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta. *Leis, Decretos, etc. Instrução normativa Nº 1 de 7 de janeiro de 2000, Diário Oficial da União, Nº 6*. Brasília, 2000. pp. 54–58.
- BURDURLU, H.S., 2006. Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. *J. Food Eng.*, vol. 74, pp. 211–216.
- CASTELLANO, G., RAMÍREZ, R., SINDONI V., M.J., HIDALGO L., P.R., BURGOS, M.E., MARÍN R, C., NÚÑEZ-CASTELLANO, K. y MARTÍNEZ, L., 2016. EFECTO DE LA TEMPERATURA DE ALMACENAJE SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DE FRUTOS DE LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, ISSN 1665-0204.
- CAVALCANTE, P.B., 1991. *Frutas comestíveis da Amazonia*. 5. Belém: Editorial CEJUP.
- CONTRERAS, R., KOSTEN, T., & FRANK, M., 1984. Activity in salt taste fibers: peripheral mechanism for mediating changes in salt intake. *Chem. Senses*, pp. 275–288.
- CRUZ, R.M.S. y VIEIRA, M.C., 2007. Efeito dos abusos de temperatura no teor de ácido ascórbico em agrião congelado ao longo da cadeia de distribuição.
- DOMÍNGUEZ GUADARRAMA, A., CRUZ ROJAS, C., VENTURA CRUZ, S., RIVAS CASTRO, S. y CRUZ VASQUEZ, C., 2018. Valor nutricional y funcional de pulpa de Guayaba en respuestas a diferentes temperaturas de almacenamiento. *Revista Iberoamericana de Tecnología postcosecha* [en línea], vol. 19 Nº 1, pp. 115–127. Disponible en: [https://issuu.com/horticulturapostcosecha/docs/vol.19\\_n.1\\_revista\\_iberamericana\\_t](https://issuu.com/horticulturapostcosecha/docs/vol.19_n.1_revista_iberamericana_t).
- DUNKER, C., FELLERS, C., & ESSELEN JR, W., 1942. A comparison of four methods for determining vitamin C with a 25 day, weight-response bioassay. *Food Res.*, vol. 7(4), pp. 260–266.
- FANNEMA, R.O. y TANNENBAUM, R.S., 1993. *Química de los alimentos*. Segunda. Zaragoza: s.n.
- FERREIRA, A., 2008. *Estudo da interação produto embalagem em folha-de-flandres aplicada à polpa de cupuaçu (Theobroma grandiflorum)*. S.l.: Universidade Estadual de Campinas.
- FIETZ, V.R. y SALGADO, M.S., 1999. Efeito da pectina e da celulose nos níveis séricos de colesterol e triglicéridos em ratos hiperlipidémicos. *Ciencia E*

*Tecnologia De Alimentos*, vol. 19, pp. 318–321.

- FRANCO, M.R.B. y SHIBAMOTO, T., 2000. Volatile composition of some brazilian fruits: umbu-caja (*Spondias citherea*), camu-camu (*Myrciaria dubia*), araca´boi (*Eugenia stipitata*), and Cupuacu (*Theobroma grandiflorum*). *Agri . Food Chem.*, vol. 48 (4), pp. 1263–1265.
- FU, B. y LABUZA, T.P., 1997. Shelf Life Testing: Procedures and Prediction Methods for Frozen Foods. *Quality in Frozen Food*. S.I.: s.n., ISBN 9781461559757.
- GALVIS, B., 2003. Estudio de durabilidad de la pulpa de mora de castilla y mora san antonio (*Rubus-Glaucus*). , pp. 79.
- GENNARO, A., 2003. *Farmacia Remington*. Buenos Aires, Argentina: Panamericana, Editorial Médica.
- GONDIM, T.M.S., THOMAZINI, M.J., CAVALVANTE, M.J.B. y SOUZA, J.M.L., 2001. Aspectos da Producao de Cupuacu. . Rio Branco:
- GONZALES, M., 2010. *Conservación de mora, uvilla y frutilla mediante la utilización del aceite esencial de canela (cinnamomum zeynalicum)*. S.I.: Riobamba. Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- HARBORNE, J.B.; WILLIAMS, C., 2000. Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry*, vol. 52, pp. 481–504.
- KUSKOSKI, E. M.; ASUERO, A. G.; MORALES, M. T.; FETT, R., 2006. Frutos tropicais silvestres e polpas de frutas congeladas: atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. *Ciência Rural*, vol. 36, pp. 1283–1287.
- LABUZA, T., 2003. Shelf Life Testing: Procedures and Prediction Methods for Frozen Foods. *En M. Erickson, & Y. Hung, Quality in Frozen Food*. St. Paul: University of Minnesota.: s.n., pp. 1–46.
- LABUZA, T.P., 1984. Application of Chemical Kinetics to Deterioration of Foods. *Journal of Chemical Education* [en línea], vol. 61, no. 4, pp. 348. ISSN 0021-9584. DOI 10.1021/ed061p348. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1021/ed061p348>.
- LAMPE, J.W., 1999. Health effects of vegetables and fruits: assesing the mechanisms of action in human experiments studies. *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 70.
- LAVARDA, L., 2011. Determinação da Cinética de degradação térmica da vitamina C em polpa de acerola via aquecimento óhmico. , pp. 44.
- LOPES, A.S., MATTIETTO, R.D.A. y MENEZES, H.C. De, 2005. Estabilidade da polpa de pitanga sob congelamento. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, vol. 25, no. 3, pp. 553–559. ISSN 0101-2061. DOI 10.1590/S0101-20612005000300026.

- MARTIN, L.G.P., 2013. Estudio da secagem da polpa de cupuaçu por atomização, pp. 110.
- MARTINUS VAN BOEKEL, A.J.S., 2009. *Kinetic modeling of reactions in foods*. United States of America: CRC Press. ISBN 9781574446142.
- MATOS, A. y CHUQUILÍN, E.F., 2010. Estudio de la Influencia de la Concentración en la Retención de Vitamina C en Jugo Fresco y Concentrado de Carambola (*Averrhoa carambola* L.). *Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos* [en línea], vol. 1, no. 2218–3310, pp. 36–42. ISSN 2218-3310. Disponible en: <http://investigacion.upeu.edu.pe/images/Journal/RVCITAL01/Chuquilin-Eddy.pdf>.
- MEJÍA, L.J., NARVÁEZ, C.E. y RESTREPO, L.P., 2006. Physical, chemical and organoleptic changes during frozen storage of araza (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) pulp. *Revista Agronomía Colombiana* [en línea], vol. 24, no. 1, pp. 87–95. [Consulta: 21 noviembre 2016]. ISSN 0120-9965. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-99652006000100011&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652006000100011&lng=en&nrm=iso&tlng=es).
- MELGAREJO, M.L., HERNÁNDEZ, M.S., BARRERA, J.A. y CARRILLO, M., 2006. *Oferta y potencialidades de un Banco de Germoplasma del Género Theobroma en el Enriquecimiento de los sistemas productivos de la Región Amazónica*. 1. Bogotá D.C.: Editorial Scripto Ltda. ISBN 9589795080, 9789589795088.
- MENDOZA-CORVIS, F.A. y HERNÁNDEZ, E.J., 2015. Efecto del Escaldado sobre el Color y Cinética de Degradación Térmica de la Vitamina C de la Pulpa de Mango de Hilacha ( *Mangífera indica* var magdalena river ) Effect of Blanching on the Color and Thermal Degradation Kinetics of Vitamin C of Mango of Hila. , vol. 26, pp. 9–16. DOI 10.4067/S0718-07642015000300003.
- OLIVEIRA, A.D.N., RAMOS, A.M., CHAVES, J.B.P. y VALENTE, M.E.R., 2013. Cinética de degradação e vida-de-prateleira de suco integral de manga. *Ciênc rural* [en línea], vol. 43, no. 1, pp. 172–177. ISSN 01038478. DOI 10.1590/S0103-84782012005000147. Disponible en: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&).
- ORDÓÑEZ-SANTOS, L.E., PORTILLA, M.A.O. y RODRÍGUEZ, D.X.R., 2013. Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 10, no. 2, pp. 44–51. ISSN 17944449.
- ORDÓÑEZ, S. y PORTILLA, M., 2013. Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 10, pp. 44–51.
- PÉREZ, P., 2015. *COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LA PULPA*

TAMIZADA DE 4 COPOAZÚ (*Theobroma grandiflorum*). S.l.: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

- PORTE, A.; REZENDE, C. M.; ANTUNES, O. A. C.; MAIA, L.H., 2010. Redução de aminoácidos em polpas de bacuri (*Platonia insignis* Mart), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Willd ex Spreng Schum) e murici (*Byrsonima crassifolia* L.) processado (aquecido e alcalinizado). *Acta Amazônia.*, vol. 40, pp. 573–578.
- ROGEZ, H.; BUXANT, R.; MIGNOLET, E.; SOUZA, J. N. S.; SILVA, E.M. y LARONDELLE, 2004. Chemical composition of the pulp of three typical Amazonian fruits: araçá-boi (*Eugenia stipitata*), bacuri (*Platonia insignis*) and cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). *European Food Research and Technology, Springer - Verlag, Zeitschrift für Lebensmittel*,
- SADLER, G.D. y MURPHY, P.A., 2010. pH and Titratable Acidity. *Chemical Properties and Characteristics of Foods*. S.l.: s.n., pp. 219–238. ISBN 9781441914781.
- SÁNCHEZ-CHÁVEZ, W., CORTEZ-ARREDONDO, J., SOLANO-CORNEJO, M. y VIDAURRE-RUIZ, J., 2015. Kinetics of thermal degradation of betacyanins, betaxantins and vitamin C in a juice-based drink beet (*Beta vulgaris* L.) and honey. *Scientia Agropecuaria* [en línea], vol. 6, no. 2, pp. 111–118. ISSN 2306-6741. DOI 10.17268/sci.agropecu.2015.02.03. Disponible en:  
<http://www.revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/866>.
- SANTOS, G. M., MAIA G. A., SOUSA, P. M., FIGUEIREDO, R. W., COSTA, J.M.C. y FONSECA, A.V. V, 2010. Antioxidant activity and correlations with bioactive components from commercial products of cupuaçu. *Ciencia Rural*, vol. 40, pp. 1636–1642.
- SILVA, F.M., SIMS, C., BALABAN, M.O., SILVA, C.L.M. y O'KEEFE, S., 2000. Kinetics of flavour and aroma changes in thermally processed cupuacu (*Theobroma grandiflorum*) pulp. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 80, no. 6, pp. 783–787. ISSN 00225142. DOI 10.1002/(SICI)1097-0010(20000501)80:6<783::AID-JSFA622>3.0.CO;2-R.
- SILVERIRA, M., 2005. Cinética da degradação do ácido ascórbico em polpas de frutas congeladas. ,
- SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F. DE.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J.C.S.. J. y SILVA, A.; SOUZA FILHO, M. de S. de, 2001. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* d.c.) pelo processo “foam-mat”. *Ciência e tecnologia de Alimentos*, vol. 21, n 2, pp. 164–170.
- SOUSA, M. S. B.; VIEIRA, L. M. V.; SILVA, M. J. M.; LIMA, A., 2011. Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais. *Ciênc. agrotec*, vol. 35, pp. 554–559.

- TAVARES, J.C., GÓIS, V.D. DE, NETO, F.B. y OLIVEIRA, M.J.A. DE, 1998. Métodos de congelamento na conservação da acerola (*Mapighia emarginata* DC.). . S.I.:
- VELHO, C. C., CHARLES, D. J., SIMON, J.E., 1991. Volatile fruit constituents os theobroma grandiflorun. *Hortscience*, vol. 26, pp. 608–611.
- VELHO, C. C.; WHIPKEY, A.; JANICK, J., 1990. Cupuassu: a new beverage crop for Brazil. *J. Janick and J. E. Simons (eds), Advances in New Crops.*, vol. 1, pp. 372–375.
- VENTURIERI, G.A., 1993. *Cupuaçu: A espécie, sua cultura, usos, e processamento*. 1993. S.I.: Clube do cupu.
- VIEIRA, M.C., TEIXEIRA, A.A. y SILVA, C.L.M., 2000. Mathematical modeling of the thermal degradation kinetics of vitamin C in cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) nectar. *Journal of Food Engineering*, vol. 43, no. 1, pp. 1–7. ISSN 02608774. DOI 10.1016/S0260-8774(99)00121-1.
- VILA LÓPEZ, R., 2007. Caracterización físico-química del membrillo japonés (*Chaenomeles* Sp. Lindl.). Desarrollo fisiológico y conservación frigorífica. *TDR (Tesis Doctorales en Red)*,
- VIVAS, D., HOYOS, S., RAMÍREZ, S., AZARBE, M., CRAVZOV, A., AVALLONE, C., BÁEZ, M., 2003. Relevamiento de técnicas analíticas para la investigación de vitamina C en mieles. *Jornadas de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. UNNE*,
- YAMASHITA, F., BENASSI, M.D.T., TONZAR, A.C., MORIYA, S. y FERNANDES, J.G., 2003. Produtos de acerola: estudo da estabilidade de vitamina C. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* [en línea], vol. 23, no. 1, pp. 92–94. ISSN 0101-2061. DOI 10.1590/S0101-20612003000100019. Disponible en: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-20612003000100019&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612003000100019&nrm=iso).
- YANG, H., PROTIVA, P., CUI, B.M.A.C., BAGGETT, S., HEQUET, V., MORI, S. y AL., E., 2003. New bioactive polyphenols from *Theobroma grandiflorum* (“cupuacu”). *J. Nat. Prod.*, vol. 66, pp. 1501–1504.
- ZEECE, M., 2020. *INTRODUCTION TO THE CHEMISTRY OF FOOD*. 1. San Diego: Elsevier B.V. ISBN 9780128094341.

## ANEXOS

Cuadro 3: Matriz de consistencia.

	PROBLEMA	OBJETIVOS	MÉTODOS	HIPOTESIS DE INVESTIGACIÓN	VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	
<p><i>CINETICA DE LA DEGRADACIÓN Y ESTABILIDAD DEL ÁCIDO ASCÓRBICO EN LA PULPA DE COPOAZÚ (Theobroma grandifloru).</i></p>	<p>¿En qué medida los procedimientos para la obtención de pulpa de copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i>) y su almacenamiento a diferentes temperaturas afectan su contenido de ácido ascórbico?</p>	<b>General:</b>	<p>Determinar la cinética de degradación y estabilidad del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i>).</p>	<p>La cinética de degradación y estabilidad del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i>) es influenciada por la temperatura de procesamiento, temperatura y tiempo de almacenamiento.</p>	<b>Entrada</b>		
					Tratamiento térmico	Magnitud física que refleja la cantidad de calor, nivel térmico de un cuerpo o atmósfera.	
					Temperatura de almacenamiento	Temperatura que simula condiciones normales en la que el producto es almacenado.	
			<b>Específicos:</b>			<b>Salida</b>	
			Determinar las constantes cinéticas de degradación del ácido ascórbico en la pulpa de copoazú ( <i>Theobroma grandiflorum</i> ).		Metodo de regresión lineal simple	Cinética de degradación del ácido ascórbico.	Cantidad de ácido ascórbico contenida en un volumen.
			<p>Evaluar la estabilidad de la pulpa de copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i>) a través del monitoreo en la concentración de ácido ascórbico, pH, acidez total titulable y sólidos solubles (°Brix) durante un periodo de 80 días a tres temperaturas de almacenamiento (5°C, -7°C y -15°C).</p>		Ácido ascórbico: Metodo volumétrico del 2,6-diclorofenolindofenol (Método 967.21 AOAC modificado por Bensassi y Antunes).	AA	Vitamina termo sensible.
					pH: mediante potenciometro (Método AOAC 981.12).	pH	Medida que indica la concentración de iones de hidrógeno en una disolución.
	Acidez(% ácido cítrico): mediante Método AOAC 942.15.	% Ácido cítrico		Indicador que expresa el contenido de ácidos libres en una matriz, expresado como el porcentaje del ácido predominante.			
	Sólidos solubles (°Brix): mediante refractometría (Método AOAC 931.12).	°Brix		Cantidad de sólidos solubles expresados en sacarosa.			

Fuente: Elaboración propia (2019).

## Anexo 1: Determinación del número de orden de reacción de la cinética de degradación del ácido ascórbico en pulpa de copozú sin tratamiento térmico.

**Tabla 15:** Determinación del número de orden de reacción a una temperatura de 5°C.

Tiempo (Días)	5°C		
	[A]	Log[A]	1/[A]
0	49,2954	1,6929	0,0203
20	40,7628	1,6103	0,0246
40	36,7618	1,5654	0,0273
60	29,0973	1,4639	0,0344
80	26,9021	1,4298	0,0372

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 16:** Determinación del número de orden de reacción a una temperatura de -5°C.

Tiempo (Días)	-5°C		
	[A]	Log[A]	1/[A]
0	49,2954	1,6929	0,0203
20	46,4575	1,6671	0,0216
40	45,4291	1,6574	0,0221
60	43,2873	1,6364	0,0232
80	41,0986	1,6139	0,0244

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 17:** Determinación del número de orden de reacción a una temperatura de -15°C.

Tiempo (Días)	-15°C		
	[A]	Log[A]	1/[A]
0	49,2954	1,6929	0,0203
20	47,8974	1,6804	0,0209
40	45,977	1,6626	0,0218
60	44,4635	1,6481	0,0225
80	42,9601	1,6331	0,0233

Fuente: Elaboración propia (2019).

## Anexo 2: Determinación del número de orden de reacción de la cinética de degradación del ácido ascórbico en pulpa de copozú con tratamiento térmico.

**Tabla 18:** Determinación del número de orden de reacción a una temperatura de 5°C.

Tiempo (Días)	5°C		
	[A]	Log[A]	1/[A]
0	38,1995	1,5821	0,0262
20	16,2787	1,2117	0,0615
40	8,9248	0,9506	0,1121
60	3,7611	0,5754	0,2659
80	3,0204	0,4801	0,3311

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 19:** Determinación del número de orden de reacción a una temperatura de -5°C.

Tiempo (Días)	-5°C		
	[A]	Log[A]	1/[A]
0	38,1995	1,5821	0,0262
20	36,5808	1,5633	0,0274
40	35,7961	1,5539	0,028
60	34,6787	1,5401	0,0289
80	33,3127	1,5227	0,0301

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 20:** Determinación del número de orden de reacción a una temperatura de -15°C.

Tiempo (Días)	-15°C		
	[A]	Log[A]	1/[A]
0	38,1995	1,5821	0,0262
20	37,1029	1,5695	0,027
40	36,6825	1,5645	0,0273
60	36,2236	1,559	0,0277
80	35,2066	1,5467	0,0285

Fuente: Elaboración propia (2019).

### Anexo 3: Efecto de la temperatura de almacenamiento en los cambios de ácido ascórbico en pulpa de copoazú durante su almacenamiento.

**Tabla 21:** Valores de ácido ascórbico de la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico a diferentes temperaturas de almacenamiento.

Tiempo (Días)	5°C	-5°C	-15°C
0	49,2954	49,2954	49,2954
20	40,7628	46,4575	47,8974
40	36,7618	45,4291	45,977
60	29,0973	43,2873	44,4635
80	26,9021	41,0986	42,9601

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 22:** ANOVA de ácido ascórbico a diferentes temperaturas de almacenamiento en pulpa de copoazú sin tratamiento térmico.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P valor	Valor crítico para F
Entre Tratamiento	338,4982	2	169,491	5,482312	0,020358	3,885294
Dentro de los tratamientos	370,4621	12	30,87184			
Total	708,9603	14				

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 23:** Resultados de la prueba Tukey.

Grupo 1	Grupo 2	M	ES	q-stat	Inferior	Superior	P-valor
5°C	-5°C	8,430948	2,484828	3,392971	-094431	17,8062	0,07972
5°C	-15°C	11,16089	2,484828	4,491615	1,785634	20,53614	0,020218
-5°C	-15°C	2,729941	2,484828	1,098644	-6,64531	12,1052	0,723689

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 24:** Valores de ácido ascórbico de la pulpa de copoazú con tratamiento térmico a diferentes temperaturas de almacenamiento.

Tiempo (Días)	5°C	-5°C	-15°C
0	38,1995	38,1995	38,1995
20	16,2787	36,5808	37,1029
40	8,9248	35,7961	36,6825
60	3,7611	34,6787	36,2236
80	3,0204	33,3127	35,2066

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

**Tabla 25:** ANOVA de ácido ascórbico a diferentes temperaturas de almacenamiento en pulpa de copoazú con tratamiento térmico

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P valor	Valor crítico para F
Entre tratamientos	1934,2830	2	967,14152	12,9778662	0,0009987	3,8852938
Dentro de los tratamientos	894,2686	12	74,52238333			
Total	2828,5516	14				

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

**Tabla 26:** Resultados de la prueba Tukey.

Grupo 1	Grupo 2	M	ES	q-stat	Inferior	Superior	P-valor
5°C	-5°C	23,548	3,860632	6,09952	8,981837	38,11416	0,002678
5°C	-15°C	24,596	3,860632	6,370978	10,02984	39,16216	0,001923
-5°C	-15°C	1,048	3,860632	0,271458	-13,5182	15,61416	0,979927

**Fuente:** Elaboración propia (2019).

#### Anexo 4: Efecto de la temperatura de almacenamiento en los cambios de acidez titulable en pulpa de copoazú durante su almacenamiento.

**Tabla 27:** Valores de acidez titulable de la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico a diferentes temperaturas de almacenamiento

Tiempo (Días)	5°C	-5°C	-15°C
0	2,9088	2,9088	2,9088
20	2,7314	2,5204	2,5758
40	2,7840	2,7081	2,7267
60	2,7535	2,6507	2,5115
80	3,1462	2,6340	2,4855

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 28:** ANOVA de acidez titulable a diferentes temperaturas de almacenamiento en pulpa de copoazú sin tratamiento térmico.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P valor	Valor crítico para F
Entre grupos	0,1402632	2	0,0701316	2,600476	0,115284	3,8852938
Dentro de los grupos	0,3236251	12	0,0269687			
Total	0,4638884	14				

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 29:** Resultados de la prueba Tukey.

Grupo 1	Grupo 2	M	ES	q-stat	Inferior	Superior	P-valor
5°C	-5°C	0,1804	0,0734	2,4563	-0,0967	0,4575	0,2321
5°C	-15°C	0,2231	0,0734	3,0382	-0,0540	0,5002	0,1215
-5°C	-15°C	0,0427	0,0734	0,5819	-0,2344	0,3198	0,9116

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 30:** Valores de acidez titulable de la pulpa de copoazú con tratamiento térmico a diferentes temperaturas de almacenamiento.

Tiempo (Días)	5°C	-5°C	-15°C
0	2,5062	2,,5062	2,5062
20	2,6193	2,5809	2,5745
40	2,6249	2,6115	2,6517
60	2,5689	2,5523	2,5848
80	2,5902	2,5913	2,6308

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 31:** ANOVA de acidez titulable a diferentes temperaturas de almacenamiento en pulpa de copoazú con tratamiento térmico.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P valor	Valor crítico para F
Entre grupos	0,001145	2	0,000573	0,23972	0,790527	3,885294
Dentro de los grupos	0,028667	12	0,002389			
Total	0,029812	14				

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 32:** Resultados de la prueba Tukey.

Grupo 1	Grupo 2	M	ES	q-stat	Inferior	Superior	P-valor
5°C	-5°C	0,0135	0,0219	0,6163	-0,0690	0,0959	0,9014
5°C	-15°C	0,0077	0,0219	0,3509	-0,0748	0,0901	0,9667
-5°C	-15°C	0,0211	0,0219	0,9672	-0,0613	0,1036	0,7771

Fuente: Elaboración propia (2019).

## Anexo 5: Efecto de la temperatura de almacenamiento en los cambios de °Brix en pulpa de copoazú durante su almacenamiento.

**Tabla 33:** Valores de °Brix de la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico a diferentes temperaturas de almacenamiento.

Tiempo (Días)	5°C	-5°C	-15°C
0	10,9133	10,9133	10,9133
20	9,4600	9,4067	10,0733
40	14,8900	15,8000	15,9067
60	10,5400	11,5133	9,5433
80	6,1700	11,2067	11,3600

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 34:** ANOVA de °Brix a diferentes temperaturas de almacenamiento en pulpa de copoazú sin tratamiento térmico

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P valor	Valor crítico para F
Entre grupos	5,4767	2	2,7384	0,3743	0,6955	3,8853
Dentro de los grupos	87,7917	12	7,3160			
Total	93,2684	14				

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 35:** Resultados de la prueba Tukey.

Grupo 1	Grupo 2	M	ES	q-stat	Inferior	Superior	P-valor
5°C	-5°C	1,3733	12096	1,1353	-3,1906	5,9373	0,7084
5°C	-15°C	1,1647	1,2096	0,9628	-3,3993	5,7286	0,7788
-5°C	-15°C	0,2087	1,2096	0,1725	-4,3553	4,7726	0,9918

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 36:** Valores de °Brix de la pulpa de copoazú con tratamiento térmico a diferentes temperaturas de almacenamiento.

Tiempo (Días)	5°C	-5°C	-15°C
0	11,6000	11,6000	11,6000
20	11,3867	10,2333	10,1633
40	11,8100	10,9267	11,6067
60	11,5867	10,7900	11,2600
80	12,1600	11,7600	11,2267

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 37:** ANOVA de °Brix a diferentes temperaturas de almacenamiento en pulpa de copoazú con tratamiento térmico.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P valor	Valor crítico para F
Entre grupos	1,1981	2	0,5990	2,1782	0,1559	3,8853
Dentro de los grupos	3,3002	12	0,2750			
Total	4,4983	14				

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 38:** Resultados de la prueba Tukey.

Grupo 1	Grupo 2	M	ES	q-stat	Inferior	Superior	P-valor
5°C	-5°C	0,6467	0,2345	2,7573	-0,2382	1,5315	0,1674
5°C	-15°C	0,5373	0,2345	2,2911	-0,3475	1,4222	0,2751
-5°C	-15°C	0,1093	0,2345	0,4662	-0,7755	0,9942	0,9421

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Anexo 6: Efecto de la temperatura de almacenamiento en los cambios de pH en pulpa de copoazú durante su almacenamiento.**

**Tabla 39:** Valores de pH de la pulpa de copoazú sin tratamiento térmico a diferentes temperaturas de almacenamiento.

Tiempo (Días)	5°C	-5°C	-15°C
0	3,0433	3,0433	3,0433
20	4,4390	4,7300	4,7537
40	4,6320	4,8887	5,1327
60	4,6593	5,3420	5,4630
80	4,9707	5,1810	5,2720

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 40:** ANOVA de pH a diferentes temperaturas de almacenamiento en pulpa de copoazú sin tratamiento térmico

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P valor	Valor crítico para F
Entre grupos	0,3996	2	0,1998	0,2518	0,7814	3,8853
Dentro de los grupos	9,5190	12	0,7933			
Total	9,9186	14				

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 41:** Resultados de la prueba Tukey.

Grupo 1	Grupo 2	M	ES	q-stat	Inferior	Superior	P-valor
5°C	-5°C	0,2881	0,3983	0,7234	-1,2147	1,7910	0,8672
5°C	-15°C	0,3841	0,3983	0,9642	-1,1188	1,8869	0,7782
-5°C	-15°C	0,0959	0,3983	0,2409	-1,4069	1,5988	0,9842

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 42:** Valores de pH de la pulpa de copoazú con tratamiento térmico a diferentes temperaturas de almacenamiento.

Tiempo (Días)	5°C	-5°C	-15°C
0	3,1100	3,1100	3,1100
20	4,9937	5,1553	4,3323
40	4,9413	5,0770	4,7153
60	5,7800	5,3843	5,2053
80	5,2190	5,2933	5,4657

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 43:** ANOVA de pH a diferentes temperaturas de almacenamiento en pulpa de copoazú con tratamiento térmico

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P valor	Valor crítico para F
Entre grupos	0,1931	2	0,0966	0,1043	0,9017	3,8853
Dentro de los grupos	11,1080	12	0,9257			
Total	11,3011	14				

Fuente: Elaboración propia (2019).

**Tabla 44:** Resultados de la prueba Tukey.

Grupo 1	Grupo 2	M	ES	q-stat	Inferior	Superior	P-valor
5°C	-5°C	0,0048	0,4303	0,0112	-1,6186	1,6282	1,0000
5°C	-15°C	0,2431	0,4303	0,5649	-1,3803	1,8665	0,9164
-5°C	-15°C	0,2383	0,4303	0,5538	-1,3851	1,8617	0,9195

Fuente: Elaboración propia (2019).