

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería de Alimentos



Una Institución Adventista

Evaluación de la cinética de degradación térmica de la vitamina C en la pulpa de tumbo (*Passiflora mollissima* b.)

Por:

Sandra Rosy Quillimamani Soncco

Asesor:

Ing. Alex Danny Chambi Rodríguez

Juliaca, junio de 2019

DECLARACION JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

Ing. Alex Danny Chambi Rodríguez, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería de Alimentos, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE DEGRADACIÓN TÉRMICA DE LA VITAMINA C EN LA PULPA DE TUMBO (*PASSIFLORA MOLLISSIMA* B.)" constituye la memoria que presenta la bachiller Sandra Rosy Quillimamani Soncco para aspirar al título Profesional de Ingeniero de Alimentos ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca a los once días del mes de junio del año dos mil diecinueve.



Ing. Alex Danny Chambi Rodríguez

Evaluación de la cinética de degradación térmica de la vitamina C en
la pulpa de tumbo (*Passiflora mollissima* b.)

TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero de Alimentos

JURADO CALIFICADOR




Ing. MSc. Camen Rosa Apaza Humerez
Presidenta



Ing. Enrique Mamani Cuela
Secretario



Ing. Joel Jerson Coaquira Quispe
Vocal



Ing. Edgar Mayta Pinto
Vocal



Ing. Alex Danny Chambi Rodriguez
Asesor

Juliaca, 11 de junio de 2019

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados. A mis queridos padres y hermanos, por su paciencia, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que ahora soy, ha sido un orgullo y el privilegio ser su hija, son los mejores padres. A mis amigas y todas las personas que me apoyaron y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

“Sandra Rosy Quillimamani Soncco”

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por haberme guiado hasta este momento con todas sus bendiciones en mi vida, a mi familia que siempre está presente en mis buenos y malos momentos, también agradecer al Programa Nacional de Becas y Créditos Educativos que me dio la oportunidad de realizar mis estudios en la Universidad Peruana Unión en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, escuela profesional de Ingeniería de Alimentos.

Este proyecto es el resultado del esfuerzo en conjunto de todos los que formamos el grupo de trabajo, por tal motivo agradezco a mi asesor Ing. Alex Danny Chambi Rodriguez por brindarme su confianza, tiempo y experiencia para poder realizar este proyecto, asimismo agradecer al Ing. Joel Jerson Coaquira Quispe por su apoyo incondicional durante todo el proceso del proyecto, finalmente agradecer a todos los docentes de mi querida escuela.

"Una vez Dios habló, dos cosas yo entendí: Que de Dios es la fuerza, y tuya es, oh Señor, también la gracia. Que eres tú quien retribuye a cada cual según sus obras."

Salmos, 62

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
ABREVIATURAS Y UNIDADES	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPITULO I.....	14
EL PROBLEMA	14
Objetivo General.....	15
Objetivos específicos.....	15
CAPITULO II.....	16
REVISIÓN DE LITERATURA	16
2.1. Frutas tropicales o exóticas.....	16
2.2. Tumbo (<i>Passiflora mollissima</i> b.).....	17
2.2.1. Variedades de Passiflora	17
2.2.2. Atributos nutricionales de las frutas.....	18
2.3. Vitamina C.....	18
2.3.1. Estructuras y propiedades generales del ácido ascórbico.....	19
2.3.2. Función biológica	20
2.4. Cinética de reacciones.....	20
2.4.1. Orden de reacción.....	21
2.4.1.1. Reacción de orden cero.....	21
2.4.1.2. Reacción de primer orden.....	22
2.4.1.3. Reacción de segundo orden	22
2.5. Efecto térmico en la degradación de vitaminas	23
2.5.1. Cinética de destrucción térmica.....	23
2.5.2. Evaluación de los valores cinéticos.....	23
2.5.2.1. Velocidad de reacción de degradación (valor k).....	23
2.5.2.2. Tiempo de reducción decimal (valor D)	23
2.5.2.3. Coeficiente de temperatura de degradación (valor z)	24
2.5.2.4. Energía de activación (E_a)	24
2.6. Antecedentes de la investigación	25
CAPÍTULO III	27
MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1. Lugar de ejecución.....	27
3.2. Materiales, reactivos y equipos.....	27

3.2.1. Materia prima	27
3.2.2. Reactivos.....	27
3.2.3. Materiales de laboratorio	27
3.2.4. Equipos	28
3.3. Métodos de análisis	28
3.3.1. Análisis fisicoquímico	28
3.3.2. Metodología experimental	28
3.3.2.1. Descripción del flujo del proceso.....	29
3.3.2.2. Porcentaje de pérdida de vitamina C.....	31
3.3.2.3. Tiempo óptimo de procesamiento.....	31
3.3.3. Determinación de los valores cinéticos de la degradación térmica	30
3.3.3.1. Cálculo de la constante de velocidad de reacción de degradación (k).....	30
3.3.3.2. Tiempo de reducción decimal (D)	30
3.3.3.3. Coeficiente de temperatura de degradación (z).....	30
3.3.3.4. Cálculo de la energía de activación (E_a).....	30
3.3.3.5. Factor adimensional o valor Q_{10}	31
3.3.4. Análisis estadístico	32
3.3.4.1. Diseño factorial completamente al azar	32
CAPÍTULO IV	33
RESULTADOS Y DISCUSIONES	33
4.1. Características fisicoquímicas de la pulpa de Tumbo	33
4.2.1. Construcción de la curva patrón.....	34
4.2.2. Determinación de los valores cinéticos en la degradación de vitamina C.....	36
4.2.3. Cálculo del valor k y D de la vitamina C durante el tratamiento térmico.....	42
4.2.4. Cálculo del valor de resistencia térmica (z).....	43
4.2.5. Cálculo de la Energía de activación (E_a).....	44
4.2.6. Cálculo de Q_{10}	44
4.3. Cálculo de tiempo óptimo de procesamiento	45
4.3.1. Porcentaje de pérdida	45
CAPITULO V	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
4.4. Conclusiones.....	47
4.5. Recomendaciones	47
REFERENCIAS	48
ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Variedades de passiflora.....	18
Tabla 2. Valor nutricional del tumbo y variedades de passifloras.....	18
Tabla 3. Antecedentes de la investigación.....	25
Tabla 4. Tratamientos experimentales del tratamiento térmico de la pulpa.....	32
Tabla 5. Caracterización fisicoquímica	33
Tabla 6. Parámetros para la construcción de la curva patrón	34
Tabla 7. Parámetros de la regresión lineal.....	35
Tabla 8. Contenido de vitamina C durante los tratamientos térmicos.....	36
Tabla 9. Orden de reacción para la temperatura de 60°C.....	38
Tabla 10. Orden de reacción para la temperatura de 70°C.....	39
Tabla 11. Orden de reacción para la temperatura de 80°C.....	40
Tabla 12. Coeficiencia de determinación lineal para el orden de reacción	41
Tabla 13. Constante de velocidad (k) y tiempo de reducción decimal (D)	42
Tabla 14. Tiempo óptimo de los tratamientos térmicos	45
Tabla 15. Porcentaje de pérdida de vitamina C	46

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Frutas tropicales y exóticas	16
Figura 2. Estructura del ácido ascórbico y ácido dehidroascórbico	19
Figura 3. Esquema de acondicionamiento de las muestras	30
Figura 4. Curva patrón para la determinación de la vitamina C.....	35
Figura 5. Contenido de vitamina C a diferentes temperaturas y tiempo	37
Figura 6. Residuos en función de la temperatura de 60°C	38
Figura 7. Residuos en función de la temperatura de 70°C	39
Figura 8. Residuos en función de la temperatura de 80°C	40
Figura 9. Valor de resistencia térmica	43
Figura 10. Energía de activación	44

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Preparación de soluciones y curva patrón.....	55
Anexo B. características físicas del tumbo.....	56
Anexo C. Repeticiones del contenido de vitamina C en la pulpa de tumbo.....	57
Anexo D. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación del contenido de vitamina C en las pruebas.....	58
Anexo E. Determinación de curva patrón	59
Anexo F. Recepción de materia prima	59
Anexo G. Centrifugado y filtrado de la muestra	59
Anexo H. Determinación de Acidez.....	60
Anexo I. Determinación de pH.....	60
Anexo J. Medición de temperatura para iniciar el experimento.....	60
Anexo K. Modelos de ajuste para con la ecuación exponencial.	61
Anexo L. Modelos de residuos	61
Anexo M. Observado, predicción y residuos	61
Anexo N. Análisis de varianza frente a 60°C.....	62
Anexo O. Análisis de varianza frente a 70°C.....	62
Anexo P. Análisis de varianza frente a 80°C	62

ABREVIATURAS Y UNIDADES

DFIF	: Diclorofenolindofenol
ANOVA	: Análisis de varianza.
°Brix	: Sólidos solubles.
DHAA	: Ácido dehidroascórbico.
EMC	: Error cuadrático medio.
<i>K</i>	: Velocidad de reacción de degradación.
<i>D</i>	: Tiempo de reducción decimal.
<i>Z</i>	: Coeficiente de temperatura de degradación.
<i>E_a</i>	: Energía de activación.
<i>n</i>	: Orden de reacción
<i>T</i>	: Temperatura
<i>t</i>	: Tiempo
<i>C₀, C</i>	: Concentraciones inicial y final.
pH	: Potencial de hidrogeniones.
<i>Q₁₀</i>	: Factor adimensional.
<i>R²</i>	: Coeficiente de determinación lineal.
min	: Minutos.
ml	: Mililitros.
g	: Gramos.
mg	: Miligramos.
DE	: Desviación estándar

RESUMEN

La vitamina C es un micronutriente importante, que se encuentra en los frutos ácidos tal es el caso del tumbo, estudios han demostrado efectos beneficiosos de la vitamina C en la salud debido a sus capacidades antioxidantes y eliminadores de radicales libres. El objetivo de la investigación fue evaluar la cinética de degradación térmica de la vitamina C de la pulpa de tumbo (*Passiflora mollissima* b.). Se preparó la pulpa de tumbo que posteriormente fue sometida a diferentes temperaturas (60, 70 y 80°C) y tiempos (0, 5, 10, 15 y 20 min). El contenido de vitamina C en la pulpa de tumbo fue de 77.01 mg/100g que se analizó por espectrofotometría. Los resultados mostraron que la degradación de la vitamina C siguió los modelos cinéticos de segundo orden. Las constantes de velocidades de degradación para el ácido ascórbico en la pulpa de tumbo fueron: $k_{60} = 0,014 \text{ min}^{-1}$, $k_{70} = 0,019 \text{ min}^{-1}$ y $k_{80} = 0,023 \text{ min}^{-1}$ y los tiempos de reducción decimal son: $D_{60} = 162.17 \text{ min}$, $D_{70} = 121.74 \text{ min}$ y $D_{80} = 101.76 \text{ min}$. El valor z fue de 99 °C, la E_a en el rango de temperaturas de 60 – 80°C es de 22.84 kJ/mol y el valor de Q_{10} es de 1,60. El tiempo y temperatura óptimo de pasteurización en la pulpa de tumbo es de 10.69 min a 60°C, por presentar el mejor índice de correlación, retener la mayor cantidad de ácido ascórbico, presentar una velocidad de reacción menor y requiere de un mayor tiempo de reducción decimal. Se llegó a la conclusión que a mayor temperatura mayor es la degradación de vitamina C, los datos que se obtuvieron ayudarán a predecir las mejores condiciones de procesamiento de la pulpa de tumbo y minimizar la degradación ya que es un factor de calidad importante.

Palabras clave: Pulpa de *passiflora mollissima*, cinética de degradación, vitamina C.

ABSTRACT

Vitamin C is an important micronutrient, which is found in acid fruits such as tumbo, studies have shown beneficial effects of vitamin C on health due to its antioxidant and free radical scavengers. The objective of the research was to evaluate the kinetics of thermal degradation of vitamin C from the tumbo pulp (*Passiflora mollissima* b.). The tumbo pulp was prepared and subsequently subjected to different temperatures (60, 70 and 80 °C) and times (0, 5, 10, 15 and 20 min). The content of vitamin C in the tumbo pulp was 77.01 mg/100g that was analyzed by spectrophotometry. The results showed that the degradation of vitamin C followed the second order kinetic models. The constants of degradation rates for the ascorbic acid in the tumble pulp were: $k_{60} = 0.014 \text{ min}^{-1}$, $k_{70} = 0.019 \text{ min}^{-1}$ and $k_{80} = 0.023 \text{ min}^{-1}$ and the decimal reduction times are: $D_{60}=162.17 \text{ min}$, $D_{70}= 121.74 \text{ min}$ and $D_{80} = 101.76 \text{ min}$. The z value was 99 °C, the E_a in the temperature range of 60 to 80 °C is 22.84 kJ/mol and the value of Q_{10} is 1.6. The optimal time and temperature of pasteurization in the tumbo pulp is 10.69 min at 60°C, because it presents the best correlation index, retains as much ascorbic acid, has a lower reaction speed and requires a longer decimal reduction time. It was concluded that the greater the temperature, the higher the degradation of vitamin C, the data obtained will help to predict the best processing conditions of the tumbo pulp and minimize degradation since it is an important quality factor.

Key words: *Passiflora mollissima* pulp, degradation kinetics, vitamin C.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

El ser humano debe de incorporar a su dieta ciertas cantidades de vitamina C necesarias que ayuden a realizar procesos metabólicos tales como estimular el sistema inmunológico con el fin de combatir virus y bacterias, contribuyendo a la formación de colágeno, huesos y dientes, así como la reducción de riesgo de enfermedades pulmonares, cardiovasculares y cancerígenos (Vikram, Ramesh, & Prapulla, 2005).

Nuestro país cuenta con tres regiones costa, sierra y selva los cuales están llenos de frutos conocidos y desconocidos, entre estos se encuentran una gran cantidad de frutos con alto contenido de vitamina C entre otros componentes, las frutas conocidas que destacan con dicha vitamina son el limón, naranja, pomelos, maracuyá, toronjas, etc., y en la lista de frutas desconocidas se encuentran el tumbo, tomate de árbol, copoazú, yaca, entre otros que no son populares por la mayoría de la población debido a que son muy perecibles y difíciles de transportarlo para su expendio Florio (2006). El tumbo es un fruto que no es muy común en la dieta de la población, el fruto tiene una cantidad importante de vitamina C, ya que estructura química de la vitamina C es muy sensible a la degradación, numerosos factores influyen en los mecanismos degradativos, entre ellos la temperatura, tiempo, pH, la concentración de oxígeno, etc. (Serra & Cafaro, 2007).

La reducción de esta vitamina durante el procesamiento industrial de las frutas para convertirlos en zumos, néctares y jugos es significativa ya que se degradan fácilmente por diversos factores como los cambios de temperatura, oxígeno, pH, etc., esto con el fin de una mayor permanencia desde el punto de vista microbiológico, afectando la calidad nutricional de los mismos. Este problema es fuente de diversas investigaciones como las de Orosco (2017) en el tomate de árbol, Ordóñez, Portilla, Ospina, & Rodríguez (2013) en la guayaba, Matei et al (2008) en productos farmacéuticos, Cuastumal, Valencia, & Ordóñez (2016) en frutas tropicales y Páez et al. (2007) en jugo de parchita, y muchos otros trabajos más que explicaron la importancia de entender la reacción de degradación del ácido ascórbico investigando la cinética de degradación térmica de la vitamina C en las diferentes investigaciones ya mencionadas.

El presente proyecto nace a partir de la necesidad de generar un mejor aprovechamiento de los recursos de nuestro país, al realizar un proyecto de una fruta un tanto desconocida como es el Tumbo según lo indican Lama & Tezén (2017) y realizar el estudio de la degradación térmica y la cuantificación del contenido de vitamina C. Se considera que las necesidades diarias de la vitamina C para un adulto no exceden de los 65 a 95 mg y que cantidades superiores a los 3 g diarios causan acidificación de la orina e incrementan el consiguiente riesgo de cálculos urinarios Fennema & Tannenbaum (1993) y Ordóñez & Yoshioka (2012). Los modelos cinéticos de degradación térmica son esenciales para el diseño de nuevos procesos encaminados a la obtención de productos de elevada calidad. Este hecho es de gran importancia para los fabricantes de zumos, néctares, jugos, etc. para procesar y almacenar correctamente el jugo en condiciones apropiadas, por tanto, que el consumidor pueda obtener el máximo beneficio del contenido de vitamina C en los algunos productos. Se necesita controlar la predicción de la cuantía de las pérdidas, se requiere un conocimiento preciso de la cinética de degradación térmica, la constante de degradación es específica para cada producto y es necesario determinarla experimentalmente, para establecer un modelo matemático para la cinética de degradación de la vitamina C.

El creador de la tierra Dios dio al hombre para administrar los recursos naturales que se conocen como el agua, aire, suelo, vegetación y animales. Todo esto él lo creó para el sustento del ser humano, para abastecernos con los recursos necesarios y poder subsistir de manera que garantice el equilibrio en la tierra también para cuidarla y conservarla ya que de estos recursos dependerá la subsistencia de todas las generaciones posteriores. Por lo tanto, los hombres deben poner esfuerzos en cuidar estos recursos imprescindibles con el apoyo de tecnologías limpias y eficiente (Genesis 1:29).

1.2. Objetivo General

- Evaluar la cinética de degradación térmica de la vitamina C en la pulpa de tumbo.

1.3. Objetivos específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente la pulpa de tumbo.
- Evaluar el efecto del tratamiento térmico en el contenido de la vitamina C.
- Determinar los valores cinéticos en la degradación térmica de la vitamina C.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Frutas tropicales o exóticas

Según el diccionario de la RAE la palabra fruta se define como “fruto comestible de ciertas plantas cultivadas”. Las frutas tropicales (Figura 1) constituyen un grupo relativamente importante en el mercado nacional e internacional, ya que estas frutas tienen características únicas en el mercado mundial, además, esta se encuentra entre los productos alimenticios más valiosos a medida que su valor nutricional y terapéutico es más reconocido. Estas frutas ofrecen una oportunidad para productores locales para acceder a mercados especiales donde los consumidores hacen hincapié en carácter exótico y presencia de nutrientes capaces de prevenir enfermedades degenerativas (Altendorf, 2017).

Aparte de su valor nutricional y terapéutico, la mayoría de ellos cuentan cantidades considerables de micronutrientes, como minerales, fibras, vitaminas y compuestos fenólicos secundarios pero la capacidad antioxidante es una de sus principales características (Baldeón et al., 2015).



Figura 1. Frutas tropicales y exóticas.
Nota: AGRO (2016).

2.2. Tumbo (*Passiflora mollissima* b.)

El tumbo serrano es una especie nativa de las zonas andinas, aunque también se cultiva de forma silvestre en la costa peruana y ceja de selva, las zonas de producción de dicho fruto se ubican de 1000 hasta 3500 msnm, en las regiones de Ancash, Junín, Moquegua, Tacna, Puno, Cusco y Huancavelica. Crece en valles interandinos, con temperaturas que van de 18 °C a 24 °C, cultivándose mayormente bajo lluvia (Ururi, Subiabre, & Calle, 2011).

Su cultivo es de gran importancia para la economía de las familias campesinas, específicamente localizadas en la sierra peruana Florio (2006), desde las culturas pre – incas era el fruto ideal no solo para calmar la sed de forma apetitosa también contribuye propiedades a la salud. Por esta razón, el tumbo como otras frutas que tienen alto contenido en vitamina C como maracuyá, naranjas y toronjas, son recomendables para consumirlos en la temporada veraniega, como parte de las dietas hipocalóricas (López, 2009).

Por otro lado, en los últimos años, debido al crecimiento de la demanda internacional del maracuyá y granadilla, se ha perdido el interés por utilizar sosteniblemente este recurso. (Inocente, 2015). Asimismo, no hay gran cultivo del tumbo debido a que este fruto es sensible lo que dificulta el transporte a diferentes ciudades para su comercialización.

2.2.1. Variedades de *Passiflora*

La variedad *passiflora* es considerada por muchos como la mejor de las frutas de la pasión, es nativa de sudamérica. Su color varía de morado oscuro a amarilla, según la variedad. Esta fruta subtropical tiene forma ovalada, y su sabor, que se compara al de la guaba, se describe como dulce y agridulce dependiendo de su variedad (Tabla 1). Dentro de su cáscara dura, lisa y cerácea, encerrada en un saco membranoso, se encuentra una pulpa gelatinosa, jugosa, transparente, dulce y aromática, compuesta por alrededor de 250 pequeñas semillas comestibles, de color café oscuro o negro (López, Beltrán, Cardona, & Yepes, 2006).

El tumbo “*passiflora mollissima* b.” pertenece a la familia *passifloraceae*, las variedades y su taxonomía se encuentra en la Tabla 1.

Tabla 1.

Variedades de Passiflora

Variedades de Passiflora	Clasificación taxonómica	
Passiflora antioquiensis	Reino	Plantae
Passiflora cumbalensis	División	Magnoliophyta
Passiflora mixta	Clase	Magnoliopsida
Passiflora mollissima	Orden	Violales
Passiflora tripartita	Familia	Passifloraceae
Passiflora edulis	Genero	Passiflora
Passiflora quadrangularis	Especie	<i>Passiflora mollissima</i>

Nota obtenido de (Vilchez, 2012) y Ururi et al., (2011).

2.2.2. Atributos nutricionales de las frutas

En la Tabla 2 se muestra el valor nutricional aportado por diferentes frutas en comparación al tumbo; en ella se aprecia una diversidad del contenido de nutrientes con su debido aporte de energía; cabe resaltar que, de todas las frutas mostradas, con respecto a la vitamina C el tumbo tiene mayor contenido en comparación a los demás.

Tabla 2.

Valor nutricional del tumbo y variedades de passiflora

Composición	Unidades	Tumbo serrano	Curuba	Maracuyá	Granadilla
Energía	g	22	25	78	106
Kcal proteínas	g	0.4	0.8	0.8	2.6
Grasa	g	0	0.6	0.6	3.1
Carbohidratos	g	5.8	0.1	2.4	-
Fibra	g	0.8	6.3	0.2	4.7
Calcio	mg	11	0.7	5	12
Fosforo	mg	15	20	18	-
Hierro	mg	0.4	0.4	0.3	0.8
Vitamina A	mg	16	1.7	684	1.67
Tiamina	mg	0.01	0	-	-
Riboflavina (B12)	mg	0.04	0.03	-	-
Niacina (B3)	mg	0.47	0.2	2.24	-
Vitamina C	mg	66.4	70	20	21

Nota: obtenido de Vilchez, (2012); Chaparro, Maldonado, Franco, & Urango, (2014); Ocampo, (2014).

2.3. Vitamina C

La vitamina C o ácido ascórbico, en la antigüedad se intuía el efecto de consumir frutas y verduras frescas, pero en el año 1932 fue descubierto por el medico Szent-Gyorgyi que en

el año de 1937 ganó el premio nobel en medicina por este gran descubrimiento, esto fue a partir del escorbuto (enfermedad a falta de vitamina C) químicamente es conocido como L-ascórbico (Oliveira, Godoy, & Prado, 2010).

Esta vitamina es un eliminador de los radicales libres y antioxidantes debido a su estructura química (Figura 2), existen varias sustancias que presentan una actividad biológica de vitamina C, pero con excepción del ácido L – ascórbico y el ácido L – deshidroascórbico (producto de la oxidación del anterior), las demás tienen una importancia nutricional insignificante; solo los isómeros L de estos dos vitámetos actúan como tal, ya que, por ejemplo, el ácido D- ascórbico no es activo. el ácido L – deshidroascórbico representa aproximadamente un 80% de la potencia vitamínica del ácido L – ascórbico. Al igual que con todas las vitaminas, el contenido de ácido ascórbico de los vegetales varía de manera considerable. Las bajas temperaturas inhiben su síntesis, mientras que las temperaturas cálidas y la oscuridad la favorecen (Grosso, Bei, & Marventano, 2013).

2.3.1. Estructuras y propiedades generales del ácido ascórbico

El ácido ascórbico (AA) es un compuesto afín a los carbohidratos con propiedades ácidas y reductoras se encuentra mayormente en los vegetales y frutos frescos, contiene un compuesto afín a los carbohidratos con propiedades ácidas y reductoras debidas al resto 2,3 – enediol; es un compuesto muy polar y, por tanto, es muy soluble en disoluciones acuosas e insoluble en disolventes apolares. La oxidación de dos electrones y la disociación de hidrógeno convierten el ácido L – ascórbico en el ácido L – deshidroascórbico (DHAA) tal como se muestra en la figura 2. El DHAA exhibe aproximadamente la misma actividad que el ácido ascórbico porque reduce casi totalmente a AA en el organismo (Robles, 2016).

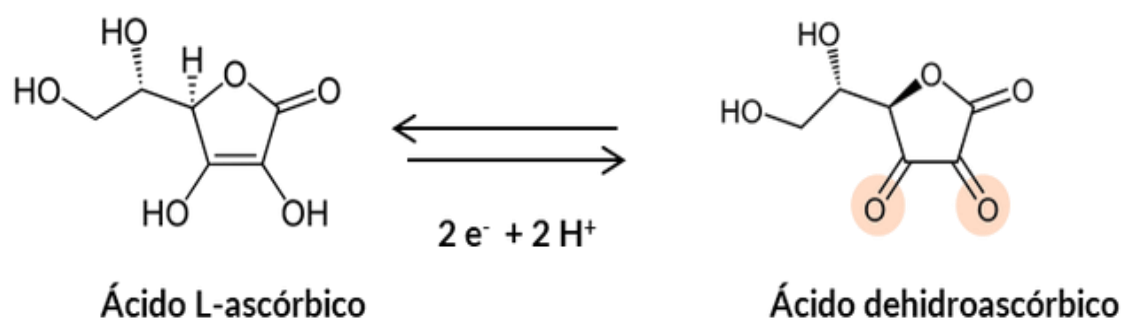


Figura 2. Estructura del ácido ascórbico y ácido dehidroascórbico.
Nota: (Serra & Cafaro, 2007).

2.3.2. Función biológica

La vitamina C (ácido ascórbico) es un componente importante de nuestra nutrición. Previene el escorbuto y protege el cuerpo del estrés oxidativo que podría conducir a cáncer, inflamación, enfermedades cardiovasculares, asma y arteriosclerosis. Las plantas pueden hacerlas ellas mismas como algunos animales, pero los humanos no tienen la enzima (gulonolactona oxidasa) para sintetizar esta vitamina, por lo tanto, el ácido ascórbico debe complementarse principalmente a través de frutas y verduras así lo indica Cioroi (2007). Se sabe que el ácido ascórbico es una vitamina sensible a varios factores, incluidos pH, contenido de humedad, luz, oxígeno y temperatura. Su degradación se produce tanto en aeróbicos como en anaeróbicos y depende de muchos factores, como el oxígeno, la luz, el calor, la temperatura de almacenamiento y el tiempo de almacenamiento (Awagu, Ekanem, Kolo, & Adamu, 2017).

Burdurlu, Koca, & Karadeniz (2006) indican que la oxidación del ácido ascórbico ocurre principalmente durante el procesamiento de jugos, néctares, zumos mientras que la degradación anaeróbica aparece principalmente durante el almacenamiento. La calidad de los nutrientes de los alimentos durante el procesamiento se ha convertido cada vez más importante. La degradación de algunos nutrientes como la vitamina C durante el procesamiento podría ser un factor crítico para la vida útil de algunos productos como el concentrado de jugo, néctar o zumos, ya que el contenido de vitamina C de las frutas sufre una destrucción durante el almacenamiento. El tratamiento previo es común en la mayoría de los procesos de secado para mejorar la calidad del producto, la estabilidad de almacenamiento y la eficiencia de procesamiento. En los últimos años, hubo una mejora en la retención de la calidad del secado (Jonhson, Braddock, & Chen, 1995).

La Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO) indica que se necesitan hasta 75 mg diarios para que el cuerpo permanezca saturado a plenitud con vitamina C (Montaño, 2011).

2.4. Cinética de reacciones

La cinética química es el estudio de las velocidades de las reacciones químicas y de los mecanismos mediante los que tienen lugar. La cinética química introduce la variable tiempo en el estudio de las reacciones químicas y estudia el camino que siguen los reactivos para convertirse en productos (Harris, 2006).

Toda reacción química ocurre a una velocidad finita y, por tanto, resulta útil en potencia como base para un método de análisis cinético químico. Sin embargo, para ello la reacción química debe cumplir tres condiciones. La primera es que la velocidad de reacción química debe ser lo suficientemente rápida como para que el análisis pueda concluirse en un intervalo de tiempo razonable, pero también lo suficientemente lenta para que alcance su posición de equilibrio mientras los reactivos se están mezclando aún. Una segunda condición es que la ley de la velocidad de la reacción química para el periodo en el que se hacen las medidas debe ser conocida. Además, la ley de la velocidad debe permitir un cálculo fácil de todos los parámetros cinéticos de interés, tales como las constantes de velocidad y las concentraciones (Fernández, 1999). Para muchas reacciones, en particular las elementales, la expresión de velocidad puede escribirse como el producto de un término dependiente de la temperatura por otro dependiente de la composición, o en el caso de estas reacciones, se ha encontrado que en prácticamente todos los casos el término dependiente de la temperatura (Quijano & Pabón, 2009).

2.4.1. Orden de reacción

El orden de reacción está definido como la suma de los exponentes de las concentraciones en la ley de la rapidez de la reacción. Este es también llamado orden total de reacción, pues el orden depende del reactivo que se analice, que el parámetro que permite conocer la dependencia de la velocidad de la reacción con las concentraciones de los reactivos, en pocas palabras es la relación que hay entre la velocidad de reacción y la concentración de los reactivos (Fernández, 1999).

2.4.1.1. Reacción de orden cero

En este tipo de reacciones como se muestra en la ecuación 1, la velocidad es independiente de la concentración. Esto puede ocurrir en dos situaciones diferentes: (a) cuando la velocidad de reacción es independiente de la concentración del reactante y (b) cuando la concentración del reactante es tan grande que la velocidad de reacción global parece ser independiente de su concentración (Quijano & Pabón, 2009).

$$n = 0$$

$$dC = -kdt \quad (1)$$

$$C = C_0 - k.t$$

Dónde: n es orden de reacción y k es la constante de cinética, t es la temperatura y C_0 , C son las concentraciones inicial y final.

2.4.1.2.Reacción de primer orden

La mayoría de las reacciones implicadas en el procesamiento y almacenamiento de los alimentos siguen una cinética de reacción de primer orden ($n=1$), como, por ejemplo, la degradación de vitaminas, produciendo una disminución en el valor nutricional del alimento, o la degradación de antocianinas durante el almacenamiento de alimentos coloreados, produciendo una pérdida en la apariencia del mismo (Quijano & Pabón, 2009). La ecuación cinética de primero orden queda expresada de la siguiente manera ecuación 2:

$$\begin{aligned}n &= 1 \\dC &= -k[C]dt \\LnC &= LnC_0\end{aligned}\tag{2}$$

Dónde: n es orden de reacción y k es la constante de cinética, T es la temperatura y C_0 , C son las concentraciones inicial y final.

2.4.1.3.Reacción de segundo orden

Según Boekel & Tijssens (2001) las reacciones de segundo orden ($n = 2$), no son tan frecuente en los sistemas alimentarios, debido a la naturaleza biomolecular de las reacciones. Esto viene a demostrar que la cinética observada experimentalmente no corresponde necesariamente a un mecanismo real. La expresión de la ecuación de segundo orden es la siguiente ecuación 3:

$$\begin{aligned}n &= 2 \\ \frac{d[C]}{dt} &= -k[C]^2 \\ \frac{1}{[C]} &= \frac{1}{[C]_0} + k.T\end{aligned}\tag{3}$$

Dónde: n es orden de reacción y k es la constante de cinética, T es la temperatura y C_0 , C son las concentraciones inicial y final.

2.5. Efecto térmico en la degradación de vitaminas

El procesamiento térmico de los alimentos a elevadas temperaturas si bien elimina la posibilidad de daño microbiológico y reduce la actividad enzimática, afecta la calidad del producto, produciendo pérdida de componentes termolábiles y termosensibles responsables de las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos (Acevedo, Montiel, & Avanza, 2004). La vitamina C, es una de las vitaminas hidrosolubles más inestables. En especial es lábil al calentamiento en presencia de oligometales como el cobre y el hierro. Además, el ácido ascórbico se oxida fácilmente en presencia de oxígeno y la rapidez de oxidación aumenta cuando se eleva la temperatura por lo que se usa como indicador químico para evaluar el procesamiento de las frutas y verduras (Villareal, Mejía, Osorio, & Cerón, 2013).

2.5.1. Cinética de destrucción térmica

Toledo (2001) indica que la cinética química es la parte de la fisicoquímica que estudia las velocidades de reacción. El concepto de cinética química se aplica en muchas disciplinas, tales como la ingeniería química, enzimología e ingeniería ambiental. La velocidad de reacción es siempre positiva. El signo (-) está presente en los términos que involucran a los reactantes porque la concentración de reactante disminuye en el tiempo.

2.5.2. Evaluación de los valores cinéticos

La temperatura y el tiempo de tratamiento de un alimento casi siempre dependerá del calor que ejerza sobre el alimento y cualquier otro método de conservación que vaya a emplearse. Algunos alimentos sólo pueden calentarse hasta cierto límite, pues más allá de éste se producen cambios en su aspecto y pérdida de calidad.

2.5.2.1. Velocidad de reacción de degradación (valor k)

En la constante de velocidad está involucrada principalmente por el efecto de la temperatura, el constante aumento de temperatura en la velocidad de la mayor parte de reacciones altera el contenido de vitaminas (vitamina C). La velocidad de reacción de degradación del ácido ascórbico, se expresa en min^{-1} (Guzmán, 2014).

2.5.2.2. Tiempo de reducción decimal (valor D)

Toledo (2001) indica que el valor D es el tiempo de reducción decimal o el tiempo necesario para destruir la mayor parte de los microorganismos. Numéricamente es igual al número de minutos necesarios para que la curva de destrucción atraviese un ciclo logarítmico; ósea mide la rapidez con que un organismo muere o también la rapidez que un

nutriente se destruye. Por su parte Toledo (2001) define al valor D como el tiempo de calentamiento a la temperatura constante T, necesario para reducir o degradar 10 veces (90%) el número de microorganismos o un factor de calidad. Asimismo, menciona que existirá una variación logarítmica de la concentración de un nutriente, factor de calidad o contenido de microorganismo, en función del tiempo para una temperatura determinada.

2.5.2.3. Coeficiente de temperatura de degradación (valor z)

El valor z representa los grados de temperatura necesarios para que la curva de destrucción térmica atraviese un ciclo logarítmico o el cambio de temperatura que se requiere para modificar el valor D por un factor de 10. Las reacciones secundarias obedecen a una cinética de primer orden del mismo tipo que la destrucción térmica de microorganismos, pudiendo ser aplicado a la destrucción de enzimas, vitaminas y ciertos fenómenos que se dan durante la cocción; evolución del color, modificaciones de la textura, pérdida de gelatinización, etc. Chirinos (2017) y Guzmán (2014).

2.5.2.4. Energía de activación (E_a)

La energía de activación de una reacción química se relaciona estrechamente con su velocidad. Específicamente, mientras mayor sea la energía de activación, más lenta será la reacción química. Cuanto mayor es la temperatura, mayor será el número de moléculas en estado activado. La energía de activación se calcula con la Ecuación de Arrhenius ecuación 4, esta energía requerida por mol necesarios para que exista movimiento entre las moléculas (Atáres, 2009).

2.5.2.5. Factor adimensional (Q_{10})

Conocido como coeficiente de temperatura o valor Q_{10} ; este valor es el factor con que se multiplica la velocidad de degradación del ácido ascórbico al aumentar la temperatura 10°C. En otros términos, este factor indica cuantas veces se acrecienta el tiempo durante el cual un producto conserva su calidad cuando la temperatura disminuye 10°C (Elí, 2017).

2.6. Antecedentes de la investigación

Estudiar de la cinética de vitamina C es de suma importancia en la industria alimentaria, se realizaron diferentes investigaciones en pulpas, jugos y zumos de frutas tropicales y exóticas los cuales aportan e incrementan el conocimiento como se describe en las siguiente (Tabla 3).

Tabla 3.

Antecedentes de la investigación

Titulo	Materia prima	Temperatura s (°C)	Tiempos (minutos)	Valores						N° Orden	Fuente
				K (min ⁻¹)	D (min)	Z (°C)	Ea (kJ/mol)	Q ₁₀	R ²		
Efecto del Escaldado sobre el Color y Cinética de Degradación Térmica de la Vitamina C de la Pulpa de Mango de Hilacha (<i>Mangífera indica var magdalena river</i>)	Pulpa de mango	65, 70, 75, 80 y 85	2.5, 5, 7.5 y 10	0.0308 - 0.0617	4.82 - 37.30		85,742		0.9704	Primer orden	Mendoza, Hernández, & Ruiz.
Evaluación de la cinética de degradación térmica de vitamina c en el jugo de papaya (<i>Carica papaya l.</i>) y maracuyá (<i>Passiflora edulis</i>)	Jugo de papaya y maracuyá	40, 60 y 80	0, 5, 10 y 15	0.106 - 0.242	1.77 - 9.524	6.67	45.408		0,991	Primer orden	Guzmán
Efecto de la temperatura en la cinética de degradación del ácido ascórbico en pulpa de tomate de árbol (<i>solanum betaceum</i>).	Pulpa de tomate de árbol	60, 70, y 80	5, 10 y 15	0.061	5.09		21.434	0 - 80	0.90	Primer orden	Orosco

Titulo	Materia prima	Temperaturas (°C)	Tiempos (minutos)	Valores						N° Orden	Fuente
				K (min ⁻¹)	D (min)	Z (°C)	Ea (kJ/mol)	Q ₁₀	R ²		
Estudio cinético de la degradación de la actividad antioxidante hidrosoluble de jugos cítricos por tratamiento térmico	Jugos de naranja, mandarina, limón, pomelo y lima	70, 80 y 90 °C	0, 20, 40, 60, 80, 100 y 120	8.123, 8.250, 6.647, 20.380, 4.714			42.729, 28.513, 64.748, 8.422, 29.357		0.903	Orden cero	Acevedo et al.
Estudio de la cinética de degradación térmica del ácido ascórbico durante la pasteurización del zumo de naranja valencia (<i>Citrus sinensis</i>)	Zumo de naranja valencia	70, 75, 80 y 90	0, 2, 5, 10 y 15	0,01520 - 0,02404	51,515 - 92,336	900,901	62,975	12,912	0,9407	Primer orden	Aucayauri
Cinética de degradación térmica de betacianinas, betaxantinas y vitamina C en una bebida a base de jugo de remolacha (<i>Beta vulgaris L.</i>) y miel de abeja	Jugo de remolacha	30, 40 y 50	2,5, y 12 horas	0.018, 0.012, 0.025			23.649, 19.895, 24.022	1.6, 1.5, 1.2	0.991	Primer orden	Chipana
Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic conventional methods	Jugo de naranja	50, 60, 75 y 90		0.0183 - 0.5697	25.85 - 4.04		7.54 - 125.6		0.992	Primer orden	Vikram et al.
Cinética de degradación térmica de vitamina C en la pulpa de mango (<i>Mangifera indica L.</i>)	Pulpa de mango	60 - 80		0.028- 0.056	2.24 - 41.12	66.44	8.13	1.41	0.90	Primer orden	Ordóñez & Yoshioka

Nota: Obtenido de Mendoza, Hernández, & Ruiz (2015), Guzmán (2014), Orosco (2017), Acevedo et al. (2004), Aucayauri (2011), Chipana (2014) Vikram et al. (2005) y Ordóñez & Yoshioka (2012).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Centro de Investigación en Ciencia de los Alimentos (CICAL) de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión Filial Juliaca.

Lugar	: Chullunquiani
Distrito	: Juliaca
Provincia	: San Román
Departamento	: Puno
Temperatura	: Ambiente 16°C
Altitud	: 3825 m.s.n.m.

3.2. Materiales, reactivos y equipos

3.2.1. Materia prima

Para el presente proyecto se tiene como materia prima el tumbo serrano (*Passiflora mollissima*) procedentes de la región Cusco de la provincia de Paucartambo del distrito de Challabamba y centro poblado de Sunchubamba.

3.2.2. Reactivos

- Hidróxido de sodio 0.1 N
- Fenolftaleína
- Ácido oxálico al 0.4
- Ácido ascórbico 0.1%
- 2,6 diclorofenolindofenol 0.012%

3.2.3. Materiales de laboratorio

- Vasos de precipitado de 500, 100 y 50 ml (PIREX).
- Pipetas de 5 y 10 ml (GIARDINO).
- Fiolas de 500 y 50 ml (BOECO).
- Probeta de 10, 50 y 100 ml (BOECO).
- Tubos de ensayo con tapa (PIREX).

- Gradillas para tubos de ensayo
- Bombilla de succión
- Papel absorbente
- Papel filtro
- Papel tissue
- Cubetas para espectrofotómetro

3.2.4. Equipos

- Centrífuga (KERTLAB, 033R-2).
- Balanza analítica (PIONEER).
- Espectrofotómetro (GENESYS 10S UV-VIS).
- Baño María (IMACO, KE174OE).
- Trituradora domestica (OSTER, BLSTBC4129).
- Cintas de pH (WHATMAN).
- Refractómetro (ATAGO).
- Termómetro de mercurio (TAYLOR).

3.3. Métodos de análisis

Se extrajo la pulpa de tumbo manualmente. La caracterización de las muestras se realizó en la pulpa y las determinaciones analíticas fueron los siguientes:

3.3.1. Análisis fisicoquímico

- **Contenido de solidos solubles:** Método refractométrico a temperatura ambiente (NTP 203.072, 1977).
- **pH:** Método potenciómetro (AOAC 981.12).
- **Acidez titulable:** Método de titulación con NaOH 0.1 N (NTP 203.070, 1970).
- **Índice de madurez:** Método (relación °Brix/Acidez).
- **Vitamina C:** Método espectrofotometría (norma AOAC 967.22, 1995). Ver anexo A.

3.3.2. Metodología experimental

La metodología experimental (Figura 3) consistió en obtener pulpa de tumbo y evaluar el contenido de vitamina C, después de los tratamientos térmicos a 3 temperaturas por 4 periodos de tiempo y luego evaluar los parámetros cinéticos de la degradación térmica en la pulpa de tumbo.

3.3.2.1. Descripción del flujo del proceso

- **Recepción de materia prima:** La materia prima que se utilizó es el tumbo serrano (*Passiflora mollissima*) procedente de la región Cusco. La materia prima se colocó en recipientes adecuados para su conservación, tratando de evitar daños por golpe o magulladuras.
- **Selección:** La selección de los frutos se ejecutó mediante una inspección o control visual, eliminando aquellos que presenten signos de descomposición o deterioro físico. La clasificación se realizó teniendo en cuenta el tamaño, peso, y grado de madurez, esto con la finalidad de tener un producto final uniforme.
- **Lavado:** Este proceso se realizó en chorros de agua hasta eliminar las impurezas y partículas extrañas presentes en la superficie del fruto.
- **Pulpeado:** El pulpeado se efectuó con la ayuda de una cuchara, siempre cuidando de no dañar la apariencia física de la pulpa.
- **Dilución:** La dilución de la pulpa se realizó 1/5.
- **Tratamiento térmico:** Para determinar los parámetros cinéticos en la pulpa de tumbo se utilizaron tubos de vidrio pirex en los cuales se vaciaron 10 ml de muestra. Los tubos se colocaron en baño maría a temperaturas de 60°C, 70°C y 80°C. Se registró la evolución de la temperatura utilizando un termómetro por diferentes periodos de tiempo diferentes 0, 5, 10, 15 y 20 minutos. Una vez realizado el tratamiento los tubos con muestras se enfriaron por inmersión en agua a muy baja temperatura.
- **Determinación de vitamina C:** La concentración de ácido ascórbico determinó por el método de espectrofotometría con el reactivo 2,6-diclorofenolindofenol. Las lecturas fueron a 515 nm en el espectrofotómetro. La cuantificación de la vitamina C se realizó en base a la ecuación de la curva estándar preparada $Y = a + bx$; donde y = absorbancia (L1 - L2) y X = mg de ácido ascórbico/ 100 ml de ácido oxálico.

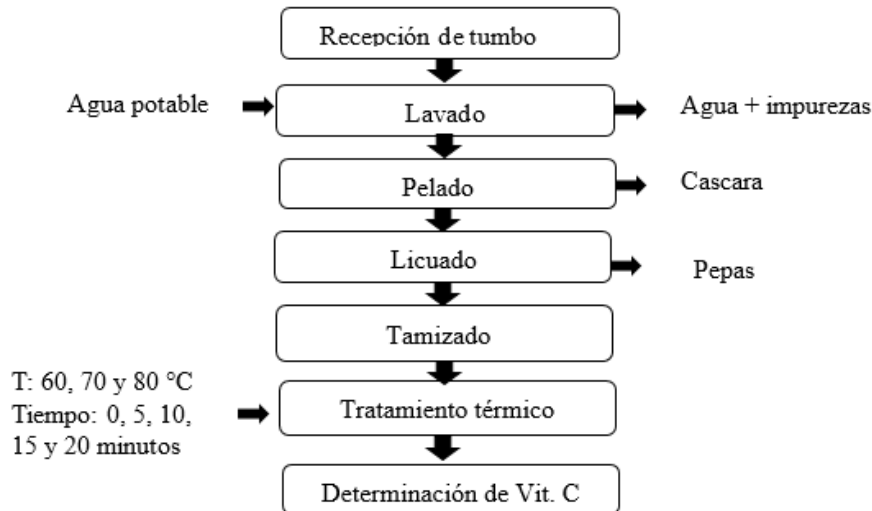


Figura 3. Esquema de acondicionamiento de las muestras.

Nota: Obtenido y adaptado de Aucayauri (2011), Contreras (2015) y Orosco (2017).

3.3.3. Determinación de los valores cinéticos de la degradación térmica

3.3.3.1. Cálculo de la constante de velocidad de reacción de degradación (k)

Se halló las constantes de velocidad (k) de cada tratamiento mediante el valor de la pendiente de la regresión lineal del logaritmo de la concentración de ácido ascórbico en función del tiempo.

Se utiliza la siguiente ecuación 6 para la determinación del valor k .

$$\text{Log}C = \text{Log}C_0 - \left(\frac{K}{2.303}\right) * t \quad (4)$$

3.3.3.2. Tiempo de reducción decimal (D)

El tiempo de reducción decimal D min, es el recíproco de la pendiente de la curva de destrucción térmica o curva de resistencia térmica. Se calculó con la siguiente ecuación 7:

$$\frac{1}{D} = \frac{K}{2,303} \quad (5)$$

3.3.3.3. Coeficiente de temperatura de degradación (z)

El coeficiente de temperatura de degradación z °C igualmente se llega a una ecuación 8 cinética aplicando la regresión lineal al tiempo de reducción decimal (D) y su temperatura correspondiente.

$$\text{Log}D = \text{Log}D_0 = -\frac{1}{z}T \quad (6)$$

3.3.3.4. Cálculo de la energía de activación (E_a)

Para calcular la energía de activación, se evaluó la influencia de la temperatura sobre la constante de la velocidad de reacción ($k \text{ min}^{-1}$). Se grafica el logaritmo (k) en función del

inverso de la temperatura absoluta correspondiente y se realiza una regresión lineal. Esta ecuación 9 se conoce como Ecuación de Arrhenius: $K = K_0 \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right)$

$$\text{Log}K = \text{Log}K_0 - \left(\frac{E_a}{2,303 \cdot R}\right) * \frac{1}{T} \quad (7)$$

K: constante cinética (min^{-1}).

K_0 : factor pre exponencial.

E_A : energía de activación (kJ/mol).

R: constante universal de los gases (8.3145 kJ/mol).

T: temperatura absoluta ($^{\circ}\text{K}$).

Aunque la ecuación de Arrhenius se usa comúnmente para describir la dependencia de la temperatura de la velocidad de reacción en la mayoría de los sistemas alimenticios, pueden producirse desviaciones.

3.3.3.5. Factor adimensional o valor Q_{10}

El valor Q_{10} se obtiene con la siguiente ecuación 10.

$$Q_{10} = 10^{\frac{10}{Z}} \quad (8)$$

3.3.3.6. Porcentaje de pérdida de vitamina C

El análisis cinético de la degradación de la vitamina implica determinar concentraciones de la vitamina en los tiempos seleccionados. La tasa constante se determina a partir de la concentración de vitamina vs. datos del tiempo. Estudios realizados a diferentes temperaturas. Las constantes de tasa de rendimiento para cada temperatura. Las constantes de velocidad versus los datos de temperatura a menudo se analizan utilizando la ecuación de Arrhenius (Singh, 2016). La energía de activación será utilizada para determinar el porcentaje de pérdida de vitamina en el tratamiento térmico deseado como se muestra en la ecuación 4.

$$\%Perdida = (1 - e^{-kt}) \times 100 \quad (9)$$

3.3.3.7. Tiempo óptimo de procesamiento

Se determinó el tiempo óptimo de procesamiento con la ecuación 5 que fue utilizado por (Aucayauri, 2011)

$$t = D \times \log\left(\frac{c_i}{c_f}\right) \quad (10)$$

3.3.4. Análisis estadístico

3.3.4.1. Diseño factorial completamente al azar

Los tratamientos en estudio tienen como variables independientes temperatura – tiempo y como variable dependiente la concentración de vitamina C en mg/100g. Estos tratamientos se establecen de los cálculos teóricos aplicando las fórmulas de optimización de tratamientos térmicos a temperatura constante teniendo como factor de destrucción la vitamina C. Para tal se realizará un análisis con diseño factorial 3x5x5 a un nivel de significancia del 95% como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4.

Tratamientos experimentales del tratamiento térmico de la pulpa de tumbo.

Tiempo (min)	Temperatura °C														
	60					70					80				
0	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5
5	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5
10	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5
15	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5
20	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5

Nota: R: repeticiones.

Los valores que se obtuvieron fueron sometidos a un análisis de regresión lineal para realizar la determinación la constante de velocidad de degradación térmica ($k \text{ min}^{-1}$) de la vitamina C, valor cinético (z) °C, tiempo de reducción decimal (D) min y la energía de activación E_a kJ/mol.

Para determinar la relación de significación estadística o no entre la variable dependiente y la independiente se realizó el análisis de varianza para la regresión lineal simple, asimismo se determinó el coeficiente de determinación R^2 .

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Características fisicoquímicas de la pulpa de Tumbo

Se presenta en la Tabla 5 los resultados de las características fisicoquímicas, los cuales indican que el tumbo que tiene un 77% de vitamina C notablemente superior a los valores de referencia y los otros variables se encuentran dentro de los rangos de la referencia, esto se puede corroborar con los valores de referencia con los resultados fisicoquímicos de la variedad *passiflora*.

Tabla 5.

Características fisicoquímicas.

Componentes	Cantidad	Valores de referencia					
		<i>mollissima</i> ^a	<i>mollissima</i> ^b	<i>mollissima</i> ^c	<i>edulis</i> ^d	<i>edulis</i> ^e	<i>quadrangularis</i> ^f
°Brix	9.40±5.83	11	4	12	11.9	11.1	5
pH	4.00±5.45	3.093	3.1	3.28	2.99	2.8	5.3
Acidez (á. cítrico) %	0.43±3.11	0.511	0.85	0.43	0.37		
Vitamina C mg/100g	77.01±2.54	66.69	30.15	24.35		41	
Índice de madurez	22.05±5.94						

Nota: donde a es Baldeón et al. (2015), b:Rojas (2015), c: Encina & Carpio (2011), d: Corredor et al. (2007), e: Pertuzatti et al. (2015), f: Urraca (2011).

Para la variedad *passiflora mollissima* no se tiene una referencia exacta de los estudios es por ello que se hace una comparación con la *passiflora edulis* (maracuyá) y *quadrangularis* (granadilla grande) ya que estas frutas si son bastante comerciales. En la Tabla 5 se puede observar que la cantidad de vitamina C del tumbo serrano es considerablemente mayor al de la referencia trabajo Pertuzatti et. al (2015) indica que las este tipo de variaciones se deben a que son de diferentes zonas, variedades, suelos, estaciones e incluso podrían variar por la presión atmosférica, lo mismo indican Encina & Carpio (2011) al realizar un estudio del comportamiento de calidad en la postcosecha del tumbo. Los otros resultados como los sólidos solubles, pH, acidez no se encuentran lejanos a los de la referencia esto indica que de que los resultados de vitamina C que se estuvieron bien realizados.

4.2. Evaluación del efecto del tratamiento térmico del contenido de vitamina C

4.2.1. Construcción de la curva patrón

Para la construcción de la curva patrón o curva estándar se utilizó un espectrofotómetro (Genesys 10S UV-VIS) a una longitud de onda de 515 nm, las absorbancias de todos los estándares (convertidos en complejos coloreados) fueron tomados para la construcción de la curva patrón. La curva patrón fue construida por el trazado de diferentes concentraciones de ácido cítrico frente a la absorbancia como se muestra en Tabla 6.

Tabla 6.

Parámetros para la construcción de la curva patrón de vitamina C.

mg áa/100 ml	L1	L2	L1 - L2
1	0.128	0.100	0.03
2	0.129	0.093	0.04
3	0.127	0.085	0.04
4	0.129	0.075	0.05
5	0.128	0.069	0.06
6	0.128	0.068	0.06
7	0.128	0.066	0.06
8	0.129	0.050	0.08
9	0.127	0.048	0.08
10	0.129	0.039	0.09
11	0.128	0.032	0.10
12	0.128	0.024	0.10
13	0.128	0.017	0.11

Nota: L1 y L2 son la absorbancia.

Como se puede observar en la figura 6 la curva patrón para la determinación de la vitamina C, se observa que a medida se incrementa la concentración, también incrementa la densidad óptica (L1-L2), estos resultados van de acuerdo a lo que menciona la ley Lambert – Beer citado por Guzmán (2014) y Aucayauri (2011).

En la Tabla 7 se muestra los parámetros de regresión lineal obtenidos de la parte experimental.

Tabla 7.

Parámetros de la regresión lineal.

Parámetro	Valor
R ²	0.9878
Número de observaciones	13
Grados de libertad	12
Pendiente	0.0067

En la Figura 4 se observa la curva patrón con la ecuación lineal que se utiliza para la determinación de la cantidad de vitamina C en la pulpa de tumbo en diferentes temperaturas y tiempos.

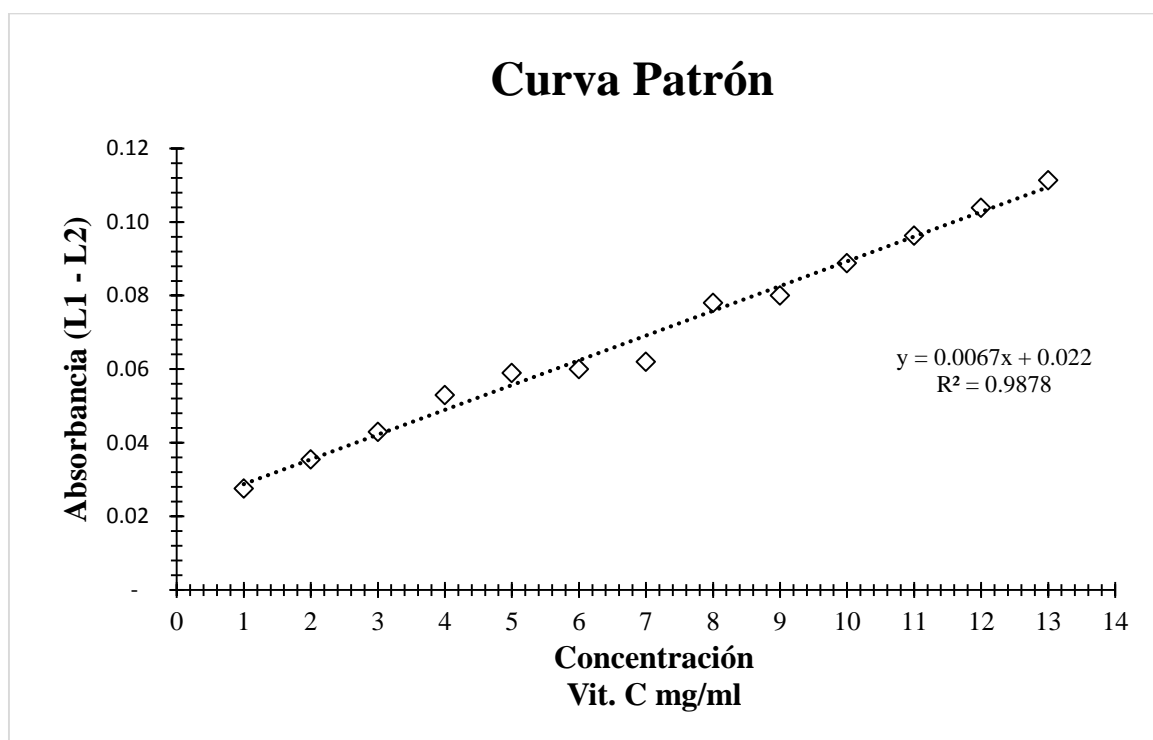


Figura 4. Curva patrón para la determinación de la vitamina C.

El R² es una medida de bondad de ajuste para modelos de regresión lineal, este indica el porcentaje de la varianza en la variable dependiente en las cuales las variables independientes explican, por ende, el resultado que obtuvimos es al realizar la curva patrón es de 0.9878 podemos observar que el R² es bastante bueno ya que es cercano a 1 así lo indica (Dicovski, 2008). Partiendo de la ecuación $y=bx+a$ se halla el contenido de vitamina C tal como se muestra en el anexo A.

4.2.2. Determinación de los valores cinéticos en la degradación de vitamina C

Se prepararon las muestras con combinaciones de tiempos y temperaturas para la determinación de vitamina C en la pulpa de tumbo, de acuerdo con el procedimiento descrito anteriormente. Donde se muestra notablemente que al incrementar la temperatura y prolongarse el tiempo disminuye la cantidad de vitamina, Cheftel et al (1992) indican que la transferencia de calor, es más eficiente en medios acuosos, por ser el agua buen conductor del calor, es decir, que al ser más eficiente la transferencia de calor, se tendrá una mayor destrucción de vitamina C en las frutas, sometidas a tratamientos térmicos. En la Tabla 8 se muestra el resultado de vitamina C retenido durante el tratamiento térmico en diferentes tiempos y temperaturas.

Tabla 8.

Contenido de vitamina C durante los tratamientos térmicos.

Tiempo (min)	60°C			70°C			80°C		
	\bar{x}	\pm	DE	\bar{x}	\pm	DE	\bar{x}	\pm	DE
0	77.01	\pm	0	77.01	\pm	0	77.01	\pm	0
5	71.12	\pm	0.41	67.84	\pm	0.62	64.55	\pm	1.11
10	67.84	\pm	0.62	60.97	\pm	0.91	59.18	\pm	0.85
15	63.96	\pm	0.75	57.09	\pm	0.62	52.31	\pm	1.25
20	56.94	\pm	0.85	52.31	\pm	1.8	48.58	\pm	2.72

Nota donde DE es desviación estándar y \bar{x} es promedio.

En la Tabla 8 se muestra la cantidad de vitamina C que se obtuvo en los tratamientos térmicos en la pulpa de tumbo estos resultados son mayores a los que se mencionó anteriormente de la variedad passiflora en general. El incremento de temperatura y tiempo es motivo de la disminución del contenido de vitamina C (Figura 5) así lo indica la literatura en los diferentes trabajos de investigación que trabajan con tratamientos térmicos como Ordóñez et al. (2013) en guayaba, Mendoza et al. (2015) en pulpa de mango, Chiroque (2017) en pulpa de mango, Lavarda (2011) en pulpa de acerola, Contreras (2015) en aguaymanto, Carranza et al (2014) en jugo de curuba, Aucayauri (2011) en jugo de naranja, Páez et al. (2007) en jugo de parchita, Robles (2016) en el zumo de oca, Ordóñez, Portilla, Ospina, & Rodríguez (2013), etc. Los cuales también indican la determinación de sus características nutricionales, ya que este micronutriente es un indicador de calidad.

El contenido de vitamina C obtenidos en el presente estudio y estudios previo reportados por literatura para algunas frutas se muestran muy variadas en los contenidos de vitamina C y a los que se obtuvo, estas variaciones podrían tener variaciones en la etapa de madurez y variedades regionales de frutas, diferentes técnicas de proceso de elaboración, la cantidad de vitamina C incluso podría variar entre las diferentes muestras de fruta de la misma especie, factores que incluyen el clima, la temperatura y la cantidad de los fertilizantes nitrogenados utilizados en el cultivo de la planta y diversas condiciones climáticas como la luz también pueden afectar la concentración de vitamina C en las frutas. Por ello, es necesario que la fruta se almacene en refrigeración para que el contenido de vitamina C no se vea afectado (Ahmed et al 2015).

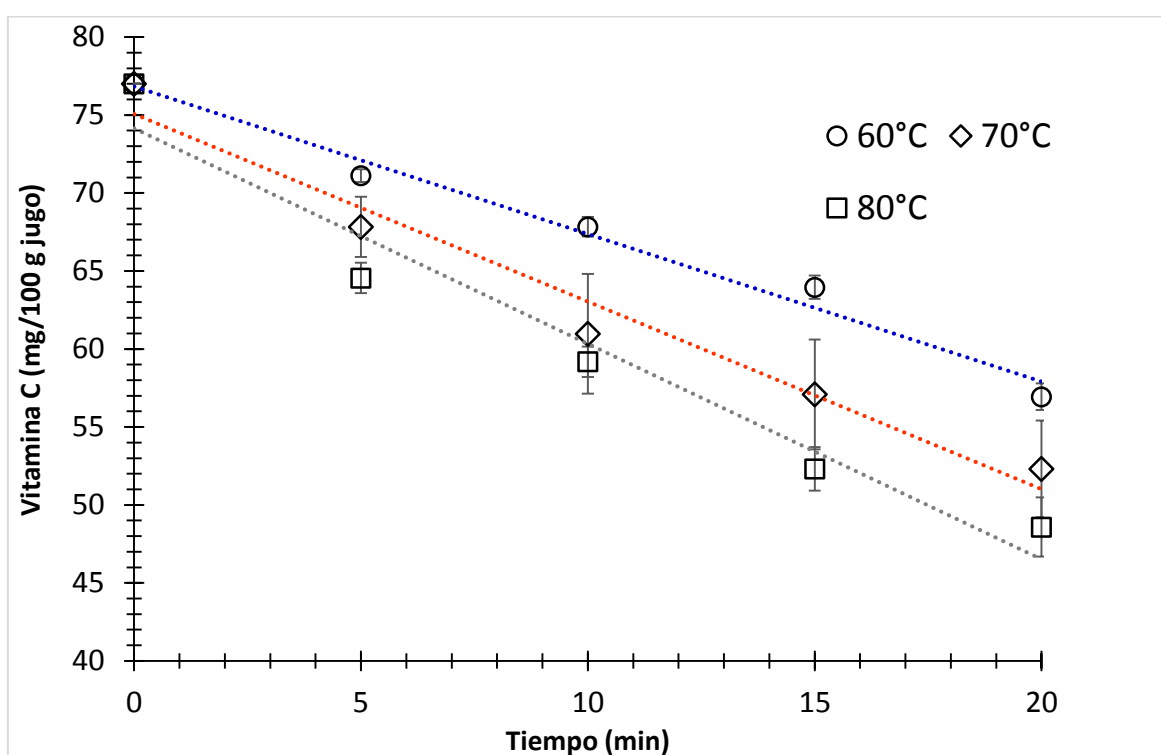


Figura 5. Contenido de vitamina C a diferentes temperaturas y tiempo.

Para la determinación de la orden de reacción y las constantes de velocidad de las diferentes temperaturas, se realizó un análisis de regresión lineal simple, en los cuales los modelos cinéticos muestran resultados que se encuentran en las Tablas 9, 10 y 11. La determinación del R^2 es la proporción de la variación total de la respuesta variable representada por la línea de regresión con valores más altos que indican un mejor ajuste, sin embargo, que un buen ajuste no significa que el orden de la función cinética se ha elegido correctamente. Cuanto menor es el valor del error estándar residual, más precisos son las estimaciones basadas en el análisis de regresión. En la Tabla 9 se muestra el modelo de ajuste

de las ordenes de reacción para la temperatura de 60°C, donde se puede observar el intercepto y la constante están dentro de los límites inferiores y superiores de cada orden de reacción, lo cual nos indica que los valores están dentro de los cuales variará la degradación de ácido ascórbico durante el tratamiento térmico, para esta temperatura el R^2 se ajusta más a la ecuación de orden cero con un 0.983, pero como se mencionó anteriormente el error cuadrático medio tiene un mejor ajuste para la segunda orden de reacción.

Tabla 9.

Orden de reacción para la temperatura de 60°C.

Orden	60°C		
	n=0	n=1	n=2
Intercepto	76.83(74; 79.6)	77.6(73.7, 8.5)	0.0129(0.01188, 0.0138)
Constante k	-0.95(-1.18, -0.7)	-0.014(-0.018, -0.01)	0.000214(0.000135, 0.0003)
SSE	3.881	5.149	4.66×10^{-7}
R^2	0.983	0.9774	0.9611
Ajuste R^2	0.9773	0.9698	0.9481
ECM	1.137	1.31	0.0003942

Donde: n es el orden de reacción, intercepto es la concentración inicial con de vitamina C según las ecuaciones de orden, la constante k también indican la constante de velocidad y sus delimitaciones, SSE: suma de cuadrados del error, ECM: error cuadrado medio.

En la Figura 6 se muestra los residuos para la temperatura de 60°C los puntos exhiben que los residuos están espaciados por arriba y por debajo de la línea, además de que no se nota una alguna tendencia específica en la ubicación de estos puntos, entonces esto indica que el modelo lineal es apropiado.

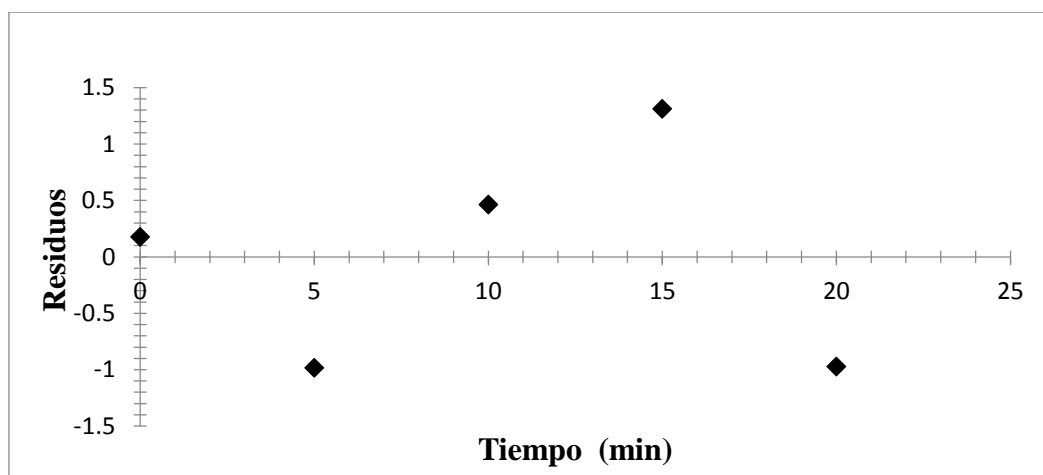


Figura 6. Residuos en función de la temperatura de 60°C.

En la Tabla 10 se muestra el modelo de ajuste de las ordenes de reacción para la temperatura de 70°C, donde se puede observar el intercepto y la constante están dentro de los límites inferiores y superiores de cada orden de reacción, lo cual nos indica que los

valores están dentro de los cuales variará la degradación de ácido ascórbico durante el tratamiento térmico. En la tabla también se puede observar que el R^2 se ajusta mejor a la ecuación de orden 2 con un ajuste de 0.993 y el ECM también se ajusta al segundo orden.

Tabla 10.

Orden de reacción para la temperatura de 70°C.

70°C			
Orden	n=0	n=1	n=2
Intercepto	75.07(70.3, 79.84)	75.82(72.3, 79.4)	0.013(0.013, 0.0136)
Constante k	-1.20(-1.59, -0.81)	-0.019(-0.238, -0.015)	-0.0003(0.0003, 0.00034)
SSE	11.24	5.494	1.18×10^{-7}
R^2	0.9699	0.9853	0.9948
Ajuste R^2	0.9598	0.9804	0.9931
ECM	1.935	1.353	0.000198

Donde: n es el orden de reacción, intercepto es la concentración inicial con de vitamina C según las ecuaciones de orden, la constante k también indican la constante de velocidad y sus delimitaciones, SSE: suma de cuadrados del error, ECM: error cuadrado medio.

En la Figura 7 se muestra los residuos para la temperatura de 70°C los puntos exhiben que los residuos están espaciados por arriba y por debajo de la línea, además de que no se nota una alguna tendencia específica en la ubicación de estos puntos, entonces esto indica que el modelo lineal es apropiado.

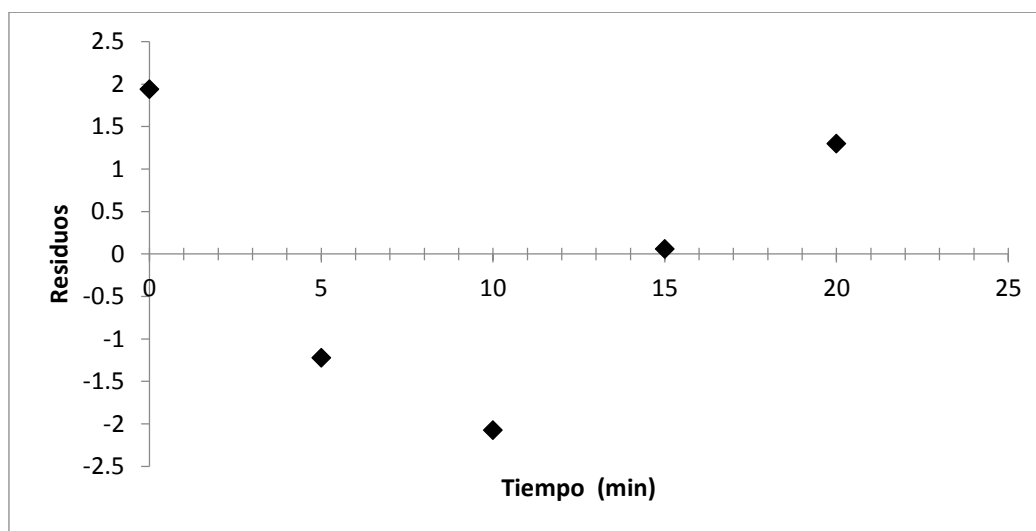


Figura 7. Residuos en función de la temperatura de 70°C.

En la Tabla 11 se muestra el modelo de ajuste de las ordenes de reacción para la temperatura de 80°C, donde se puede observar el intercepto y la constante están dentro de los límites inferiores y superiores de cada orden de reacción, lo cual nos indica que los valores están dentro de los cuales variará la degradación de ácido ascórbico durante el

tratamiento térmico. En la Tabla se muestra que el R^2 se ajusta más a la ecuación de segundo orden con un ajuste de 0.989 así como el ECM.

Tabla 11.

Orden de reacción para la temperatura de 80°C.

Orden	80°C		
	n=0	n=1	n=2
Intercepto	74.15(67.43, 80.86)	75.22(70.05, 80.39)	0.0133(0.0124, 0.014)
Constante k	-1.382(-1.93, -0.8338)	-0.0235(-0.03, -0.0168)	0.0004(0.00031, 0.0004)
SSE	22.25	11.48	2.99×10^{-7}
R^2	0.9555	0.977	0.9916
Ajuste R^2	0.9406	0.9694	0.9889
ECM	2.723	1.957	0.00032

Donde: n es el orden de reacción, intercepto es la concentración inicial con de vitamina C según las ecuaciones de orden, la constante k también indican la constante de velocidad y sus delimitaciones, SSE: suma de cuadrados del error, ECM: error cuadrado medio.

En la Figura 8 se muestra los residuos para la temperatura de 80°C los puntos exhiben que los residuos están espaciados por arriba y por debajo de la línea, además de que no se nota una alguna tendencia específica en la ubicación de estos puntos, entonces esto indica que el modelo lineal es apropiado.

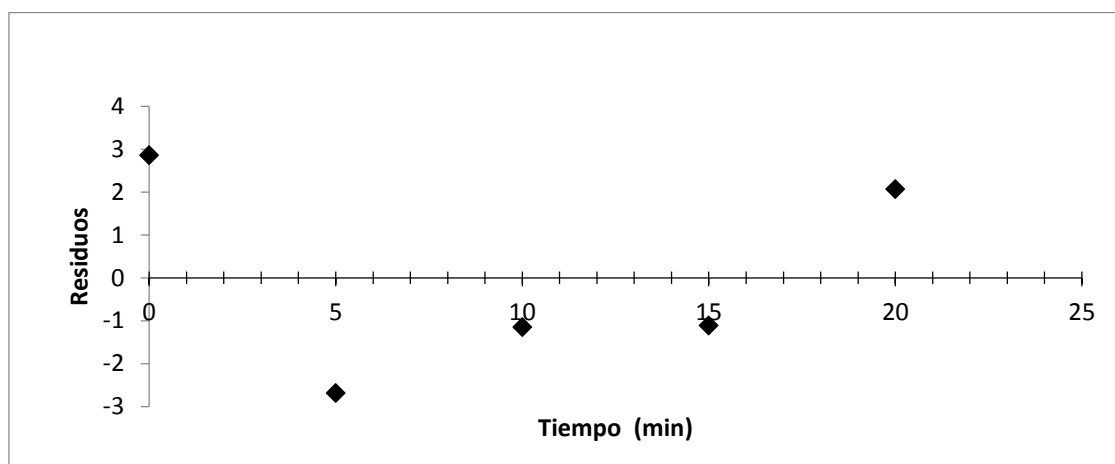


Figura 8. Residuos en función de la temperatura de 80°C.

En la Tabla 12 se muestra la determinación del orden de reacción en las diferentes temperaturas y se determinó el orden de reacción cinético de la vitamina C, para lo cual se utilizaron los datos obtenidos de las temperaturas de 60, 70 y 80°C.

Tabla 12.

Coefficiente de determinación lineal para el orden de reacción.

Temperatura °C	n = 0	n = 1	n = 2
	R ²	R ²	R ²
60	0.983	0.975	0.961
70	0.970	0.986	0.995
80	0.955	0.978	0.992

Nota: donde R² es el coeficiente de determinación lineal.

Se determinó el orden de reacción del ácido ascórbico, los parámetros cinéticos de esta vitamina se ajustaron a una cinética de segundo orden, se puede observar que los coeficientes de determinación (R²) que expresa la medida del grado de fiabilidad del ajuste del modelo, este valor cuanto más cercano a 1 significa un ajuste lineal perfecto, los valores más altos (Tabla 12) se obtuvieron al ajustar la cinética de degradación con el modelo de segundo orden para las temperaturas de 60 °C – 80 °C respectivamente. De igual manera los valores de error cuadrático medio (ECM) más bajos (Tabla 9,10 y 11) se obtuvieron para el modelo de primer orden en la mayoría de los casos, de esta manera se determinó que la cinética de segundo orden explica con menor error la degradación del ácido ascórbico durante el tratamiento térmico.

En Tabla 9 se muestra los resultados de los coeficientes de determinación (R²), la degradación de la vitamina C normalmente se ajusta a una cinética de orden cero o de primer orden como se muestra en las investigaciones de los siguientes autores Cuastumal et al, (2016), Orosco (2017), Guzmán (2014), Hiwilepo-van Hal, Bosschaart, van Twisk, Verkerk, & Dekker (2012), Acevedo et al. (2004), Ordóñez et al. (2013), Oancea et al. (2017), etc. En este caso el coeficiente de determinación se ajustó a la cinética de segundo orden lo cual es raro, pero los autores Jonhson, Braddock, & Chen (1995) y Páez et al. (2007) indicaron que un modelo de segundo orden también puede ser apropiada para describir la reacción de degradación de la vitamina C en el zumo de naranja y otros alimentos por efecto de las altas temperaturas, en las investigaciones antes mencionadas indican que a mayor temperatura también incrementa el coeficiente de determinación es decir pueden llegar a ajustarse al segundo orden.

4.2.3. Cálculo del valor k y D de la vitamina C durante el tratamiento térmico

En la Tabla 10 se presenta los valores obtenidos de cada una de las ecuaciones para el valor k que es la velocidad de degradación térmica del ácido ascórbico durante los tratamientos térmicos en la pulpa de tumbo expresado en min^{-1} y donde D es el tiempo de reducción decimal expresado en min.

Tabla 13.

Constante de velocidad (k) y tiempo de reducción decimal (D).

Temperatura °C	k (min^{-1})	D (min)
60	0.0142	162.17
70	0.0189	121.74
80	0.0226	101.76

Los resultados de la constante de velocidad o valor k se incrementan a medida que la temperatura aumenta dichos resultados están dentro del rango de los resultados de Aucayauri (2011) que realizó un estudio de zumo de naranja que presentó resultados de k_{70} es de 0.01520 min^{-1} y para k_{90} es de 0.02404 min^{-1} , y los resultados de Ordóñez, Portilla, Ospina, & Rodríguez (2013) que estudiaron la guayaba donde sus resultados del valor k fueron k_{75} 0.80 min^{-1} , k_{85} 1.12 min^{-1} , k_{95} 1.45 min^{-1} dichos resultados son mucho mayores a los nuestros, Ordóñez & Yoshioka (2012) muestran sus resultados en la pulpa de mango los cuales son k_{60} 0.028 min^{-1} , k_{70} 0.047 min^{-1} , k_{80} 0.056 min^{-1} estos resultados también son mayores, Matos & Chuquilin (2010) muestra sus resultados en el jugo de carambola los cuales son de k_{60} $0,03437 \text{ min}^{-1}$ k_{75} $0,04606 \text{ min}^{-1}$ y k_{90} $0,06979 \text{ min}^{-1}$ estos resultados también son mayores y Vikram et al. (2005) muestra resultados del jugo de naranja k_{50} $0,0183 \text{ min}^{-1}$ y k_{90} 0.5697 min^{-1} este último resultado es cercano al que se obtuvo en el presente trabajo. Dichos resultados son superiores a los nuestros, etc. Los resultados de la constante de velocidad de degradación indican la pérdida del ácido ascórbico es más rápida a mayor temperatura.

El tiempo de reducción decimal obtenidos no están alejados de los resultados de Aucayauri (2011) son D_{70} 151.51 min, D_{90} 92.32 min estos valores son muy cercanos a los nuestros, Guzmán (2014) obtiene resultados D_{40} 34.54 min, D_{60} 15.35 min y D_{80} 8.63 min estos resultados están muy debajo a los nuestros, Ordóñez et al. (2013) indican que su valor

D_{75} es de 2.88 min, D_{85} es de 2.05 min y D_{95} es de 1.59 min a la vista salta que sus resultados son inferiores a los nuestros, Ordóñez & Yoshioka (2012) muestran sus valores del valor D_{60} 82.24 min, D_{70} 48.99 min y D_{80} 41.12 min respectivamente, Vikram et al. (2005) muestran resultados de D_{50} 125.85, y D_{90} 4.04. Singh (2016) indica que cuando mayor es el valor D , mayor es la retención del nutriente debido a que es un indicador de la termorresistencia del nutriente en el alimento.

4.2.4. Cálculo del valor de resistencia térmica (z)

En la Figura 11, se observa una pendiente de la recta de 0,0101 y la inversa de este valor es 99°C , que es el valor de la resistencia térmica (z) de la degradación del ácido ascórbico en el zumo de tumbo con un índice de correlación de 0.9826. Ordóñez & Yoshioka (2012) en pulpa de mango reporta un resultado del valor z de 66°C , Ordóñez et al. (2013) en guayaba reportan de 76.7°C , Guzmán (2014) en maracuyá alcanza unos resultados de 66.8°C y Gabas, Telis, & Menegalli (2003) en ciruela liofilizada obtiene un valor de 84°C el valor z es la elevación de la temperatura para reducir a la décima parte el tiempo de tratamiento térmico estándar para obtener la misma tasa de destrucción. Este valor que representa la curva de tiempo de muerte térmica. Las discrepancias entre los valores obtenidos y reportados por diferentes autores pueden corresponder a los diferentes lugares en los cuales se realizaron los experimentos, ya que la degradación es mayor cuando hay mayor presencia de O_2 .

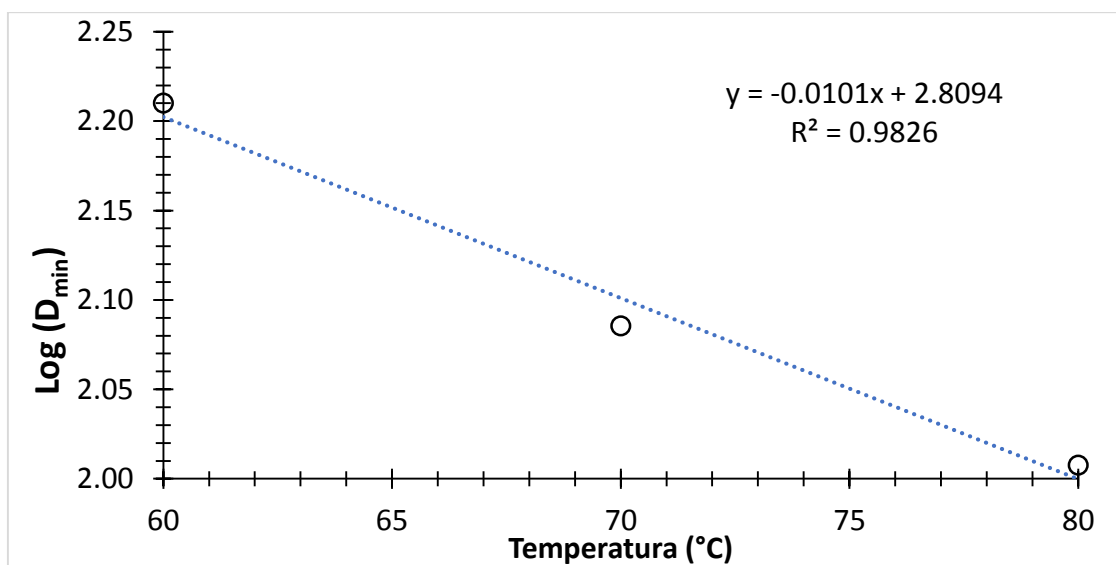


Figura 9. Valor de resistencia térmica.

4.2.5. Cálculo de la Energía de activación (E_a)

La energía de activación la cual fue obtenida a partir de las constantes de la velocidad de degradación del ácido ascórbico (k) y la inversa de la temperatura absoluta, en la Figura 10, se muestra la figura correspondiente.

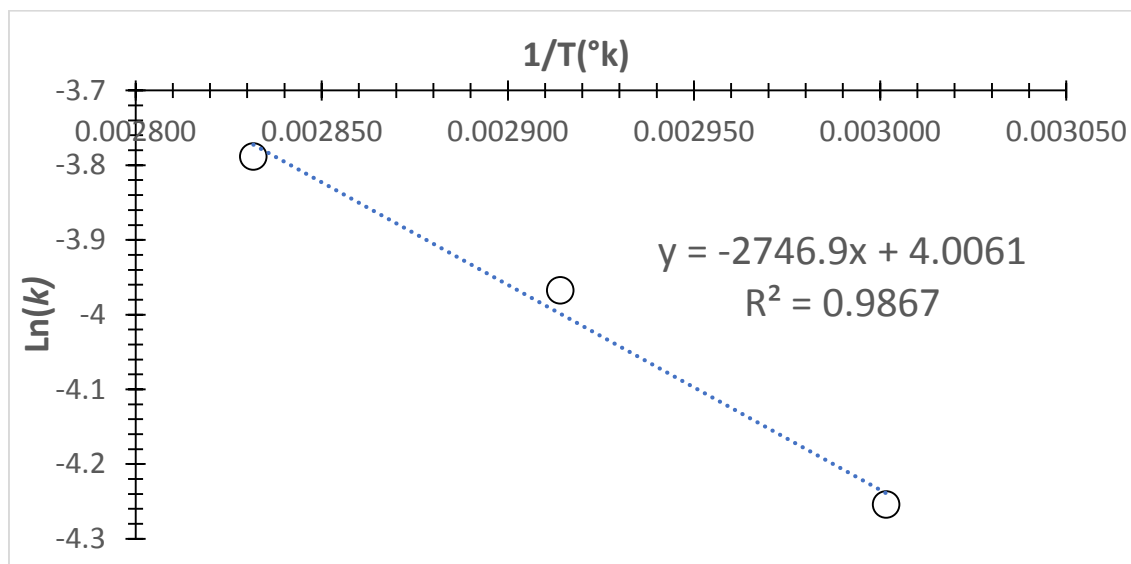


Figura 10. Energía de activación.

En la investigación, la energía mínima requerida (E_a) para que inicie la degradación térmica del ácido ascórbico en la pulpa de tumbo es 22.83 kJ/mol, la pendiente de la ecuación linealizada de la ecuación de Arrhenius resultó 0.0101. Los reportes de diferentes trabajos como Ordóñez et al. (2013) obtuvieron una E_a de 31.67 kJ/mol en un rango de temperaturas de 75 – 95 $^{\circ}C$ en pulpa de guayaba, Ordóñez & Yoshioka (2012) de 34.02 kJ/mol en un rango de temperaturas de 60 – 80 $^{\circ}C$ en pulpa de mango, Aucayauri (2011) de 26.32 kJ/mol en un rango de temperatura de 70 – 90 $^{\circ}C$ en zumo de naranja, Lavarda (2011) 19.95 kJ/mol en un rango de temperaturas de 60 – 80 $^{\circ}C$ en acerola. En cuanto más bajo sea el valor de la energía de activación menor será la reacción de degradación del ácido ascórbico en el zumo de tumbo pasteurizado, se necesitaría de un incremento equivalente al valor de la energía de activación para que reaccione una molécula y consecuentemente pierda su actividad vitamínica.

4.2.6. Cálculo de Q_{10}

El valor de Q_{10} , es de 1.60 para el ácido ascórbico durante la pasteurización de la pulpa de tumbo, este valor es superior a valor obtenido por Aucayauri (2011) que obtuvo 1.3 en el zumo de naranja, Orosco (2017) realizó la investigación en la pulpa de tomate de árbol el

cual obtuvo un valor de 1.03 este dato es inferior a los datos que se obtuvieron en la pulpa de tumbo esto es debido a que el tiempo para la concentración del ácido ascórbico de pulpa de tumbo en alcanzar los niveles inaceptables, cuando la pulpa es sometida a una temperatura más alta por 10 °C.

El valor de Q_{10} nos indica que disminuye en 1.60 el tiempo cuando se incrementa 10°C al producto. Se concluye entonces que el ácido ascórbico en la pulpa pasteurizada de tumbo es menos estable en comparación con el zumo de naranja que investigó Aucayauri (2011) y Orosco (2017).

4.3. Cálculo de tiempo óptimo de procesamiento

En la Tabla 14 se muestra los resultados del tiempo óptimos de procesamiento para cada temperatura, observándose que a menor temperatura se encuentra el tiempo optimo, es decir, que se requiere menos tiempo y temperatura para tener niveles más altos de contenido de vitamina C.

Tabla 14.

Tiempo óptimo de los tratamientos.

Temperatura °C	D (min)	Ci mg/100g	Cf mg/100g	log (Ci/Cf)	tiempo optimo
60	162.17	77.01	56.94	0.131	21.27
70	121.74	77.01	52.31	0.168	20.45
80	101.76	77.01	48.58	0.200	20.36

Nota: Ci: concentración inicial; Cf: concentración final.

La temperatura óptima del tratamiento 60°C se ha determinado anteriormente por presentar el mejor índice de correlación y el mayor porcentaje de ácido ascórbico retenido en la pulpa de tumbo siendo el tiempo de procesamiento óptimo de 21.27 min.

4.3.1. Porcentaje de pérdida

En la Tabla 13 se muestra el porcentaje de perdida en función al tiempo y temperatura, se puede observar al tiempo 0 el porcentaje de perdida es cero y así sucesivamente va incrementándose el porcentaje de perdida, llegando a mayor temperatura y tiempo el porcentaje de perdida es de 36.40%.

Tabla 15.

Porcentaje de pérdida de vitamina C

% Perdida de vitamina C			
Tiempo (min)	60°C	70°C	80°C
5	6.85	9.02	10.69
10	13.23	17.23	20.25
15	19.18	24.71	28.78
20	24.72	31.5	36.4

La vitamina C es una vitamina muy inestable que se puede desnaturalizar fácilmente, se observó que el porcentaje de pérdida de vitamina C a diferentes tiempos de pasteurización, de la pulpa a 80°C y 20 min presentó el nivel más alto de pérdida de vitamina C (36.40%). Esto sugiere que la desnaturalización de la vitamina C debido al calentamiento depende de su disponibilidad en el vegetal. Así, la vitamina C, al ser soluble en agua, se filtra en el agua de cocción y se degrada. La vitamina C es importante para la salud humana y una fuente dietética necesaria. Para una alta retención de vitamina C durante la cocción, se recomienda que esta fruta se consuma lo más fresco o pasteuricen a fuego lento y pequeñas cantidades de agua por períodos cortos para minimizar la pérdida de vitamina C (Lešková et al., 2006).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que la fruta utilizada en el presente estudio, demostró que el tumbo tiene un alto contenido de vitamina C 77.01 mg/100g.

El modelo cinético que se ajustó mejor para determinar los parámetros cinéticos de degradación de la vitamina C en el zumo de tumbo es la segunda reacción. Las velocidades de degradación para la vitamina C en el zumo de tumbo son: $k_{60} = 0,014 \text{ min}^{-1}$, $k_{70} = 0,019 \text{ min}^{-1}$ y $k_{80} = 0,023 \text{ min}^{-1}$ y los tiempos de reducción decimal: $D_{60} = 162.2 \text{ min}$, $D_{70} = 121.7 \text{ min}$ y $D_{80} = 101.8 \text{ min}$. El valor z fue de 99°C y la energía de activación del ácido ascórbico en el rango de temperaturas de 60 a 80°C es de 22.84 kJ/mol y el valor de Q_{10} para el ácido ascórbico en el zumo de tumbo es de 1.60. El tiempo y temperatura óptimo de pasteurización en la pulpa de tumbo es de 10.7 min y 60°C , por presentar el mejor índice de correlación, retener la mayor cantidad de ácido ascórbico, presentar una velocidad de reacción menor y requiere de un mayor tiempo de reducción decimal.

5.2. Recomendaciones

- Realizar la caracterización fisicoquímica del tumbo serrano en sus diferentes estados de madurez.
- Realizar un estudio de cinética de degradación térmica de vitamina C del tumbo con diferentes concentraciones de pH.

REFERENCIAS

- Acevedo, B., Montiel, M., & Avanza, J. (2004). *Efecto del tratamiento térmico en la capacidad antioxidante total de jugos de pomelo, naranja y mandarina.*
- AGRO. (2016). El futuro del sector agropecuario son las frutas tropicales y exóticas. Retrieved May 22, 2019, from <https://www.dinero.com/pais/articulo/el-futuro-del-sector-agropecuario-son-las-frutas-tropicales-y-exoticas/231673>
- Ahmed, S., Sherino, B., & Nawaz, Z. (2015). *Determination of Vitamin C content in Citrus Fruits and in Non Citrus Fruits by Titrimetric method, with special reference to their nutritional importance in Human diet Heavy metal analysis View project citrus fruits View project.* Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/281271910>
- Altendorf, S. (2017). *Perspectivas mundiales de las principales frutas tropicales.*
- Atáres, L. (2009). *Problemas básicos de Cinética Química: ley de Arrhenius.*
- Aucayauri, E. (2011). *Estudio de la cinética de degradación térmica del ácido ascórbico durante la pasteurización del zumo de naranja valencia(citrus sinensis).* Universidad Nacional del Centro del Perú Facultad de Ciencias Agrarias.
- Awagu, Ekanem, E. O., Kolo, A. M., & Adamu, M. M. (2017). Kinetic Modeling of Vitamin C (Ascorbic Acid) Degradation in Blanched Commonly Consumed Salad Vegetables Using Computer Simulation Analysis. *IOSR Journal of Applied Chemistry (IOSR-JAC)*, 10, 59–66. <https://doi.org/10.9790/5736-1004015966>
- Baldeón, E. O., Alcañiz, M., Masot, R., Fuentes, E. M., Barat, J. M., & Grau, R. (2015). Voltammetry pulse array developed to determine the antioxidant activity of camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaug) and tumbo (*Passiflora mollissima* (Kunth) L.H. Bailey) juices employing voltammetric electronic tongues. *Food Control*. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.01.044>
- Boekel, V., & Tijssens, M. (2001). Kinetic modelling. <https://doi.org/10.1533/9781855736375.1.35>
- Burdurlu, H. S., Koca, N., & Karadeniz, F. (2006). *Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. Journal of food engineering.* Elsevier Science Pub. Co. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301050691>

- Carranza, D., Méndez, D., Váquiro, H., & Solanilla, J. (2014). Cinética de Degradación Térmica del Ácido L-ascórbico en Jugo de Curuba (*Passiflora tripartita* variedad Mollissima). *Revista de Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Del Tolima*.
- Chaparro, D., Maldonado, M., Franco, M., & Urango, L. (2014). Características nutricionales y antioxidantes de la fruta curuba larga (*Passiflora mollissima* Bailey). *Perspectivas En Nutrición Humana*. <https://doi.org/10.17533/udea.penh.v16n2a07>
- Cheftel, J.-C., Cheftel, H., Besançon, P., Desnuelle, P., & López, F. (1992). *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*. Acribia.
- Chipana, C. (2014). *Determinación de la estabilidad del ácido ascórbico en el zumo de aguaymanto (Physalis peruviana L.)*. Puno.
- Chirinos, S. (2017). *Determinación de los parámetros de tiempo y temperatura óptimos para un proceso de pasteurización que asegure la estabilidad microbiológica de una bebida carbonatada, no alcohólica a base de malta*. Universidad Central de Venezuela Facultad de Ciencias de la escuela de Biología .
- Chiroque, D. (2017). “Degradación térmica de vitamina c en pulpa de mango (*mangifera indica* l.) variedad haden y predicción microbiológica de vida útil mediante modelo de Gompertz.” *Universidad Nacional de Piura*, 83.
- Cioroi, M. (2007). *Study on L-Ascorbic acid contents from exotic fruits*. *Anul XXXX* (Vol. 1). Retrieved from http://www.uaiasi.ro/CERCET_AGROMOLD/CA1-07-03.pdf
- Contreras, X. (2015). *Influencia de la temperatura de secado en la degradación térmica del ácido ascorbico en el aguaymanto (physalis peruviana l)*. Universidad Nacional del Centro del Perú Huancayo.
- Corredor, G., Fischer, G., & Pinzón, I. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). *Agronomía Colombiana*, 83–95. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/256475458_Determinacion_de_los_estados_de_madurez_del_fruto_de_la_gulupa_Passiflora_edulis_Sims
- Cuastumal, G., Valencia, B., & Ordóñez, L. (2016). Efectos de los tratamientos térmicos en la concentración de vitamina C y color superficial en tres frutas tropicales. *Revista Lasallista de Investigación*, 13, 85–93. Retrieved from

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69545978008>

- Dicovski, L. M. (2008). *Estadística básica* (1st ed.). Estelí, Nicaragua.
- Elí, E. (2017). Evaluación de vida útil de los alimentos (shelf life): Efecto de la temperatura. *Ciencia Y Desarrollo*.
- Encina, C., & Carpio, L. (2011). Máxima retención de ácido ascórbico, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el néctar de tumbo. *Ingeniería Industrial*, 29, 1025–9929.
- Fennema, R., & Tannenbaum, S. R. (1993). Introducción a la química de los alimentos.
- Fernández, J. (1999). *Química Analítica*.
- Florio Ramirez, E. (2006). Néctar de tumbo (*Passiflora* HBK). *Ciencia Y Desarrollo*.
- Gabas, A., Telis, J., & Menegalli, F. (2003). Cinética de degradación do ácido ascórbico Ameixas liofilizadas. *Ciencia Y Tecnologia de Alimentos Campinas*, 66–70.
- Grosso, G., Bei, R., & Marventano, S. (2013). Effects of Vitamin C on health: a review of evidence. *Frontiers in Bioscience*. <https://doi.org/10.2741/4160>
- Guzmán, J. (2014). *Evaluación de la cinética de degradación térmica de la vitamina C en el jugo de papaya (*Carica papaya* L.) y maracuyá (*Passiflora edulis*)*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Harris, G. (2006). Cinética química. Retrieved July 25, 2018, from <https://es.slideshare.net/inaltara/cinetica-quimica-gordon-harris>
- Hiwilepo-van Hal, P., Bosschaart, C., van Twisk, C., Verkerk, R., & Dekker, M. (2012). Kinetics of thermal degradation of vitamin C in marula fruit (*Sclerocarya birrea* subsp. *caffra*) as compared to other selected tropical fruits. *LWT - Food Science and Technology*, 49(2), 188–191. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.12.038>
- Inocente, M. (2015). “Diseño e implementación de una cadena de valor viable y sostenible para productos alimenticios y cosméticos elaborados con extractos estabilizados de *Passiflora mollissima* L. (tumbo serrano).” *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 1, 165.
- Jonhson, J. R., Braddock, R. J., & Chen, C. S. (1995). Kinetics of Ascorbic Acid Loss and Nonenzymatic Browning in Orange Juice Serum: Experimental Rate Constants.

Journal of Food Science, 60(3), 502–505. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb09812.x>

- Lama, A., & Tezén, P. (2017). *Estudio de prefactibilidad de la implementación de una empresa procesadora de arilos de granada y jugo concentrado de maracuyá para su exportación al mercado europeo*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Lavarda, Liziane. (2011). *determinação da cinética de degradação térmica da vitamina c em polpa de acerola via aquecimento ôhmico* Liziane Lavarda.
- Lešková, E., Kubíková, J., Kováčiková, E., Košická, M., Porubská, J., & Holčíková, K. (2006, June). Vitamin losses: Retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models. *Journal of Food Composition and Analysis*. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.04.014>
- López, M., Beltrán, M., Cardona, J., & Yepes, H. (2006). La fruta de la pasión, potencial contribución de la naturaleza a la seguridad. *Investigaciones Andina*.
- López, R. (2009). Frutales para la cuenca del río Lurín. *Instituto Nacional de Innovación Agraria*, 71.
- Matei, N., Birghila, S., Popescu, V., Dobrinas, S., Soceanu, A., Oprea, C., & Magearu, V. (2008). Kinetic study of vitamin C degradation from pharmaceutical products. *Romanian Reports of Physics*.
- Matos, A., & Chuquilin, E. (2010). Estudio de la Influencia de la Concentración en la Retención de Vitamina C en Jugo Fresco y Concentrado de Carambola (*Averrhoa carambola* L.). *Ciencia Y Tecnologia de Alimentos*, 1.
- Mendoza, F. A., Hernández, E. J., & Ruiz, L. E. (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*). *Informacion Tecnologica*. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000300003>
- Montaño, F. (2011). *Determinación, cuantificación y comparación de la concentración de vitamina C en naranja (citrus aurantium), limón (citrus aurantifolia) y mandarina (citrus reticulata) por HPLC*.
- Oancea, A. M., Turturică, M., Bahrim, G., Râpeanu, G., & Stănciuc, N. (2017). Phytochemicals and antioxidant activity degradation kinetics during thermal treatments

- of sour cherry extract. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.026>
- Ocampo, O. (2014). *El cultivo de curuba larga (passiflora mollisima) en el departamento de antioquia, y su manejo agronómico en la vereda yarumal del municipio de sonsón*. Universidad nacional abierta y a distancia escuela de ciencias agrícolas pecuarias y del medio ambiente agronomía .
- Oliveira, R. G. de, Godoy, H. T., & Prado, M. A. (2010). Otimização de metodologia colorimétrica para a determinação de ácido ascórbico em geleias de frutas. *Ciência E Tecnologia de Alimentos*, 30(1), 244–249. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612010000100036>
- Ordóñez, L., Portilla, M., Ospina, R., & Rodríguez, D. (2013). Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Lasallista de Investigacion*.
- Ordóñez, L., & Yoshioka, L. (2012). Cinética de degradación térmica de vitamina c en pulpa de mango (*mangifera indica* l) thermal degradation kinetics of vitamin c in mango pulp (*mangifera indica* l). *Vitae*, 19(1).
- Orosco, F. (2017). Efecto de la temperatura en la cinética de degradación del ácido ascórbico en pulpa de tomate de árbol (*solanum betaceum*). *Universidad Nacional Jose Maria Arguedas*, 82.
- Páez, G., Freay, J., Moreno, M., Mármol, Z., Araujo, K., & Rincón, M. (2007). Cinética de la degradación del ácido ascórbico en jugo de parchita. *Universidad Del Zulla Venezuela*, 5.
- Pertuzatti, P., Sganzerla, M., Jacques, A., Barcia, M. T., & Zambiasi, C. (2015). Carotenoids, tocopherols and ascorbic acid content in yellow passion fruit (*Passiflora edulis*) grown under different cultivation systems. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 259–263. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.031>
- Quijano, J., & Pabón, E. (2009). *Cinética en solución de la descomposición térmica del 2-propenal*. Medellín.
- Robles, N. (2016). *Efecto del tiempo y temperatura de pasteurización en el contenido de vitamina C y capacidad antioxidante del zumo de oca (Oxalis tuberosa Mol)*.

Universidad Nacional del Altiplano.

- Rojas, F. (2015). *Formulación y evaluación de la estabilidad de betalainas y vitamina C en bebida a base de tumbo (Passiflora mollissima) y Tuna (Opuntia sp.) y edulcorada con stevia*. Retrieved from http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1256/ROJAS_IPARRAGUIRRE.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Serra, H. M., & Cafaro, T. A. (2007). Ascorbic acid: from chemistry to its crucial protective role in the eye. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 41(4), 525–532.
- Singh, P. (2016). *Computer Applications in Food Technology. Computer Applications in Food Technology*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-646382-8.x5000-9>
- Toledo, R. (2001). *Fundamentals of food process engineering* (segunda). Springer.
- Urraca, E. (2011). Effect of water activity and pH on the shelf life of pulp of tumbo (*Passiflora quadrangularis*). *Ingeniería En Industrias Alimentarias de La Universidad Privada Antenor Orrego*.
- Ururi, F., Subiabre, H., & Calle, I. (2011). Cultivo del tumbo e la precordillera de putre. *INIA*, 4.
- Vikram, V. B., Ramesh, M. N., & Prapulla, S. G. (2005). Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.07.013>
- Vilchez, M. (2012). El tumbo triptico. Retrieved July 25, 2018, from https://es.slideshare.net/gordon_-freeman/el-tumbo-triptico
- Villareal, Y., Mejía, D., Osorio, O., & Cerón, A. (2013). *Effect of pasteurization on sensory characteristics and content of vitamin c in fruit juices efeito da pasteurização sobre características sensoriais e teor vitamina c em suco de frutas. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* (Vol. 2).

ANEXOS

Anexo A: Preparación de soluciones y curva patrón.

1. Preparación de soluciones

- 1.1. Acido oxálico al 0,4%: Pesar 4 g y llevar a 1000 ml con agua destilada.
- 1.2. Solución madre de ácido ascórbico 0.1% en solución ácido oxálico: Pesar 100mg de ácido ascórbico y llevar a volumen de 100 ml con una solución de ácido oxálico al 0,4%
- 1.3. Solución de 2,6 Dicloroindofenol (DFIF): Pesar 12 mg de 2,6 DFIF, disolver y llevar a 1000 ml de volumen con agua destilada. Emplear agua destilada hirviendo. Almacenar en botella de color oscuro y en refrigeración, la solución tiene un máximo de duración por 15 días.

2. Estándares para elaborar la curva patrón

- 2.1. Tomar 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13 ml de solución madre de ácido ascórbico, llevar a volumen de 100 ml con la solución de ácido oxálico al 0,4%. Estas soluciones enumeradas del 1 al 13 contendrán 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13 mg de ácido ascórbico por 100 ml respectivamente.
- 2.2. Tomar 4 tubos de prueba y enumerarlos del I al IV y agregar lo siguiente:
 - I 10ml de agua destilada
 - II 1 ml de ácido oxálico al 0,4%
 - III 1 ml de solución estándar + 9 ml de agua
 - IV 1 ml de solución estándar
- 2.3. Ajustar a cero la absorbancia usando I y una longitud de onda de 515 nm.
- 2.4. Al tubo II añadir 9 ml del colorante y exactamente después de 15 segundos, leer la absorbancia (L1).
- 2.5. Ajustar a cero la absorbancia con la solución del tubo III.
- 2.6. Al tubo IV añadir 9 ml del colorante y exactamente después de 15 segundos, leer la absorbancia (L2).
- 2.7. Repetir desde 2.2. para cada estándar de trabajo y registrar los correspondientes valores de L1 y L2. Construir la curva estándar con las concentraciones de ácido ascórbico (mg/100ml) en la abscisa y en la ordenada la absorbancia (L1-L2) para cada estándar de trabajo.

3. Preparación y determinación del contenido de Vitamina C de la muestra problema

- 3.1. Pesar 100 g de pulpa y hacer la dilución 1/5 con ácido oxálico al 0.4%.
- 3.2. Licuar durante 1 min.
- 3.3. Extraer el jugo de la muestra que se licuó por el método de exprimido y llevarlo a clarificar con la centrifuga a 2000 rpm por 15 minutos, luego someter a un filtrado al vacío con papel filtro.
- 3.4. El jugo extraído colocarlo en un envase de color oscuro, mantenerlo en refrigeración hasta que sea momento de usarlo.
- 3.5. Luego proceder como se señaló en el ítem 2 anterior desde 2.2 hasta 2.6. En lugar del estándar de trabajo trabajar con el jugo que se extrajo.
- 3.6. En tubos de ensayo con tapas colocar 5 ml de muestra con un pipeteador para ser más exactos, luego colocarlo a baño maría y así sucesivamente con los diferentes tiempos y temperaturas.
- 3.7. Anotar el L1 – L2 y hallar la concentración de ácido ascórbico mediante la ecuación de la curva estándar $y = bx + a \cdot f$. Donde: $Y = L1 - L2$, $bx = 0.0067$; $a = 0.022$; $f = 5$.

Anexo B: Características físicas del tumbo.

Peso (g)	Ancho (mm)	Altura (mm)
93	44.7	93.22
88	42.08	88.35
93	44.65	92.43
95	43.48	87.82
83	44.33	89.05
89	44.33	93.01
83	41.57	88.82
84	44.41	86.79
87	44.74	94.16
97	42.79	91.16
94	43.33	91.70
96	43.23	92.04
97	43.12	92.38
91	43.60	90.84

Anexo C: Repeticiones del contenido de vitamina C en la pulpa de tumbo.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)														
	60					70					80				
	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5
0	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01
5	71.42	70.67	71.42	71.42	70.67	67.69	66.94	68.43	67.69	68.43	66.19	63.21	64.70	63.96	64.70
10	68.43	67.69	66.94	68.43	67.69	60.97	62.46	60.22	60.97	60.22	60.22	59.48	57.99	59.48	58.73
15	63.21	64.70	64.70	63.96	63.21	57.24	57.99	56.49	57.24	56.49	54.25	51.27	52.76	52.01	51.27
20	57.99	56.49	57.24	57.24	55.75	54.25	51.27	49.78	52.76	53.51	49.03	49.78	43.81	50.52	49.78

Nota: Donde R es repeticiones

Anexo D: Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación del contenido de vitamina C en las pruebas.

Tiempo (min)	60°C			70°C			80°C		
	\bar{x}	SD	CV	\bar{x}	SD	CV	\bar{x}	SD	CV
0	77.01	0.00	0.00	77.01	0.00	0.00	77.01	0.00	0.00
5	71.12	0.41	0.57	67.84	0.62	0.92	64.55	1.11	1.71
10	67.84	0.62	0.92	60.97	0.91	1.50	59.18	0.85	1.44
15	63.96	0.75	1.17	57.09	0.62	1.09	52.31	1.25	2.39
20	56.94	0.85	1.49	52.31	1.80	3.44	48.58	2.72	5.60

Donde: \bar{x} es promedio, SD es desviación estándar y CV es coeficiente de variabilidad.

Anexo E: Determinación de curva patrón



Anexo F: Recepción de materia prima



Anexo G: Centrifugado y filtrado de la muestra



Anexo H: Determinación de Acidez



Anexo I: Determinación de pH



Anexo J: Medición de temperatura para iniciar el experimento



Anexo K: Modelos de ajuste para con la ecuación exponencial.

Ecuación $y=a*\exp(b*x)$			
	60 °C	70	80
Intercepto C_0	77.1 (73.7, 80.5)	75.8 (72.28, 79.4)	75.82 (72.28, 79.35)
Constante	-0.014 (-0.018, -0.01)	-0.019 (-0.024, -0.015)	-0.0194 (-0.0238, -0.015)
SSE	5.149	5.494	11.48
R^2	0.9774	0.9853	0.977
Adjusted R^2	0.9698	0.9804	0.9694
RMSE	1.31	1.353	1.9757

Anexo L: Modelos de residuos

modelo $y=a*\exp(b*x)$						
N=5	60°C		70°C		80°C	
	a	b	a	b	a	b
Estimate	77.09908	-0.0140	75.81741	-0.0194	75.21975	-0.0235
Std.Err.	1.06468	0.0012	1.12326	0.0014	1.64228	0.0021
T (3)	72.41514	-11.2171	67.49781	-13.8583	45.80216	-10.9926
-95%CL	73.71078	-0.0179	72.24271	-0.0239	69.99330	-0.0302
+95%CL	80.48737	-0.0100	79.39212	-0.0149	80.44621	-0.0167
p-value	0.00001	0.0015	0.00001	0.0008	0.00002	0.0016

Anexo M: Observado, predicción y residuos

Residuos								
60°C			70°C			80°C		
Observed	Predicted	Residuals	Observed	Predicted	Residuals	Observed	Predicted	Residuals
77.01000	77.09908	-0.08908	77.01000	75.81741	1.19259	77.01000	75.21975	1.79025
71.11940	71.89754	-0.77814	67.83582	68.80833	-0.97251	64.55224	66.89480	-2.34256
67.83582	67.04693	0.78889	60.97015	62.44722	-1.47707	59.17910	59.49121	-0.31211
63.95522	62.52357	1.43166	57.08955	56.67417	0.41538	52.31343	52.90701	-0.59358
56.94030	58.30537	-1.36508	52.31343	51.43483	0.87861	48.58209	47.05152	1.53057

Anexo N: Análisis de varianza frente a 60°C

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	223.762888	223.762888	172.96484	0.00094966
Residuos	3	3.88107007	1.29369002		
Total	4	227.643958			

Anexo O: Análisis de varianza frente a 70°C

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	361.674779	361.674779	96.5556009	0.0022405
Residuos	3	11.2373009	3.74576695		
Total	4	372.91208			

Anexo P: Análisis de varianza frente a 80°C

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	477.406746	477.406746	64.3803593	0.00404179
Residuos	3	22.2462294	7.41540978		
Total	4	499.652976			
