

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA  
CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DEL ÁCIDO  
ASCÓRBICO EN PULPA DE TOMATE DE  
ARBOL (*Solanum betaceum*).**

Presentado por

**Br. FLORINDA YAVARÍ OROSCO HUAYANA**

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

**ANDAHUAYLAS – APURÍMAC – PERÚ**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



Presentado por

**Br. FLORINDA YAVARÍ OROSCO HUAYANA**

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA CINÉTICA  
DE DEGRADACIÓN DEL ÁCIDO ASCÓRBICO EN  
PULPA DE TOMATE DE ARBOL (*Solanum  
betaceum*).**

**ASESOR:**

**Ing. DAVID JUAN RAMOS HUALLPARTUPA**

**ANDAHUAYLAS – APURÍMAC – PERÚ**

**2017**



## FACULTAD DE INGENIERÍA

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el local del salón de grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Sede Académica de Santa Rosa de la Universidad Nacional José María Arguedas de la ciudad de Andahuaylas, siendo las doce del mediodía del día viernes nueve de junio del año dos mil diecisiete; se reunieron el Ing. Fredy Taipe Pardo, la Ing. Gina Genoveva Toro Rodríguez y el Mg. Ing. Denis Hernán Gutiérrez Martínez, integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: "EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DEL ÁCIDO ASCÓRBICO EN PULPA DE TOMATE DE ÁRBOL (*SOLANUM BETACEUM*)", cuya autora es el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial FLORINDA YAVARI OROSCO HUAYANA, con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis.

Luego de la sustentación y defensa del tesista, el Jurado Evaluador **ACORDÓ:** APROBAR por UNANIMIDAD a la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial FLORINDA YAVARI OROSCO HUAYANA, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
14	CATORCE	BUENO

En señal de conformidad, se procedió a la firma de la presente acta en 03 ejemplares.

Ing. Fredy Taipe Pardo  
Presidente del Jurado Evaluador

Ing. Gina Genoveva Toro Rodríguez  
Primer Miembro del Jurado Evaluador

Mg. Ing. Denis Hernán Gutiérrez Martínez  
Segundo Miembro del Jurado Evaluador



## FACULTAD DE INGENIERIA

### APROBACIÓN DE JURADO DICTAMINADOR

**LA TESIS:** "EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DEL ÁCIDO ASCÓRBICO EN PULPA DE TOMATE DE ARBOL (*Solanum betaceum*)"; para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial, ha sido evaluada por el jurado dictaminador conformado por:

**PRESIDENTE:** Ing. FREDY TAIPE PARDO

**SECRETARIA:** Ing. GINA GENOVEVA TORO RODRIGUEZ

**VOCAL:** Ing. Mg DENIS HERNÁN GUTIÉRREZ MARTÍNEZ

Habiendo sido aprobado por UNANIMIDAD, en la ciudad de Andahuaylas el día 9 del mes de Junio del año 2017.

Andahuaylas, 16 de Agosto del 2017

Atentamente,

Ing. Fredy Taipei Pardo  
Presidente del Jurado Evaluador

Ing. Gina Genoveva Toro Rodriguez  
Secretaria del Jurado Evaluador

Ing. Mg. Denis Hernán Gutiérrez Martínez  
Vocal del Jurado Evaluador



## FACULTAD DE INGENIERIA

### COMPROMISO Y APROBACION DEL ASESOR DE TESIS

El que suscribe:

**Ing. MSc. David Juan Ramos Huallpartupa**, identificado con Colegiatura CIP N° 84186, profesor asociado a tiempo completo, adscrito al **Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología Agroindustrial**, por la presente hace constar:

#### CERTIFICA,

Que, la bachiller en ingeniería agroindustrial **Florinda Yavarí Drosco Huayana** ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado **"EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DEL ÁCIDO ASCÓRBICO EN PULPA DE TOMATE DE ARBOL (*Solanum betaceum*)"**, para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial.

Andahuaylas, 05 de Agosto del 2017

.....  
**Ing. MSc. David Juan Ramos Huallpartupa**  
**Asesor de Tesis**

.....  
**Br. Florinda Yavarí Drosco Huayana**  
**Tesista**

## DEDICATORIA

Al creador de todo lo visible y lo invisible, a mi madre por su ternura y eterna paciencia, a mi padre por exigirme siempre más de lo que yo quería ofrecer, y a mis hermanos Mabel, Rebeca, Efraín, Marco y Esther por estar siempre ahí cuando los necesito y aun cuando no.

**Yavarí.**

### **EPÍGRAFE**

No te des por vencido, ni aún vencido, no te sientas esclavo, ni aún esclavo, trémulo de pavor, piénsate bravo y arremete feroz, ya malherido.

**Fragmento del poeta Avanti Almafuerte.**

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional José María Arguedas – Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA), por haberme acogido en sus aulas durante los cinco años de estudio, así mismo por permitirme el acceso a los laboratorios de Química para realizar esta investigación.

Al Ing. David Juan Ramos Huallpartupa asesor de tesis, del cual he recibido apoyo desde el primer momento y con paciencia me ha guiado a lo largo de este tramo. Estando siempre pendiente del avance de la investigación.

Así mismo quiero agradecer al profesional encargado del laboratorio de Química Yakelín Gutiérrez Martínez por siempre estar presto a brindarme su apoyo en todo lo que necesité, muy agradecida.

A los jurados de tesis, Ing. Fredy Taipe Pardo, Ing. Gina G. Toro Rodríguez, Ing. Denis Hernán Gutiérrez Martínez; Quienes dignamente colaboraron con sus conocimientos para la mejora de mi proyecto e informe final de investigación, con sus acertadas opiniones y respectivas correcciones.

También quiero agradecer a todos los docentes que han contribuido en mi formación universitaria, gracias por ayudarme a construir el amor, cariño y respeto que siento por la carrera profesional de ingeniería agroindustrial.

A mi padre por su exigencia, y por su eterna perseverancia para alcanzar el éxito; a mi madre por sus tiernas palabras de ánimo y por nunca permitirme rendirme, muy agradecida. A mi querida hermana Mabel (mi segunda mamá) por darme todo sin escatimar nada, solo deseando mi bienestar, y por siempre sentirse orgullosa de mí. A mis hermanos Rebeca, Efraín, Marco, Esther eternos cómplices.

A las que siempre consideraré amigas a pesar de la distancia: Elibet y Yésica.



## INDICE

	Página
DEDICATORIA	i
EPÍGRAFE	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPITULO 1	14
INTRODUCCIÓN	14
1.1 Objetivos.....	17
1.1.1 Objetivo general .....	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
1.2 Hipótesis de investigación.....	17
CAPÍTULO 2	18
REVISIÓN DE LITERATURA	18
2.1 Antecedentes .....	18
2.2 Cinética de las reacciones químicas .....	21
2.2.1 Orden de reacción .....	21
2.2.2 Ecuación de Arrhenius.....	23
2.2.3 Velocidad de reacción .....	24
2.2.4 Tiempo de vida media .....	25
2.2.5 Modelo Q <sub>10</sub> .....	26
2.3 Vitaminas .....	26
2.3.1 Vitaminas hidrosolubles.....	27
2.3.2 Vitamina C.....	28
2.3.3 Funciones del ácido ascórbico en los alimentos .....	28
2.3.4 Estructuras y propiedades generales del ácido ascórbico .....	29
2.4 Métodos analíticos de determinación del ácido ascórbico .....	29
2.5 Biodisponibilidad del ácido ascórbico de los alimentos .....	30
2.6 Predicción de las vitaminas.....	31

2.7 Optimización de la retención de vitaminas.....	32
2.8 Tratamientos térmicos .....	32
2.9 Efecto de la temperatura en la degradación del ácido ascórbico.....	33
2.10 Tomate de árbol .....	33
2.10.1 Nombres comunes y nombre científico.....	33
2.10.2 Variedades del tomate de árbol.....	34
2.10.3 Características nutricionales del fruto y su aprovechamiento alimenticio .....	34
2.10.4 Fitoquímica del tomate de árbol .....	36
2.10.5 Cultivo de tomate de árbol en Perú .....	36
CAPÍTULO 3 .....	38
MATERIALES Y METODOLOGÍA .....	38
3.1 Lugar de ejecución.....	38
3.2 Material de estudio.....	38
3.2.1 Universo y/o población .....	38
3.2.2 Unidad de análisis .....	38
3.2.3 Muestra .....	38
3.3 Equipos, materiales, instrumentos y reactivos e insumos de laboratorio.....	39
3.3.1 Equipos .....	39
3.3.2 Materiales de laboratorio .....	39
3.3.3 Reactivos e insumos.....	40
3.3.4 Material vegetal .....	40
3.4 Metodología .....	40
3.4.1 Método para cuantificar la concentración total de Ácido ascórbico en la pulpa de tomate de árbol.....	40
3.4.2 Método para cuantificar la concentración del Ácido ascórbico al final del proceso de cada tratamiento térmico (escaldado) en la pulpa de tomate de árbol .....	44
3.4.3 Método para evaluar la cinética de degradación del Ácido ascórbico durante el proceso del tratamiento térmico (escaldado) .....	47

3.4.4 Método para determinar la influencia de la temperatura en la velocidad de degradación del ácido ascórbico .....	48
3.4.5 Métodos estadísticos .....	49
CAPÍTULO 4	52
RESULTADO Y DISCUSION	52
4.1 Ácido ascórbico total de pulpa del tomate de árbol .....	52
4.2 Ácido ascórbico posterior al tratamiento térmico (escaldado) en la pulpa del tomate de árbol .....	52
4.3 Evaluación de la cinética de degradación del ácido ascórbico durante el proceso de tratamiento térmico (escaldado) .....	55
4.3.1 Orden de reacción del ácido ascórbico en pulpa de tomate de árbol .....	55
4.3.2 Constante de velocidad de degradación .....	57
4.3.3 Temperatura de vida media $t_{(1/2)}$ .....	58
4.3.4 Gráfico de Arrhenius .....	59
4.4 Determinación del efecto de la temperatura en la velocidad de degradación del ácido ascórbico .....	60
4.4.1 Energía de activación ( $E_a$ ) .....	60
4.4.2 Factor $Q_{10}$ .....	60
4.5 Evaluación del efecto de la temperatura en la concentración de Ácido ascórbico de la pulpa de tomate de árbol ( <i>Solanum betaceum</i> ) .....	61
4.5.1 Análisis de varianza ANOVA .....	61
CONCLUSIONES	62
RECOMENDACIONES	63
SUGERENCIA	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla 1. Composición química de los frutos de tomate de árbol según valores recopilados de varios autores. Valores determinados en 100 g de muestra.....	35
Tabla 2. Modelos matemáticos para cinética de degradación.....	47
Tabla 3. Fórmulas para determinar la energía de activación.....	48
Tabla 4. Concentración de ácido ascórbico (mg de Áa/100 g) después del tratamiento térmico.....	53
Tabla 5. $R^2$ y ECM, para orden 0, 1 y 2.....	55
Tabla 6. Modelo de orden 1 y constante de velocidad de primer orden.....	57
Tabla 7. Temperatura de vida media.....	58
Tabla 8. Requisitos físicos y químicos del tomate de árbol.....	71
Tabla 9. Resultados del análisis fisicoquímico de pulpa del tomate de árbol.....	74
Tabla 10. Concentración de ácido ascórbico en pulpa de tomate de árbol escaldado a temperatura de 60 °C, 65 °C, 70 °C, 75 °C, 80 °C.....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1. Concentración de reaccionantes frente al tiempo para una determinada reacción química.....	25
Figura 2. Estructuras de los ácidos L-ascórbico (vitamina C) y L-deshidroascórbico. ....	29
Figura 3. Esquema de acondicionamiento de muestra .....	42
Figura 4. Esquema de acondicionamiento de muestra .....	45
Figura 5. Variables de entrada y salida.....	49
Figura 6. Ácido ascórbico a diferentes temperaturas de tratamiento.....	54
Figura 7. Análisis de regresión simple con el modelo cinético de primer orden.....	56
Figura 8. Gráfico de Arrhenius de la degradación de ácido ascórbico en pulpa de tomate de árbol.....	59
Figura 9: Determinación del índice de madurez según la escala de color.....	71
Figura 10. Disminución de la concentración del Áa cuando la pulpa es expuesta a una temperatura de 60, 65, 70, 75 y 80 °C.....	76
Figura 11. Concentración de ácido ascórbico frente al tiempo.....	77
Figura 12. Inversa del logaritmo neperiano de la concentración de ácido ascórbico frente a la inversa del tiempo.....	77
Figura 13. Tomate de árbol.....	79
Figura 14. Lavado.....	79
Figura 15. Pelado .....	79
Figura 16. Despepitado y troceado .....	79
Figura 17. Triturado de pulpa.....	79
Figura 18. Extracción del ácido ascórbico con solución de ácido oxálico al 0.5%.....	80
Figura 19. Filtrado de la solución de ácido oxálico y la pulpa de tomate de árbol triturado. ....	80
Figura 20. Determinación de la concentración de ácido ascórbico, 2,6 Diclorofenol indofenol. ....	80

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Página</b>
Anexo 1. Determinación del índice de madurez.....	71
Anexo 2. Procedimiento de los análisis fisicoquímicos.....	73
Anexo 3. Cuantificación del ácido ascórbico total y medición de características de pulpa del tomate de árbol.....	74
Anexo 4. Cuantificación del ácido ascórbico posterior a los tratamientos térmicos (escaldado) de pulpa del tomate de árbol.....	75
Anexo 5. Concentración del Áa frente al tiempo de tratamiento.....	76
Anexo 6. Gráficos de regresión lineal simple para cinéticas de reacción de orden 0, 1 y 2 respectivamente para las temperaturas de 60, 65, 70, 75 y 80 °C.....	77
Anexo 7. Análisis de varianza de un solo factor para el efecto de la temperatura en la concentración de ácido ascórbico después del tratamiento térmico .....	78
Anexo 8. Fotografías del procedimiento para la preparación de la muestra .....	79
Anexo 9. Fotografías de la determinación de ácido ascórbico por titulación con 2,6 Diclorofenol - indofenol .....	80
Anexo 10. Matriz de consistencia .....	81

## RESUMEN

La investigación titulada, “efecto de la temperatura en la cinética de degradación del ácido ascórbico de la pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*)” se desarrolló en el laboratorio de química de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas. El objetivo fue determinar el efecto de la temperatura en la cinética de degradación del ácido ascórbico de la pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*). La determinación del ácido ascórbico se realizó empleando el método 2.6 Diclorofenol indofenol. Los parámetros cinéticos se determinaron por el método de los mínimos cuadrados, así mismo se realizó un análisis de varianza. El rango de temperaturas estudiadas fue de 60°C y 80 °C; Se escaldaron mitades de pulpa de tomate de árbol a las temperaturas de 60 °C, 65 °C, 70 °C, 75 °C, y 80 °C por un lapso de 10 minutos. (Se determinó la concentración a cada 2 min periódicamente), El ácido ascórbico siguió una cinética de degradación de primer orden en todos los tratamientos ( $k = 0.0165 \pm 0.0008 - 0.0825 \pm 0.003 \text{ min}^{-1}$ ,  $R^2 > 0,90$ ). El valor del tiempo de vida media ( $t_{1/2}$ ) fue de 45.9 y 8.4 minutos para 60 y 80 °C. La energía de activación  $E_a$  fue de 21.434 Kcal/mol. Se concluyó que la temperatura influye significativamente en la cinética de degradación del ácido ascórbico en la pulpa de tomate de árbol, disminuyendo su concentración con las temperaturas de estudio, la degradación del ácido ascórbico se ajusta a una cinética de primer orden y a la ecuación de Arrhenius.

**Palabras clave:** Ácido ascórbico, cinética de degradación y energía de activación, tomate de árbol.

## ABSTRACT

The research entitled "Effect of temperature on the kinetics of ascorbic acid degradation of tomato tree pulp (*Solanum betaceum*)" was carried out in the chemistry laboratory of the Professional School of Agroindustrial Engineering of the Universidad Nacional José María Arguedas. The objective was to determine the effect of temperature on the kinetics of ascorbic acid degradation of the tree tomato pulp (*Solanum betaceum*). The determination of ascorbic acid was performed using the method 2.6 Dichlorophenol indophenol. The kinetic parameters were determined by the least squares method, and an analysis of variance was performed. The temperature range studied was 60 ° C and 80 ° C; Tree tomato pulp halves were scalded at temperatures of 60 ° C, 65 ° C, 70 ° C, 75 ° C, and 80 ° C for a lapse of 10 minutes. (The concentration was determined every 2 min periodically.) Ascorbic acid followed a first order degradation kinetics in all treatments ( $k = 0.0165 \pm 0.0008 - 0.0825 \pm 0.003 \text{ min}^{-1}$ ,  $R^2 > 0.90$ ). The value of the half-life ( $t_{1/2}$ ) was 45.9 and 8.4 minutes for 60 and 80 ° C. The energy of activation  $E_a$  was 21,434 Kcal / mol. It was concluded that the temperature significantly influences the kinetics of ascorbic acid degradation in the tomato pulp of the tree, decreasing its concentration with study temperatures, degradation of ascorbic acid is adjusted a first order kinetics and the Arrhenius equation .

**Key words:** Ascorbic acid, degradation kinetics and activation energy, tree tomato.



## ABREVIATURAS Y UNIDADES

Áa	: Ácido ascórbico.
AOAC	: Asociación de Químicos Analíticos Oficiales
ANOVA	: Análisis de varianza.
° Brix	: Sólidos solubles.
DHAA	: Ácido dehidroascórbico.
$E_a$	: Energía de activación.
EMC	: Error cuadrático medio.
HPLC	: Cromatografía líquida de alta resolución
HSD	: Diferencia honestamente significativa.
$H_o$	: Hipótesis nula
$H_A$	: Hipótesis alternativa
$\text{min}^{-1}$	: Minutos elevado a la menos 1
min	: Minutos.
ml	: Mililitros.
mg	: Miligramos.
pH	: Potencial de hidrogeniones.
$Q_{10}$	: Factor adimensional (expresa la sensibilidad de la medida de la tasa de variación de sistemas químicos)
$R^2$	: Es el porcentaje de variación de la variable de respuesta que explica su relación con una o más variables predictoras.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Cinética Química:** Determina si una reacción es lenta o rápida al estudiar los factores que determinan la velocidad y el mecanismo.
- **Orden de reacción:**  $n$  = es el orden de reacción. Este número (entero o fraccionario) se obtiene experimentalmente y describe la forma en que la velocidad depende de la concentración del reactante. Con base en los valores más comunes de  $n$  (0,1 y 2)
- **$E_a$ :** Es la energía mínima necesaria para que se produzca una reacción química.
- **$Q_{10}$ :** Es un factor adimensional, (expresa la sensibilidad de la medida de la tasa de variación de sistemas químicos o biológicos como consecuencia del incremento de 10 °C de la temperatura.) expresa la variación de una tasa, y es una manera útil de expresar la dependencia de la temperatura que tiene un proceso determinado.
- **$T_{1/2}$ :** Expresa el tiempo requerido para perder la mitad de la concentración de factores deseables [A] o ganar la mitad de la concentración de los factores indeseables.
- **Ácido ascórbico:** Es un ácido orgánico, con propiedades antioxidantes, muy termo sensible y lábil a la acción del oxígeno y a las radiaciones ultravioletas. La vitamina C corresponde al grupo de las vitaminas hidrosolubles.
- **ANOVA:** Un análisis de la varianza permite determinar si diferentes tratamientos muestran diferencias significativas o por el contrario puede suponerse que sus medias poblacionales no difieren.
- **EMC:** Equivale a la suma de la varianza y la desviación al cuadrado del estimador. Un estimador es usado para deducir el valor de un parámetro desconocido en un modelo estadístico.
- **$R^2$  :** Es el porcentaje de variación de la variable de respuesta que explica su relación con una o más variables predictoras.
- **Método volumétrico:** Es la titulación con el indicador redox 2,6diclorofenolindofenol. El análisis implica la oxidación del ácido ascórbico con un colorante redox, como el 2,6-diclorofenolindofenol (azul en medio básico y rojo en medio ácido), el cual se reduce en presencia de un medio ácido, a un compuesto incoloro.

## CAPITULO 1

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad se da mucha importancia a los alimentos llamados funcionales, con el fin de su preservación son sometidos a diversos tratamientos térmicos que reducen significativamente su contenido de nutrientes.

La vitamina C o ácido ascórbico, es un micronutriente esencial en la alimentación del hombre al estar asociada a la síntesis de diferentes moléculas de importancia en la salud humana, se encuentra ampliamente distribuido en frutas y vegetales (Fennema y Tannenbaum, 1993). El aumento de la prevalencia de las enfermedades crónicas, relacionadas con la alimentación ha conducido a un mayor interés por estudiar la relación alimentación y salud; se ha demostrado una menor incidencia de las mismas con patrones alimentarios que involucran un alto consumo de alimentos vegetales, lo que ha motivado a investigar las propiedades de estos alimentos (Araya, Clavijo, y Herrera, 2006).

El Ácido Ascórbico, es considerado la vitamina más termo sensible, ya que a diferencia de otras vitaminas durante el procesamiento térmico se pierde el 100 % de su concentración si no se controla el proceso adecuadamente (Santos y Silva, 2008). Por esta razón su concentración final es considerada como indicador de calidad nutricional durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos (Ordóñez *et al.*, 2013). Durante el procesamiento de las frutas y hortalizas, este importante compuesto bioactivo se altera fácilmente por la acción de la temperatura y otros factores como la luz, los cambios de pH y los iones metálicos (Robertson y Samaniego, 1986). La degradación del ácido ascórbico durante el procesamiento de los alimentos vegetales ha sido registrada previamente en diversas investigaciones (Castillo y Miranda, 1995), (Ordóñez *et al.*, 2013) y (Mendoza, Hernández, y Ruiz, 2015).

La predicción de la cuantía de las pérdidas, requiere un conocimiento preciso de la cinética de degradación, la constante de degradación es específica para cada producto y es necesario determinarla experimentalmente, para establecer un modelo matemático para la cinética de degradación del ácido ascórbico (Castillo y Miranda, 1995). El tomate de árbol (*Solanum betaceum*), conocido internacionalmente como tamarillo, es originario de la región andina, habiendo planteado algunos autores la hipótesis de que su centro de origen se encuentra

en Perú y otros afirman que es proveniente de Bolivia (Bohs, 1995). Los frutos de esta especie son comestibles, de sabor agradable, ligeramente ácidos y con un alto contenido de Áa, vitaminas A y B6 y minerales como el hierro y potasio (Vasco, Avila, Ruales, Svanberg y Kamal, 2009), por lo que su cultivo y consumo son muy populares en la región andina tropical y subtropical (Bohs, 1995; Prohens & Nuez, 2000). Es un fruto que se caracteriza por su alto contenido de ácido ascórbico (Moreno, Pinto, García, y Camacho, 2007) además de ser una importante alternativa en la producción y diversificación de un producto de la zona. Pero, pese a las características sobresalientes de la fruta, no se le ha dado la importancia que merece dentro de la alimentación humana, por tanto una de las mayores inquietudes de la agroindustria es ofrecer a la población, alternativas de procesamiento que permitan captar el beneficio de la fruta y que compitan en iguales o mejores condiciones que aquellos productos ya existentes en el mercado.

se han reportado estudios sobre cinética de degradación en algunas frutas y verduras (Ordóñez *et al.*, 2013), (Mendoza *et al.*, 2015), entre otros. Sin embargo, todavía no se han reportado estudios en el tomate de árbol (***Solanum betaceum***). A pesar de los diversos estudios registrados, en la literatura científica son escasos los trabajos de investigación tendientes a evaluar el efecto del procesamiento en la concentración de la vitamina C en los frutos de tomate de árbol y lo poco que existe se ha centrado en la caracterización morfológica y molecular del tomate de árbol (Acosta, 2011) y también se ha estudiado la inactivación térmica de pectinmetilesterasa en tomate de árbol (Maca, Osorio, y Mejía, 2013) y otros estudios similares sin embargo, ninguno de ellos abordó la cinética de degradación térmica de tan importante ácido orgánico. Es por tal motivo que se quiere desarrollar este trabajo de investigación, con el fin principal de brindar datos reales acerca de la destrucción del ácido ascórbico; Por lo tanto, el objetivo en la investigación fue determinar el efecto de la temperatura en la cinética de degradación del ácido ascórbico en pulpa de tomate de árbol.

Para poder evaluar el efecto de la temperatura en la cinética de degradación del ácido ascórbico en la pulpa de tomate de árbol, se planteó el siguiente problema ¿Cuál es el efecto de la temperatura en la cinética de degradación del ácido ascórbico de la pulpa de tomate de árbol (***Solanum betaceum***)?, con el fin de responder a esta pregunta se planteó la hipótesis de

investigación “La temperatura influye significativamente en la cinética de degradación del ácido ascórbico de la pulpa de tomate de árbol”. Se cuantificó la concentración del Áa en tomate de árbol fresco, asimismo para evaluar el efecto de la temperatura se escaldaron mitades de pulpa de tomate de árbol por 10 minutos a temperaturas de 60 °C, 65 °C, 70 °C, 75 °C y 80 °C se obtuvieron 5 resultados por triplicado para cada temperatura, se realizaron gráficas (concentración de Áa frente al tiempo) para cada temperatura con los modelos de orden 0, 1 y 2 se realizó una regresión lineal simple con el método de mínimos cuadrados, el análisis resultó favorable para el modelo de orden uno, de las gráficas se obtuvo la constante de cinética de degradación ( $K$ ), estos valores permitieron realizar el gráfico de Arrhenius. Para evaluar la influencia de la temperatura en la velocidad de degradación del Áa se determinó la energía de activación  $E_a$ , el factor  $Q_{10}$  y el tiempo de vida media; por último se realizó un ANOVA para determinar si la temperatura influye significativamente en la cinética de degradación del Ácido ascórbico de la pulpa de tomate de árbol (***Solanum betaceum***).

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo general

- ❖ Determinar el efecto de la temperatura en la cinética de degradación del Ácido ascórbico de la pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*).

### 1.1.2 Objetivos específicos

- ❖ Cuantificar la concentración total de Ácido ascórbico en la pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*).
- ❖ Cuantificar la concentración del Ácido ascórbico al final del proceso de cada tratamiento térmico (escaldado) en la pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*).
- ❖ Evaluar la cinética de degradación del Ácido ascórbico en la pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) durante el proceso del tratamiento térmico (escaldado).
- ❖ Evaluar la influencia de la temperatura en la velocidad de degradación del ácido ascórbico.
- ❖ Evaluar estadísticamente el efecto de la temperatura en la concentración de Ácido ascórbico de la pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*).

## 1.2 Hipótesis de investigación

La temperatura influye significativamente en la cinética de degradación del Ácido ascórbico de la pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*).

## CAPÍTULO 2

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 Antecedentes

Mendoza *et al.* (2015), determinó la cinética de degradación de la vitamina C y el efecto del escaldado sobre el color de la pulpa de mango de hilacha edulcorada con 20 % de sacarosa. La determinación de la vitamina C se realizó empleando el método 2,6 Diclorofenol indofenol y el color mediante Colorímetro HunterLab. Los parámetros cinéticos se determinaron por el método de mínimos cuadrados y el análisis estadístico mediante el software Desing expert 6.0. La vitamina C siguió una cinética de degradación de primer orden en todos los tratamientos, aumentando la constante de velocidad de degradación  $k_1$  con el aumento de la temperatura de proceso, con un valor máximo de  $0.061 \text{ min}^{-1}$  a  $85 \text{ }^\circ\text{C}$  por 10 min. Los parámetros de vida media  $t_{1/2}$  y el tiempo de reducción decimal D disminuyeron a la mitad al pasar la temperatura de  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $85 \text{ }^\circ\text{C}$  con valores de 11,23 min y 37,30 min, respectivamente. La energía de activación  $E_a$  fue de 8.57 Kcal / mol. La vitamina C siguió una cinética de degradación de primer orden en todos los tratamientos.

Carrera (2013), evaluó los cambios producidos en las propiedades fisicoquímicas del jugo de tomate de árbol, que fue preparado después de exponer el fruto a diferentes tiempos de cocción, se trabajó con dos variedades de tomate de árbol: tomate criollo puntón y tomate rojo, los frutos procedían de ciudad de Ambato, Ecuador. La cantidad de vitamina C reportada fue de 19.7 – 57.8 mg/100g.

Ordóñez *et al.* (2013), en su investigación, evaluó la cinética de degradación térmica de la vitamina C en frutos de guayaba, en un rango de temperaturas de  $75 - 95 \text{ }^\circ\text{C}$ . Utilizando como material de trabajo rodajas guayaba de 0,53 cm de grosor x 6,10 cm diámetro se sometieron a los tratamientos térmicos ( $75, 85$  y  $95 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 10, 20, 30 y 40 minutos) en una marmita enchaquetada a presión atmosférica, la concentración de vitamina C en las muestras antes y después del tratamiento térmico se determinó por el método del 2,6 Diclorofenol indofenol. Después de los tratamientos térmicos ( $75 - 95 \text{ }^\circ\text{C}$ ), la concentración de la vitamina C en los frutos de guayaba disminuyó entre 56, 70 - 60 %, y su velocidad de degradación y energía de activación fueron:  $k =$

0,80 - 1,45 min<sup>-1</sup> ( $R^2 > 0,90$ ), y  $E_a = 7,57$  Kcal/mol, respectivamente. Este estudio considera que la concentración de vitamina C medida en los frutos de guayaba después de los tratamientos térmicos presentó una reducción al incrementar la temperatura y el tiempo del proceso, y los parámetros cinéticos de este antioxidante se ajustaron a una cinética de primer orden y a la ecuación de Arrhenius.

Villareal, Mejía, Osorio, y Cerón (2013), evaluaron el efecto de distintos tratamientos de pasteurización sobre las características sensoriales y el contenido de vitamina C de cuatro jugos de fruta: mora de castilla (MC), mango costeño (MAC), naranja Valencia (NV) y tomate de árbol (tamarillo) (TA). Las pérdidas de vitamina C provocadas por el tratamiento de pasteurización, se cuantificaron mediante el método de Mohr encontrándose valores de 87,72 % para tomate de árbol.

Torres (2012), en esta investigación se determinaron parámetros físicos y químicos de frutos de tomate árbol procedentes del Estado Aragua, Venezuela. La caracterización reflejó que los frutos estaban en estado de madurez para su consumo ( $^{\circ}$ Brix 10.51, pH 3.5 y acidez 0.02 g/100 ml) y un contenido de ácido ascórbico de (23.32 mg/100 g) en base húmeda, el método utilizado fue por el método 967.22, AOAC (10) de titulación con 2,6 Diclorofenol indofenol.

Oliveira *et al.* (2010), esta investigación afirma que: La metodología de la AOAC estándar para la determinación de la vitamina C en los jugos y preparaciones emplea el indicador de titulación con 2,6 Diclorofenol indofenol. Esta técnica presenta dificultades cuando se analizan muestras con una intensa coloración. Considerando la necesidad de una metodología más adecuada, adaptaciones del método tradicional se realizaron y su eficacia se verificó. Las pruebas comparativas se realizaron en la metodología estándar, la metodología modificada y el método de cromatografía. Seis jaleas de fruta diferentes fueron analizados y las modificaciones propuestas se consideraron satisfactorios, debido a que estos resultados fueron más cercanos a los resultados cromatográficos. El sistema demostró ser repetible (desviación estándar de 2.50 %) lineal, con alta recuperación (102.10 %) y una economía de se logró 92.88 % de los reactivos. Las concentraciones fueron de 0 a 6,8 mg de ácido ascórbico por 100 g de muestra. Esta investigación revela que el método oficial del AOAC (titulación volumétrica) es uno de los métodos más utilizados por su practicidad,



aunque presenta dificultades cuando se analizan muestras con una intensa coloración y presenta una alternativa interesante para resolver esta falencia, los resultados han sido probados exitosamente.

Carrasco y Encina (2008), esta investigación estudia al tomate de árbol y otros frutos andinos, los frutos de tomate procedentes de Junín, Perú. Estudian su importancia como una alternativa de consumo para obtener de ácido ascórbico para la salud humana, reportan 16,09 mg/100 g de contenido para tomate de árbol, se concluyó que el estado de madurez influye en forma directamente proporcional al contenido de compuestos como el ácido ascórbico.

García (2007), la importancia de este estudio reside en realizar la comparación entre dos métodos de cuantificación del ácido ascórbico: la técnica de cromatografía (HPLC) y el método oficial del AOAC (titulación volumétrica) para de esta manera encontrar el mejor método analítico de cuantificación de ácido ascórbico. La autora concluye que el mejor método es la técnica de cromatografía, pero, se puede obtener resultados similares y satisfactorios con el método volumétrico.

Montiel, Sgroppo y Avanza (2000), Los ensayos se efectuaron con el puré de pimientos en un rango temperaturas de 60 °C a 90 °C. Para ello, se colocó una batería de recipientes de vidrio tapado conteniendo 10 g de puré cada uno en un baño termostatzado. A tiempos prefijados, se retiraron los recipientes y enfriaron inmediatamente. Luego se procedió a medir el contenido de ácido ascórbico. La degradación de ácido ascórbico contenido en puré de pimientos verdes recién preparados responde a una ley de orden cero.

Castillo y Miranda (1995), el estudio de la cinética de pérdida de vitamina C en el jugo concentrado y congelado de vitamina C, conlleva a las siguientes conclusiones: el contenido de vitamina C en el jugo de maracuyá se encuentra entre 14 y 18 mg / 100 g. Las pérdidas de vitamina C durante el proceso de elaboración de jugo concentrado y congelado de maracuyá es de 29.4 y 24.5 en los procesos monitoreados A y B respectivamente. En las etapas anteriores a los tratamientos térmicos se observa porcentajes de pérdidas de vitamina C entre 9 - 20 %, esto se debe a que el proceso permite que otros factores que no sean temperatura influyan en la degradación de la vitamina C, así como también, las operaciones propias del proceso pueden producir pérdidas y diluciones de la vitamina C.

## **2.2 Cinética de las reacciones químicas**

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, 1973).

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 (Harvey, 2002). 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 (Levenspiel, 2004).

### **2.2.1 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. (Brown, 2004)

Según Brown, (2004), es 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.

### 2.2.1.1 Reacción de orden cero

En este tipo de reacciones, 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 (Labuza, 1984).

$$\begin{aligned}n &= 0 \\d[C] &= -kdt \\[C] &= [C]_0 - k \cdot T\end{aligned}\quad \text{Ecuación 1}$$

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.

### 2.2.1.2 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 (Labuza, 1984). La ecuación cinética de primero orden queda expresada de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}n &= 1 \\d[C] &= -k[C]dt \\ \ln[C] &= \ln[C]_0 - kT\end{aligned}\quad \text{Ecuación 2}$$

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

### 2.2.1.3 Reacción de segundo orden

Según Van boekel y Martinus, (2009) las reacciones de segundo orden ( $n = 2$ ), no son tan frecuente en los sistemas alimentarios, debido a la naturaleza bimolecular 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:

$$\begin{aligned} n &= 2 \\ \frac{d[C]}{dt} &= -k[C]^2 \\ \frac{1}{[C]} &= \frac{1}{[C]_0} + kT \end{aligned} \qquad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:  $n$  es orden de reacción,  $k$  es la constante de cinética,  $T$  es la temperatura,  $C$  y  $C_0$  es la concentración.

### 2.2.2 Ecuación de Arrhenius

La influencia de la temperatura sobre la constante de velocidad de reacción se puede describir utilizando la ecuación desarrollada por Svante Arrhenius. El modelo de Arrhenius que relaciona la velocidad de una reacción química a los cambios de temperatura es el mejor ejemplo de modelo aceptado con validez comparada experimentalmente. (Casp y Abril, 2003)

Se trata de un modelo lineal que expresa el efecto de la temperatura sobre la constante de velocidad ( $k$ ) de diferentes reacciones en muchos sistemas alimentarios, se representa de la siguiente manera:

$$K(T) = K_0 * e^{-\frac{E_a}{RT}} \qquad \text{Ecuación 4}$$

Donde  $K(T)$  es la constante cinética (dependiente de la temperatura)  $K_0$  es el factor pre-exponencial o factor de frecuencia, indica la frecuencia de las colisiones.  $E_a$  es la energía de activación expresada en K.J/mol.,  $R$  es la constante universal de los gases su valor es (1,987 K.J/mol) y  $T$  es la temperatura absoluta en kelvin (K). (Levenspiel, 2004)

### 2.2.2.1 Gráfico de Arrhenius

Según Casp y Abril (2003) para utilizar la ecuación de Arrhenius como modelo de regresión lineal entre las variables  $K$  y  $T^{-1}$ , la ecuación puede ser reescrita como:

$$\ln(K(T)) = \ln(K_0) - \frac{E_a}{R} * \left(\frac{1}{T}\right) \quad \text{Ecuación 5}$$

Un gráfico de Arrhenius muestra el logaritmo de las constantes cinéticas  $\ln(K(T))$  en el eje de las ordenadas en coordenadas cartesianas, graficado con respecto al inverso de la temperatura ( $1/T$ ), en el eje de las abscisas). Los gráficos de Arrhenius son ocasionalmente utilizados para analizar el efecto de la temperatura en las tasas de rapidez de las reacciones químicas. Para un único proceso térmicamente activado de velocidad limitada, un gráfico de Arrhenius da una línea recta, desde la cual pueden ser determinados tanto la energía de activación como el factor pre exponencial.

Cuando se grafica de la forma descrita anteriormente, el valor de la intersección en el eje Y corresponderá a  $\ln(A)$ , y la pendiente de la línea será igual a  $-E_a/R$ .

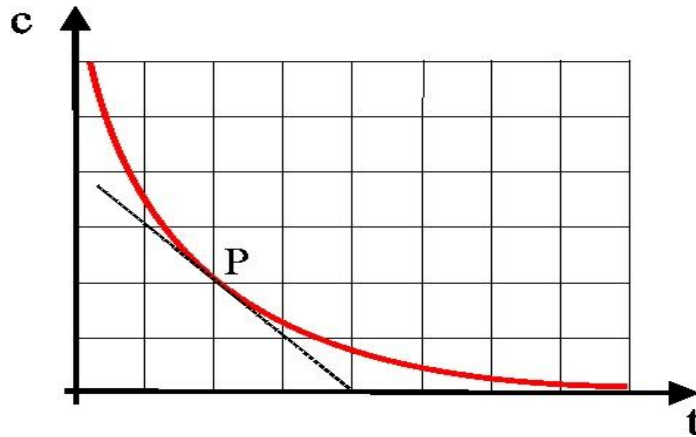
El factor pre exponencial,  $A$ , es una constante de proporcionalidad que toma en cuenta un número de factores tales como la frecuencia de colisión y la orientación entre las partículas reaccionantes.

La expresión  $e^{-\frac{E_a}{RT}}$  representa la fracción de las moléculas presentes en un gas que tienen energía igual o superior a la energía de activación a una temperatura dada.

### 2.2.3 Velocidad de reacción

Variación del valor de una propiedad por unidad de tiempo; la velocidad de una reacción es la variación de concentración por unidad de tiempo (Harvey, 2002). Lo que observamos experimentalmente al determinar la velocidad de una reacción es la variación de la concentración, de uno o más de los reactivos o de los productos de reacción en función del tiempo, la velocidad de una reacción es la derivada de la concentración de un reactivo o producto con respecto al tiempo tomada siempre como valor positivo.

Es decir, es el cociente de la variación de la concentración de algún reactivo o producto por unidad de tiempo cuando los intervalos de tiempo tienden a 0. (Harris, 1973) como se muestra en la figura 1.



Fuente: (Harris, 1973)

Figura 1. Concentración de reaccionantes frente al tiempo para una determinada reacción química.

### 2.2.3.1 Ley de velocidad

Harvey (2002) es una ecuación que relaciona la velocidad de una reacción en un tiempo dado con las concentraciones de las especies que influyen en la velocidad.

$$\text{Velocidad} = -\frac{d[A]}{dt} = k[A] \quad \text{Ecuación 6}$$

Constante de velocidad

En una ley de velocidad, la constante de proporcionalidad entre la velocidad de una reacción y las concentraciones de las especies que influyen en esa velocidad ( $k$ ) (Harvey, 2002).  $\ln[A]_t = \ln[A]_0 - kt$  ó  $\ln[A]_t = \ln[A]_0 - kt$  ó  $[A]_t = [A]_0 e^{-kt}$

### 2.2.4 Tiempo de vida media

Según Vidaurre (2014), el tiempo de vida media, es una manera de expresar el tiempo requerido para perder la mitad de la concentración de factores deseables  $[A]$  o ganar la mitad de la concentración de los factores indeseables  $[B]$ . El tiempo de vida media ( $t_{1/2}$ ), está dado por:

$$T_{(1/2)} = \frac{-\ln(1/2)}{K_1} \quad \text{Ecuación 7}$$

Resulta más sencillo visualizar la velocidad de una reacción cuando se expresa como el tiempo de vida media en lugar de una constante de velocidad sobre la base de los logaritmos naturales.

### 2.2.5 Modelo $Q_{10}$

Un modelo muy utilizado para predecir el tiempo de vida útil, considerando la temperatura, como el factor de abuso, para acelerar las reacciones en los alimentos es el llamado factor adimensional " $Q_{10}$ " el cual se define como: La variación de la velocidad de reacción cada 10 °C y se expresa de la siguiente manera ecuación 8 (Kilcast y Subramaniam, 2011).

Labuza, (1984), indica que una alternativa para expresar la dependencia de la temperatura que ha sido usada extensivamente por la industria alimentaria y la ciencia de los alimentos, y las literaturas de bioquímica es el concepto de  $Q_{10}$ . Que se definen como la relación de las constantes de velocidad de reacción a temperaturas que difieren por 10 °C. Equivalentemente se han definido a  $Q_{10}$  como el cambio de vida útil  $t_{1/2}$ , es decir, el tiempo para A (o B) en alcanzar los niveles inaceptables, cuando el alimento es almacenado a una temperatura más alta por 10 °C.

Singh (citado por Man y Jones 1997), define  $Q_{10}$  como sigue;

$$Q_{10} = \left[ \frac{k_2}{k_1} \right]^{\frac{10}{T_2 - T_1}} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde T es la temperatura (°C) y k es la constante de velocidad de reacción.

## 2.3 Vitaminas

Las vitaminas son nutrimentos que facilitan el metabolismo de otros nutrimentos y mantienen diversos procesos fisiológicos vitales para todas las células activas, tanto vegetales como animales. En los alimentos se encuentran en cantidades muy pequeñas, que van de unos cuantos microgramos hasta 200 mg por kilogramo, lo que representa desde 1/10.000 hasta 1/100.000.000 de la dieta. Sin embargo, si su presencia pasa desapercibida su ausencia, que se acompaña de cuadros clínicos graves y aparatosos, es sumamente notoria (Bourges, 1993). Los problemas ocasionados por su carencia son conocidos desde la época de las antiguas civilizaciones de Egipto, Grecia y Roma; de tal forma que en el papiro de Ebers, escrito hace 3500 años, se hace referencia a

enfermedades como el escorbuto, el raquitismo y la ceguera nocturna; actualmente se sabe que estos problemas de salud se relacionan con la falta de vitaminas (Badui, 2006, p.366).

Su concentración en los vegetales está en función de aspectos genéticos, prácticas culturales, radiación solar (influye en la vitamina C y la tiamina), disponibilidad de agua, época del año, fertilización, temperatura promedio (influye en los carotenos), topografía, cosecha, almacenamiento, madurez en el momento del consumo, forma de preparación en el hogar, etcétera; todos estos factores causan las discrepancias observadas en la literatura. Por su parte, el contenido de vitaminas en el huevo, la carne, la leche, etcétera, depende de la raza, de la dieta y de la salud del animal, entre otros factores; el suministro de suplementos con vitaminas liposolubles a los animales se refleja en el alimento producido, pero esto no sucede normalmente con las vitaminas hidrosolubles (Badui, 2006, p.366).

### **2.3.1 Vitaminas hidrosolubles**

A diferencia de las liposolubles, el hombre tiene una capacidad limitada para almacenar las vitaminas hidrosolubles, por lo que requiere un consumo continuo, a pesar de que algunas son sintetizadas por la flora intestinal y una fracción se absorbe. Al ingerir una cantidad excesiva, sólo se aprovecha una fracción y la otra se elimina en la orina, y esto se debe tener en cuenta cuando se administran mega dosis, como las preparaciones comerciales de soluciones inyectables de vitamina B12, que contienen varios miligramos, mientras que los requerimientos diarios son muy bajos; es decir, una sola ampolleta es suficiente para cubrir las necesidades de un individuo durante muchas semanas. Las vitaminas hidrosolubles están constituidas por el complejo B, que incluye tiamina (B1), riboflavina (B2), vitamina B6, vitamina B12, biotina, folatos, niacina y ácido pantoténico, y por la vitamina C. Excepto en el caso de esta última, la función biológica de las demás es conocida: actúan como coenzimas. En general, muchas de las B se encuentran juntas en los alimentos de origen vegetal. Por ser solubles en agua, la lixiviación es un mecanismo común de pérdida para todas ellas (Badui, 2006, p.376).



### **2.3.2 Vitamina C**

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; sólo los isómeros L de estos dos vitámeros 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 conforme a muchos factores relacionados con las prácticas agrícolas (genética, fertilizantes, insolación, riego, etcétera), con el manejo post cosecha y con la preparación para su consumo. En el caso de las papas, las heridas o cortes que sufren provoca un gran aumento de la actividad respiratoria y de la división celular, que van acompañadas de un incremento de la vitamina C. El frío inhibe su síntesis, mientras que las temperaturas cálidas y la oscuridad la favorecen (Badui, 2006, p.387).

### **2.3.3 Funciones del ácido ascórbico en los alimentos**

Además de su función como nutriente esencial, el Áa se utiliza ampliamente como un ingrediente aditivo alimentario debido a sus propiedades antioxidantes y reductoras. El Áa inhibe eficazmente el pardeamiento enzimático al reducir los productos ortoquinona. Otras funciones son las siguientes: (a) acción reductora en los acondicionadores de la masa panaria, (b) protección de ciertos compuestos oxidables (por ejemplo, folatos) mediante efectos reductores y secuestro de radicales libres y de oxígeno, (e) inhibición de la formación de nitrosaminas en carnes curadas y (d) reducción de los iones metálicos. La acción antioxidante del ácido ascórbico es multifuncional al inhibir la auto oxidación lipídica por varios mecanismos; Entre ellos: (a) secuestro del oxígeno singulete, (b) reducción de los radicales libres de oxígeno y de carbono con la formación de un radical menos reactivo, el sernidehidroascorbato o DHAA, (e) oxidación preferencial del ascorbato, con agotamiento concurrente de oxígeno y (d) regeneración de otros antioxidantes, como por reducción del radical tocoferol. El Áa es un compuesto muy polar y, por tanto, es insoluble en aceites. Sin embargo, el Áa es, sorprendentemente, un antioxidante eficaz cuando se dispersa en aceites y también en emulsiones. Las combinaciones de ácido

ascórbico y tocóferol son especialmente activas en sistemas oleosos, mientras que la combinación de  $\alpha$ -tocoferol con el palmitato de ascorbilo lipófilo es más efectiva en las emulsiones aceite en agua (Fennema y Tannenbaum, 1993 p.676).

### 2.3.4 Estructuras y propiedades generales del ácido ascórbico

El ácido L-ascórbico (Áa) es un compuesto afín a los carbohidratos con propiedades ácidas y reductoras debidas al resto 2,3 - enodiol; 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) figura 2. El DHAA exhibe aproximadamente la misma actividad que el Áa porque se reduce casi totalmente a Áa en el organismo. En la naturaleza está presente casi exclusivamente en la forma reducida de ácido L-ascórbico (es decir, Áa) (Fennema y Tannenbaum, 1993, p.668).

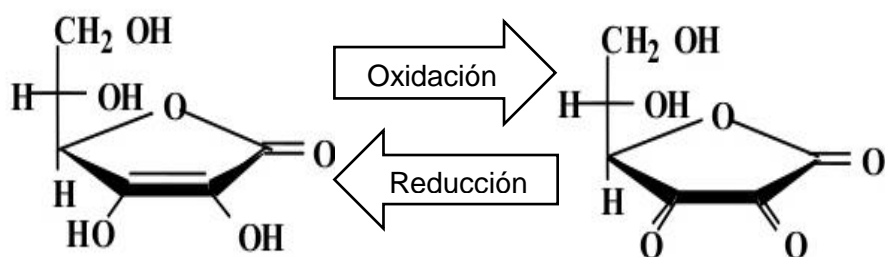


Figura 2. Estructuras de los ácidos L-ascórbico (vitamina C) y L-deshidroascórbico.

### 2.4 Métodos analíticos de determinación del ácido ascórbico

Existen muchos procedimientos para la determinación de Áa en los alimentos; la elección de un método analítico apropiado es esencial para obtener resultados precisos. El ácido ascórbico absorbe fuertemente la luz UV ( $\lambda_{\text{máx}}$  245 nm) pero hay que excluir el análisis espectrofotométrico directo debido a que en los alimentos existen otros muchos cromóforos. El DHAA absorbe débilmente  $\lambda_{\text{máx}}$  300 nm. Los procedimientos analíticos tradicionales incluyen una titulación redox de la muestra con un colorante, como el 2,6-diclorofenolindofenol, durante la cual, la oxidación del Áa va acompañada de la reducción del indicador redox a su forma incolora. Una limitación de este proceder es la interferencia de otros

agentes reductores y la falta de respuesta del DHAA. El análisis secuencial de la muestra antes y después de la saturación con gas H<sub>2</sub>S o el tratamiento con un reactivo tiol para reducir el DHAA ácido L-ascórbico permite la determinación del ácido ascórbico total de la muestra. La medida del DHAA por diferencia no tiene la precisión del análisis directo. Un procedimiento alternativo implica la condensación del DHAA (formado en la muestra mediante la oxidación controlada del ácido L - ascórbico) con diversos reactivos carbonilo. El tratamiento directo con fenilhidracina para formar un derivado detectable espectrofotométricamente, el ascorbil-bis-fenilhidracina, permite la medida simple de una disolución pura de L-AA. Muchos compuestos carbonilo de los alimentos interferirán con este proceder. Un método similar implica la reacción del DHAA con o-fenilendiamina que forma un producto de condensación tricíclico, muy fluorescente. Aunque éste es más específico y sensible que el método de la fenilhidracina, también está expuesto a la interferencia con ciertos dicarbonilos de los alimentos. Los alimentos que contienen ácido isoascórbico no pueden analizarse, para conocer su contenido en vitamina C, por el método de titulación redox o el de condensación con reactivos carbonilo porque estos métodos responden a este compuesto nutritivamente inactivo. Muchos métodos HPLC, muy sensibles, permiten la determinación precisa del total de ácido ascórbico (antes y después del tratamiento con agentes reductores) y con algunos de ellos se puede medir directamente el ácido L-ascórbico y el DHAA. La conjunción de una separación cromatográfica con la detección espectrofotométrica, fluorométrica o electroquímica hace que los análisis HPLC sean mucho más específicos que los tradicionales métodos de titulación redox. Se ha informado que los métodos HPLC permiten la determinación simultánea de los ácidos ascórbico e isoascórbico así como sus formas dehidro. Se ha descrito un método basado en cromatografía de gases de espectrometría de masas pero la intensa preparación de la muestra que requiere es una desventaja considerable de dicho procedimiento (Fennema y Tannenbaum, 1993, p.677).

## **2.5 Biodisponibilidad del ácido ascórbico de los alimentos**

Las principales fuentes de Áa de la dieta son las frutas, hortalizas, zumos y alimentos fortificados (por ejemplo, cereales de desayuno). Se ha observado en sujetos humanos que la biodisponibilidad del Áa del brécol, gajos de naranja y zumo de naranja es equivalente a la de las tabletas minerales de la vitamina. La

biodisponibilidad del Áa del brécol crudo es de un 20 % más baja que la del cocido, lo que puede deberse a una incompleta masticación y / o digestión. La diferencia relativamente escasa entre la biodisponibilidad del Áa del brócoli y de otras hortalizas crudas en relación con sus formas cocidas puede tener escaso significado nutricional. A la luz de revisiones de la bibliografía puede concluirse que el Áa de la mayoría de las frutas y hortalizas es altamente disponible para el hombre (Fennema y Tannenbaum, 1993, p.676).

## **2.6 Predicción de las vitaminas**

La predicción de la cuantía de las pérdidas de vitaminas requiere un conocimiento preciso de la cinética de degradación y la dependencia de la temperatura de la(s) forma(s) de vitamina(s) considerada(s) en el medio químico del (de los) alimentos de interés. Las diferentes formas químicas de las vitaminas reaccionan de manera distinta frente a las diversas composiciones de los alimentos y frente a las condiciones específicas del procesado. Se debe, en primer lugar, determinar si los estudios cinéticos del contenido total (es decir, suma de todas las formas) de la vitamina en cuestión proporcionan una información útil, o si se necesita una información más específica acerca de las diversas formas de la vitamina. Los estudios del procesado deben realizarse bajo idénticas condiciones a las que prevalecen durante el tratamiento térmico comercial o las de almacenamiento, debido a la sensibilidad de muchos nutrientes en diferentes medios químicos y físicos. Como se ha resumido anteriormente la cinética de la reacción debe obtenerse a diversas temperaturas para poder calcular la constante de velocidad y la energía de activación. Además, las condiciones experimentales deben elegirse de tal manera que proporcionen una pérdida suficiente de la vitamina que se está estudiando para que la constante de velocidad pueda determinarse con una precisión adecuada. Pueden realizarse estudios de almacenamiento acelerado, siempre que los mecanismos y cinéticas a elevadas temperaturas sean consistentes con los que ocurren en las condiciones reales de almacenamiento. Debido a que la temperatura fluctúa durante el almacenamiento y transporte de los alimentos, los modelos de estabilidad de vitaminas deben incluir tal fluctuación de la temperatura (Fennema y Tannenbaum, 1993, p.671).

## **2.7 Optimización de la retención de vitaminas**

La pérdida, en grado variable, del valor nutritivo de los alimentos durante la manipulación postrecolección o postsacrificio, cocción, procesado y almacenamiento de los mismos son siempre inevitables. Dichas pérdidas se producen en las industrias alimentarias, en los establecimientos de servicio de alimentos y en el hogar. La optimización de la retención de nutrientes es responsabilidad de los fabricantes de alimentos y es una operación de mutuo interés para la industria y los consumidores del mismo modo, la minimización de pérdidas de nutrientes en el hogar y en los servicios institucionales y de venta al detalle es una oportunidad que no debe desecharse (Fennema y Tannenbaum, 1993, p.670).

Muchos de los procedimientos de optimización de la retención de vitaminas se basan en las propiedades físicas y químicas del nutriente en particular implicado. Por ejemplo, el uso de acidulantes, si es compatible con el producto, debería potenciar la estabilidad de la tiamina y el ácido ascórbico, pero, sin embargo, la reducción del pH debería disminuir la estabilidad de ciertos folatos. Este ejemplo ilustra la complejidad de este procedimiento. La cocción y el procesado térmico comercial bajo condiciones que minimicen la exposición al oxígeno y el uso de líquidos sobrantes reducen la oxidación de muchas vitaminas y la extracción por lixiviación de vitaminas y minerales. Las condiciones de altas temperaturas y tiempos cortos (HTST) causarán, en muchas ocasiones, una degradación menor de las vitaminas que los tratamientos térmicos convencionales de igual severidad térmica (basada en la destrucción de microorganismos). Además, ciertas combinaciones de ingredientes pueden aumentar la retención de diversos nutrientes (por ejemplo, la presencia de antioxidantes naturales favorecerán la retención de muchas vitaminas). (Fennema y Tannenbaum, 1993, p.725)

## **2.8 Tratamientos térmicos**

Los tratamientos térmicos son los procedimientos que tienen entre sus fines la destrucción de los microorganismos por el calor. Entre estos se tiene la pasteurización y la esterilización cuya finalidad principal es precisamente esta destrucción microbiana. Además se tiene el escaldado y la cocción, procesos en los que también se consigue una cierta reducción de la flora microbiana presente, pero que tienen otros objetivos principales. Esto es así, porque un

tratamiento térmico, junto a su capacidad de destrucción microbiana, tiene también una acción sobre los demás componentes del alimento: enzimas, proteínas, vitaminas, etc. que llega a afectar a sus propiedades físicas: color, forma y consistencia (Casp y Abril, 2003).

Dada la complejidad de la acción de los tratamientos térmicos sobre los alimentos, es necesaria su optimización de forma que se obtengan en cada caso los resultados buscados. Aunque el principal objetivo sea la destrucción de los microorganismos, no hay que olvidar que a la vez ocurrirán otros procesos, unos deseables (destrucción enzimática, ablandamiento de los tejidos, mejora de la digestibilidad, etc.), que pese a ello se deberán controlar para que no se produzcan efectos excesivos, y otros menos deseables, pero inevitables en algún grado (destrucción de nutrientes, pérdida de cualidades organolépticas: color, aroma, etc.). Un tratamiento térmico debe ajustarse de forma que se consigan los resultados deseables y se minimicen los indeseables (Carrera, 2013).

## **2.9 Efecto de la temperatura en la degradación del ácido ascórbico**

El procesamiento térmico de 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, y Avanza, 2002). 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 frutas y verduras (Santos y Silva, 2008).

## **2.10 Tomate de árbol**

### **2.10.1 Nombres comunes y nombre científico**

El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav., Solanaceae), conocido internacionalmente como tamarillo, (nombre en Ingles), sin embargo, es conocido también por nombres como: tomate de árbol, tomatillo, sacha tomate, tomate andino, tomate serrano, tomate de yuca o chilito. (Acosta, 2011)

### 2.10.2 Variedades del tomate de árbol

Las plantas de tomate de árbol son muy homogéneas en sus caracteres morfológicos, excepto por la variación de algunos caracteres del fruto como son su tamaño, color y forma. (Bohs, 1995)

- ❖ **Amarillo:** Piel de color amarillo intenso con franjas verticales poco notorias de color marrón-verdoso; pulpa de color amarillo-anaranjado. La forma es ovalada, tiene un peso aproximado de 50 a 70 g y su sabor es menos ácido que el de los frutos rojos y morados, por lo que son considerados los mejores para la elaboración de conservas.(Bohs, 1995)

### 2.10.3 Características nutricionales del fruto y su aprovechamiento alimenticio

Los frutos de tomate de árbol son bayas; su piel es de textura áspera con un sabor desagradable, su pulpa es succulenta y ligeramente ácida, y el mucílago que rodea a la semilla es jugoso y de sabor agridulce. Tienen un sabor parecido al del tomate (*S. lycopersicum*), aunque son más ácidos, menos jugosos y de sabor muy perdurable en el paladar; además, las formas de consumirlo también pueden ser muy parecidas (Bohs, 1995). Debido al sabor agradable del tomate de árbol y a sus características físicoquímicas los frutos maduros son aprovechados en diversas formas, utilizándose principalmente en forma cruda como fruta fresca, en zumos, batidos con leche, sándwiches, ensaladas (de frutas y de verduras), etc.; para su uso directo se suele eliminar el exocarpo y la parte interna del mesocarpo debido a que estas partes del fruto son de sabor amargo. Se utilizan además en la elaboración de tortas, helados, gelatinas, mermeladas, cócteles y zumos envasados. (Prohens y Nuez, 2000)

Tabla 1. *Composición química de los frutos de tomate de árbol según valores recopilados de varios autores. Valores determinados en 100 g de muestra.*

Características	Unidad de medida	Rango
Sólidos solubles	°Brix	9.4 – 13.5
pH		3,2 – 3,85
Acidez total (expresada en ácido málico)	G	1,0 – 2,4
Humedad	G	81,0 – 89,0
Proteínas	G	1,5 – 2,5
Grasa	G	0,05 – 1,28
Glucosa	G	0,45 – 1,22
Fructuosa	G	0,61 – 1,5
Sacarosa	G	0,3 – 2,97
Fibra	G	1,4 – 6,0
Ácido cítrico	G	1,27 – 1,8
Ácido málico	G	0,05 – 0,15
Ácido quínico	G	0,4 – 0,8
Ceniza	G	0,05 – 1,5
Vitamina A	I.U.	540 – 2475
Vitamina B	Mg	0,20 – 0,58
Vitamina C (ácido ascórbico)	Mg	19,7 – 57,8
Vitamina E	Mg	1,8 – 3,5
Sodio	Mg	0,6 – 8,9
Potasio	Mg	290 – 495
Calcio	Mg	3,9 – 14,5
Magnesio	Mg	19,7 – 24,0
Hierro	Mg	0,32 – 0,94
Cobre	Mg	0,05 – 0,2
Zinc	Mg	0,1 – 0,2
magnesio	Mg	19,7 – 24,0
Fósforo	Mg	32,0 – 40,2

*Fuente: (Boyes, 1997; Pileri, 1989; Romero, Vázquez y Lopéz, 1994; Vasco et al., 2009)*



#### **2.10.4 Fitoquímica del tomate de árbol**

La composición nutricional de los frutos de esta especie es de importancia debido a que contienen diversos componentes que contribuyen significativamente en la dieta humana; los niveles principalmente de provitamina C y vitaminas A, B6 y E encontrados en la parte comestible del tomate de árbol indican que el consumo de un fruto podría aportar más del 5 % de la ingesta diaria recomendada de estos nutrientes; asimismo, el consumo diario de uno o dos frutos podría suplir más del 5 % de otros elementos nutricionales como hierro, magnesio y potasio (Vasco *et al.*, 2009).

Se ha determinado que contienen compuestos fenólicos, especialmente flavonoides, como las antocianinas, flavonas y flavonoles (Ordoñez *et al.*, 2010; entre otros) En este sentido, los productos y subproductos de los frutos del tomate de árbol (considerando la pulpa, el zumo, la piel y la semilla) podrían generar un importante valor agregado destacando un potencial interés nutricional, medicinal, industrial y económico (Ordoñez *et al.*, 2010).

Por otra parte, en otro estudio (Ordoñez *et al.*, (2013) relacionado con la evaluación del potencial antioxidante de la fruta de esta especie con diferentes alternativas de preparación (con y sin tratamientos térmicos: cocción, maceración, zumo y pulpa de fruta fresca) se han identificado diversas propiedades relacionadas principalmente con la obtención de alimentos funcionales, determinando además que los componentes responsables de la actividad antioxidante (antocianinas, flavonas y flavonoles) son termoestables, por lo que pueden ser usados en la elaboración de mermeladas y jaleas.

#### **2.10.5 Cultivo de tomate de árbol en Perú**

El tomate de árbol se conoce únicamente en estado cultivado; se considera que la especie es nativa de los Andes subtropicales y su domesticación y cultivo son anteriores al descubrimiento de América (Bohs, 1995), es originario de los andes peruanos así lo confirman los yacimientos arqueológicos en los que se encontraron representaciones de la planta sobre piezas de cerámica del Perú referidas por (Towle, 1961).

En el año 2006 el gobierno regional de la Libertad junto con la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente publicó un artículo titulado "TOMATE de ÁRBOL" a fin de promover su producción y

aprovechamiento. En Perú se encuentra desde el nivel del mar hasta los 3,000 m. de altura, principalmente en los valles interandinos de las provincias de la sierra y ceja de selva.

## CAPÍTULO 3

### MATERIALES Y METODOLOGÍA

#### 3.1 Lugar de ejecución

##### Localidad

La investigación se realizó en el barrio de Santa Rosa del Distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, Región Apurímac.

##### Institución

Las pruebas experimentales se realizaron en la Universidad Nacional José María Arguedas, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial en el laboratorio de Química, ubicado en la unidad vecinal Santa Rosa del Distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, Región Apurímac.

#### 3.2 Material de estudio

Para la investigación se tuvo como material de estudio, muestras de tomate de árbol (*Solanum betaceum*). Los tomates fueron cosechados entre los meses de julio y agosto del año 2016, meses en los cuales la cosecha de estos frutos persiste.

##### 3.2.1 Universo y/o población

El universo o población fueron los frutos de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) del distrito de San Jerónimo y Andahuaylas región de Apurímac.

##### 3.2.2 Unidad de análisis

Los frutos de tomate de árbol (*Solanum betaceum*), fueron adquiridos de dos huertos familiares de la distrito de San Jerónimo, en las inmediaciones cercanas a la plaza de armas,

##### 3.2.3 Muestra

La muestra fue los 5 kg de tomate de árbol cosechados de 2 huertos familiares del distrito de San Jerónimo en las inmediaciones cercanas a la plaza de armas, en estado de madurez óptima para el consumo (Anexo 1), con las siguientes características físicas: enteros, sanos y exentos de cualquier materia extraña visible, exento de plagas que afecte el aspecto general del producto, exentos de cualquier olor o sabor extraños, ser de consistencia firme, tener un aspecto fresco, tener una piel brillante.

### **3.3 Equipos, materiales, instrumentos y reactivos e insumos de laboratorio**

#### **3.3.1 Equipos**

- ❖ Baño maría de aluminio con temperatura regulable de 1 °C a 180 °C
- ❖ Balanza digital de precisión Capacidad de 100 g. Sensibilidad 0.001 g
- ❖ Balanza electrónica digital Capacidad máxima de 30 kg., y mínima de 200 g.
- ❖ Refrigeradora

#### **3.3.2 Materiales de laboratorio**

- ❖ Soporte universal metálico
- ❖ Recipientes de plástico
- ❖ Jarra con medida de 1 l y ½ l
- ❖ Cuchillo con mango de madera
- ❖ Tamices de tela
- ❖ Espátula de acero inoxidable con mango de madera
- ❖ Mortero con pilón
- ❖ Pizeta de plástico transparente
- ❖ Pinza metálica
- ❖ Rotulador negro
- ❖ Cinta masking
- ❖ Cubetera de hielo cuadrada de tecknopor de 0.35x0.35 mt
- ❖ Termómetro digital Desde -50 °C hasta +200 °C
- ❖ Bureta de 25 ml transparente
- ❖ Varilla de vidrio
- ❖ Probeta de 100 ml
- ❖ Vaso precipitado de 100 ml
- ❖ Vaso precipitado de 500 ml
- ❖ Pipeta volumétrica de 10 ml
- ❖ Pipeta volumétrica de 5 ml
- ❖ Propipeta
- ❖ Matríz de 250 ml
- ❖ Matríz de 100 ml
- ❖ Embudos de vidrio
- ❖ Frasco de color Ámbar de 350 ml

### 3.3.3 Reactivos e insumos

- ❖ 2,6-Diclorofenolindofenol (DCIP), sal sódica dihidrato p.a. para determinar ácido ascórbico; forma: polvo, color: verde oscuro, olor: inodoro; no hay información disponible sobre otras propiedades físicas y químicas. Básicamente su uso no implica alto riesgo.
- ❖ Ácido ascórbico; cristal incoloro, inodoro, sólido, soluble en agua, con un sabor ácido. Es un ácido orgánico, con propiedades antioxidantes, que será utilizado como patrón de medida.
- ❖ Bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ); compuesto sólido cristalino de color blanco soluble en agua, con un ligero sabor alcalino parecido al del carbonato de sodio.
- ❖ Ácido oxálico ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ); de sabor amargo, sólido, cristalino e incoloro, parcialmente soluble en agua, etanol y otros disolventes, será utilizado como ácido extractor.
- ❖ Agua destilada aproximadamente a pH: 7; mediante el proceso de destilación se le han eliminado las impurezas e iones.

### 3.3.4 Material vegetal

- ❖ El tomate de árbol es una baya carnosa, elipsoide, y contiene una gran cantidad de semillas de forma aplanada, rodeadas de una sustancia mucilaginoso, color anaranjado, tamaño de 7 - 10 cm aproximadamente. De la variedad amarilla, provenientes del distrito de San Jerónimo y del mercado modelo de Andahuaylas, provincia de Andahuaylas - Apurímac.

## 3.4 Metodología

### 3.4.1 Método para cuantificar la concentración total de Ácido ascórbico en la pulpa de tomate de árbol

#### 3.4.1.1 Preparación de soluciones

##### Ácido oxálico al 0.5 %

La solución de Ácido oxálico al 0.5 %, se preparó pesando exactamente (balanza analítica) 0.5 g del ácido por cada 100 ml de agua destilada.

##### Estándar de ácido ascórbico

El estándar de ácido ascórbico se preparó pesando correctamente 50 mg (balanza analítica) de ácido ascórbico de referencia el cual fue puesto en una

fiola de 50 ml, con ayuda de una pipeta volumétrica se agregó 10 ml de la solución de ácido oxálico al 0.5 % y se agito hasta su completa disolución, una vez disuelto se aforó hasta un volumen final de 50 ml. El frasco fue rotulado para evitar confusiones. (Debe ser preparado justo antes de su utilización)

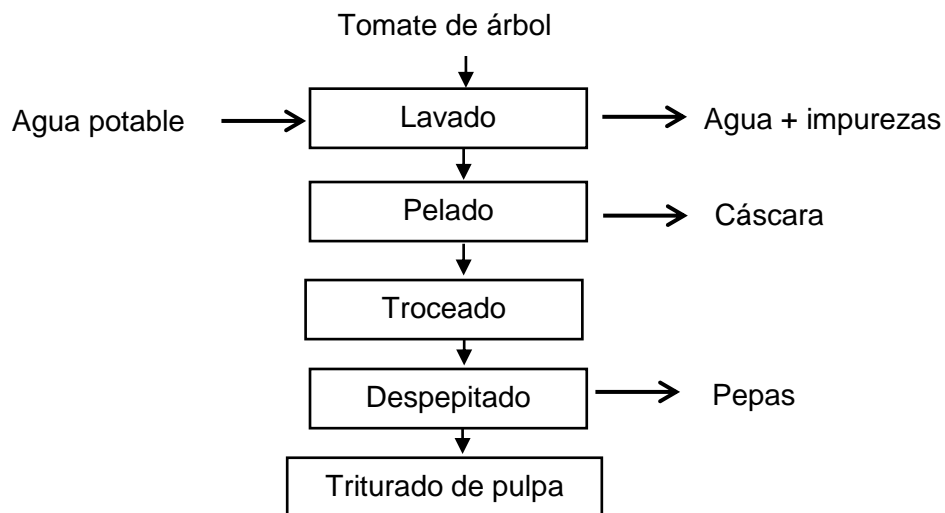
### **2,6 Diclorofenol indofenol (0.25 mg / ml)**

La solución de dicloroindofenol se preparó añadiendo 42 mg de bicarbonato de sodio a 50 ml de agua destilada, en un vaso de precipitado de 150 ml, agitando vigorosamente hasta disolver con una varilla de vidrio a continuación se adicionó 50 mg de la sal sódica del 2,6 Diclorofenol indofenol ambos reactivos fueron agitados hasta ser disueltos, dicha mezcla fue diluida hasta 200ml con agua destilada, una vez diluida fue filtrada con un tamiz de tela a un envase color ámbar y guardada en refrigeración hasta su uso posterior para determinar la concentración de Áa.

#### **3.4.1.2 Procedimiento para la preparación de las muestras para cuantificar el Áa en fruto fresco.**

##### **Acondicionamiento de muestra**

- ❖ Lavado: Se lavaron con agua de grifo a temperatura de ambiente con el fin de quitar el polvo u otras impurezas.
- ❖ Pelado: Las muestras seleccionadas fueron peladas con un cuchillo de acero inoxidable.
- ❖ Troceado: Después del pelado se procedió al troceado en cuatro partes iguales con mucho cuidado, evitando maltratar o suavizar la pulpa.
- ❖ Despepitado: El despepitado se realizó con la ayuda de una cuchara pequeña de plástico, siempre cuidando de no dañar la apariencia física de la pulpa.
- ❖ Triturado de pulpa: Se pesó 2 g de cada muestra y se procedió a triturar con un pilón en un mortero pequeño.



Fuente: (García, 2007)

Figura 3. *Esquema de acondicionamiento de muestra*

### **Proceso de extracción del ácido ascórbico con solución de ácido oxálico al 0.5 %**

Los métodos de ensayo para determinar los componentes que se detalla a continuación, se describen en el Anexo 2. Así también otros alcances que repercuten en importancia para esta investigación a fin de no dejar dudas e incompatibilidades.

#### **Preparación del extracto**

- ❖ Se pesó 2 g de pulpa de tomate de árbol.
- ❖ Se colocó las muestras pesadas en un mortero junto con 5 ml de la solución de ácido oxálico.
- ❖ Se mezcló hasta obtener una pasta homogénea de pulpa de tomate de árbol y el ácido oxálico (extractor).
- ❖ Se trasladó íntegramente a un matraz aforado de 25 ml y se llevó a aforo con el ácido extractor.
- ❖ Se agitó el matraz con la muestra dentro al menos por 1 minuto.
- ❖ Todo el extracto se filtró a través de un tamiz y se enjuagó con 5 ml de ácido extractor.
- ❖ A partir de este extracto se realizó la cuantificación del ácido ascórbico con dos repeticiones, por el metodología descrita por (AOAC, 1990)

## **Determinación de ácido ascórbico por titulación con 2,6 Diclorofenol indofenol**

Se empleó la metodología descrita por Método 967,21 (AOAC, 1990). En este método, el ácido ascórbico reduce DCFI una solución incolora en el punto final de la valoración, el exceso no reducido de la solución ácida da el indicador de un color rosado, lo que facilita la visualización del punto final para el ojo desnudo. En una bureta de 25 ml se coloca la solución de 2,6 Diclorofenol indofenol y se titula la solución hasta que se tenga un color rosa que se mantiene por más de 5 segundos.

### **Cuantificación del valor referencial**

- ❖ Para obtener un valor de referencia del volumen gastado de solución de 2,6 Diclorofenol indofenol por 1 mg de ácido ascórbico se transfirió 1 ml de la solución estándar de ácido ascórbico a un matraz Erlenmeyer de 125 ml que contenía 9mL de ácido oxálico al 0.5 %.
- ❖ En una bureta de 25 ml se colocó la solución de 2,6 Diclorofenol indofenol y se tituló la solución hasta un color rosa que se mantuvo por más de 5 segundos.
- ❖ Todos estos procedimientos se realizaron por triplicado; enfatizando igualdad de condiciones para todos los casos.
- ❖ Se realizaron los cálculos correspondientes a partir del volumen gastado.

### **La cuantificación del blanco**

- ❖ Para esto, en un matraz Erlenmeyer de 125 ml se colocan 10 ml de ácido extractor al 0.5 %.
- ❖ Se realizó la valoración titulando de la misma manera. Y posteriormente también se utilizó el resultado como un valor referencial.

### **Cálculos**

$$X = \frac{\text{ml gastados x muestra} * 1 \text{ mg de Aa}}{\text{ml gastado x estandar}} \quad \text{Ecuación 9}$$

Dónde:

$X$  = Contenido de Ácido Ascórbico (mg);  $Aa$ = Ácido ascórbico



$$\text{Ácido ascórbico (mg/100g)} = \frac{X * V_a * 100}{\text{Peso de muestra (g)}} \quad \text{Ecuación 10}$$

Dónde:  $V_a$  = volumen del aforo del extracto (ml)

### **3.4.2 Método para cuantificar la concentración del Ácido ascórbico al final del proceso de cada tratamiento térmico (escaldado) en la pulpa de tomate de árbol**

#### **3.4.2.1 Preparación de soluciones**

- ❖ Ácido oxálico al 0.5 %
- ❖ Estándar de ácido ascórbico
- ❖ 2,6 Diclorofenol indofenol (0.25 mg / ml)

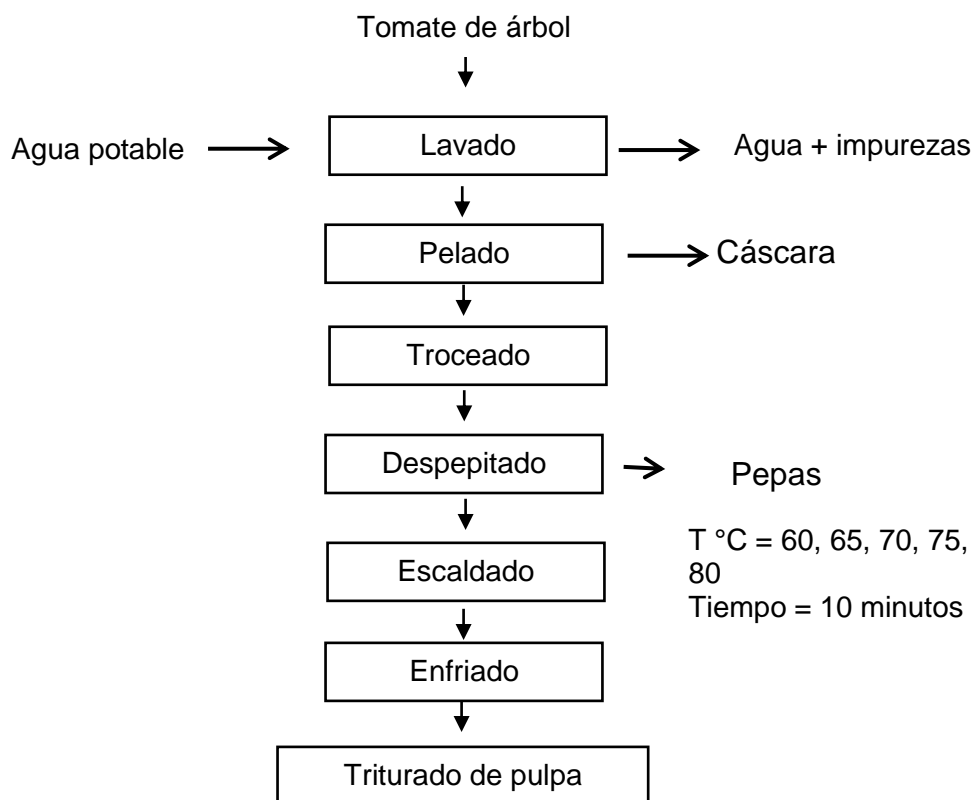
#### **3.4.2.2 Procedimiento para la preparación de las muestras después del tratamiento térmico**

##### **Acondicionamiento de muestra**

- ❖ El acondicionamiento, de muestra se realizó de acuerdo al ítem 3.4.1, para continuar con el escaldado.
- ❖ Escaldado: El escaldado se realizó en un equipo de baño maría; esto para controlar la temperatura durante el tiempo de escaldado.
- ❖ Escaldado a 60 °C. Se calibró el equipo de baño maría a la temperatura de 62 °C, dos grados superior al indicado, esto considerando que las muestras se encuentran a una temperatura de ambiente (aproximadamente de 12 – 16 °C, temperatura a las 11.00 a.m. – 3.00 p.m.) una vez calibrada la temperatura se procedió a introducir los trozos de tomate de árbol, se dejó pasar 10 minutos para que la temperatura se estabilizara y se procedió a medir el tiempo con un cronometro. Las muestras fueron sacadas y enfriadas cada 2 minutos periódicamente; se obtuvo en total 5 muestras escaldadas a la temperatura de 60 °C (2 min, 4 min, 6 min, 8 min y 10 min).

Escaldado a 65 °C. Se realizó el mismo procedimiento que el anterior salvo que el equipo de baño maría fue calibrado a 67 °C; Escaldado a 70 °C. Se realizó el mismo procedimiento que el anterior salvo que el equipo de baño maría fue calibrado a 72 °C; Escaldado a 75 °C. Se realizó el mismo procedimiento que el anterior salvo que el equipo de baño maría fue calibrado a 77 °C; Escaldado a 80 °C. Se realizó el mismo procedimiento que el anterior salvo que el equipo de baño maría fue calibrado a 82 °C.

- ❖ Enfriado: Después de la operación (escaldado), las muestras fueron enfriadas inmediatamente en una cubeta en agua fría con cubos de hielo esto, para evitar pérdida innecesaria de Áa.
- ❖ Triturado de pulpa: Se pesó 2 g de cada muestra y se procedió a triturar con un pilón en un mortero pequeño.



Fuente: (García, 2007)

Figura 4. Esquema de acondicionamiento de muestra

### 3.4.2.3 Proceso de extracción del ácido ascórbico con solución de ácido oxálico al 0.5 %

Los métodos de ensayo para determinar los componentes que se detalla a continuación, se describen en el Anexo 2. Así también otros alcances que repercuten en importancia para la investigación a fin de no dejar dudas e incompatibilidades.

#### Preparación del extracto para la extracción del ácido ascórbico

- ❖ Se pesó 2 g de pulpa de tomate de árbol.

- ❖ Se colocó las muestras pesadas en un mortero junto con 5 ml de la solución de ácido oxálico.
- ❖ Se mezcló hasta obtener una pasta homogénea de pulpa de tomate de árbol y el ácido oxálico (extractor).
- ❖ Se trasladó íntegramente a un matraz aforado de 25 ml y se llevó a aforo con el ácido extractor.
- ❖ Se agitó el matraz con la muestra dentro al menos por 1 minuto.
- ❖ Todo el extracto se filtró a través de un tamiz y se enjuagó con 5 ml de ácido extractor.
- ❖ A partir de este extracto se realizaron las mediciones del ácido ascórbico por el metodología descrita por (AOAC, 1990)
- ❖ Cada tratamiento térmico se realizó por triplicado tratando siempre brindar las mismas condiciones a todas las muestras.

#### **Determinación de ácido ascórbico por titulación con 2,6 Diclorofenol indofenol**

Se empleó el método 967,21 (AOAC, 1990).

#### **Cuantificación del valor referencial**

Para obtener un valor de referencia del volumen gastado de solución de 2,6 Diclorofenol indofenol por 1 mg de ácido ascórbico se transfirió 1 ml de la solución estándar de ácido ascórbico a un matraz erlenmeyer de 125 ml que contenía 9 ml de ácido oxálico al 0.5 %. Se tituló de la misma manera.

Se realizaron los cálculos correspondientes a partir del volumen gastado.

#### **La cuantificación del blanco**

- ❖ Para esto, en un matraz erlenmeyer de 125 ml se colocó 10 ml de ácido extractor al 0.5 %.
- ❖ Se realizó la valoración titulando de la misma manera. Y posteriormente también se utilizó el resultado como un valor referencial.

#### **Cálculos**

Los cálculos fueron realizados con las ecuaciones 9 y 10.

### 3.4.3 Método para evaluar la cinética de degradación del Ácido ascórbico durante el proceso del tratamiento térmico (escaldado)

#### Orden de reacción del ácido ascórbico y la constante de velocidad

El orden de reacción se determinó mediante un análisis de regresión lineal simple, para el modelo de orden cero (0) se realizó un gráfico que muestra las concentraciones de ácido ascórbico (C de Áa mg/100 g) en el eje de ordenadas (coordenadas cartesianas) graficado con respecto al tiempo (T minutos) en el eje de las abscisas (ecuación 1); para el modelo de orden uno (1) se realizó un gráfico que muestra el logaritmo neperiano de la concentración de ácido ascórbico ( $\ln$  (Concentración Áa mg/100 g)) en el eje de ordenadas graficado con respecto al tiempo (T minutos) en el eje de las abscisas (ecuación 2); para el modelo de orden uno (2) se realizó un gráfico que muestra el inverso de la concentración de ácido ascórbico ( $1/$  (Concentración Áa mg/100 g)) en el eje de ordenadas graficado con respecto al tiempo (T minutos) en el eje de las abscisas. En la siguiente tabla se muestran las ecuaciones utilizadas.

Tabla 2. Modelos matemáticos para cinética de degradación

Ecuación de orden 0	Ecuación de orden 1	Ecuación de orden 2
n = 0	n = 1	n = 2
$[C] = [C]_0 - k \cdot t$	$d[C] = -k[C]dt$	$\frac{d[C]}{dt} = -k[C]^2$
$[C] = [C]_0 - k \cdot t$	$\ln[C] = \ln[C]_0 - kt$	$\frac{1}{[C]} = \frac{1}{[C]_0} + kt$

Los valores de las constantes de degradación se establecieron determinando la pendiente de degradación de ácido ascórbico a las diferentes temperaturas de tratamiento térmico.

#### Modelo de Arrhenius

Para evaluar la cinética de degradación por efecto de la temperatura, se utilizó la ecuación de Arrhenius, que es una expresión matemática que se utiliza para comprobar la dependencia de la constante de velocidad (o cinética) de una reacción química con respecto a la temperatura a la que se lleva a cabo esa reacción. Un gráfico de Arrhenius muestra el logaritmo neperiano de las

constantes cinéticas (ln (k)) en el eje de las ordenadas en coordenadas cartesianas graficado con respecto al inverso de la temperatura en temperatura kelvin (1/T en el eje de las abscisas).

### 3.4.4 Método para determinar la influencia de la temperatura en la velocidad de degradación del ácido ascórbico

#### Determinación de la energía de activación

Para determinar el efecto de la temperatura en el proceso de escaldado de los frutos de tomate de árbol será necesario calcular el valor de la energía de activación (Ea). Para determinar la Energía de Activación se realizó un Análisis de regresión lineal simple a partir de los Logaritmo neperiano de las constantes determinadas versus la inversa de las temperaturas convertidas en Kelvin, se determinó la pendiente lo cual representa la Energía de Activación. Para utilizar la ecuación de Arrhenius como modelo de regresión lineal la ecuación fue reescrita de la siguiente manera:

Tabla 3. Fórmulas para determinar la energía de activación

Ecuación	Nombre
$K(T) = K_0 * e^{-\frac{E_a}{RT}}$	Ecuación de Arrhenius
$\ln(K(T)) = \ln(K_0) - \frac{E_a}{R} * \left(\frac{1}{T}\right)$	Ecuación linealizada de Arrhenius
$v = n + m * x$	Ecuación de una recta
$m = -\frac{E_a}{R}$	Igualdad entre la Ec. Linealizada y la ecuación de la recta

m= pendiente de la ecuación linealizada, Ea= Energía de activación (J·mol<sup>-1</sup>)  
<sup>1</sup>) R= constante universal de los gases (8,3143 J·K<sup>-1</sup>·mol<sup>-1</sup>).

#### Determinación del tiempo de vida media (T<sub>1/2</sub>)

Para determinar el tiempo de vida media, es decir el tiempo en el que la concentración de ácido ascórbico se degrada en un 50 % en pulpa de tomate de

árbol durante el proceso de tratamiento térmico (escaldado), a partir de la ecuación 7.

$$T_{(1/2)} = \frac{-\ln(1/2)}{K_1} \quad \text{Ecuación 07}$$

### Determinación del factor Q10

Se determinó el Factor  $Q_{10}$  utilizando la ecuación (Ecuación 8) que se muestra. Este nos indicó el cambio de la constante de velocidad de degradación del ácido ascórbico en pulpa de tomate de árbol a cada 10°C.

$$Q_{10} = \left[ \frac{k_2}{k_1} \right]^{\frac{10}{T_2 - T_1}} \quad \text{Ecuación 08}$$

Donde T es la temperatura (°C) y k es la constante de velocidad de reacción.

### 3.4.5 Métodos estadísticos

#### 3.4.5.1 Diseño completamente al azar (DCA)

Se analizó la variable de salida con un diseño completamente al azar DCA. Se tuvo como variable de entrada o independiente la temperatura, en cinco niveles 60 °C, 65 °C, 70 °C, 75 °C, y 80 °C, como variable de salida o dependiente: la concentración de ácido ascórbico.

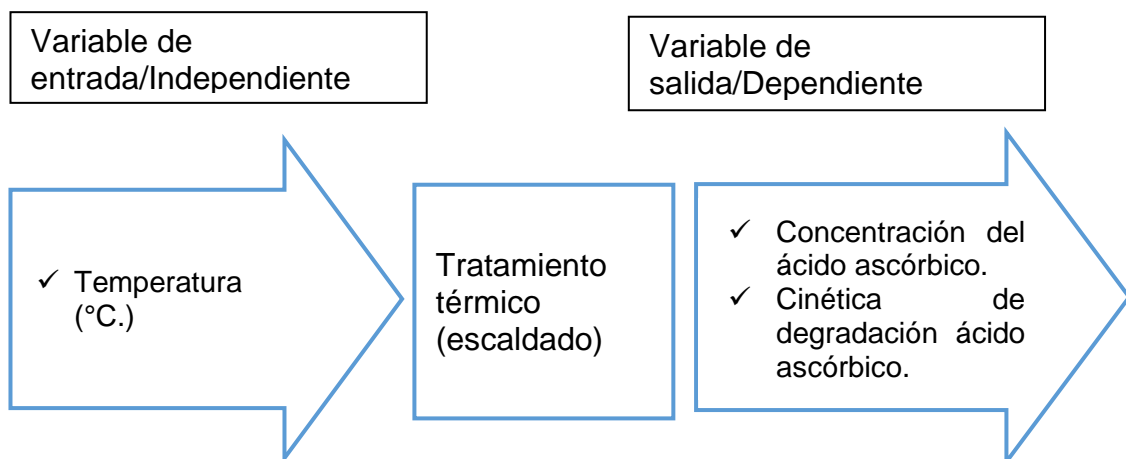


Figura 5. Variables de entrada y salida

#### a) ANOVA para diseño completamente al azar

Se aplicó ANOVA de un solo factor (temperatura de escaldado) (Gutiérrez, 2010). Para determinar el efecto de la temperatura en la

concentración de ácido ascórbico en pulpa de tomate de árbol (***Solanum betaceum***).

El objetivo del Análisis de varianza en DCA es probar la hipótesis de igualdad de los tratamientos con respecto a la media de la correspondiente variable de respuesta.

La media de los resultados de la población son iguales en todos los casos.

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_k = \mu \dots \quad \text{Ecuación 11}$$

La media de los resultados de la población son diferentes en al menos un caso.

$$H_A \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j \quad \text{Ecuación 12}$$

### **Hipótesis experimental**

H<sub>0</sub>: La temperatura no tiene efecto en la concentración de ácido ascórbico en pulpa de tomate de árbol, para un nivel de significancia del 5%.

H<sub>A</sub>: La temperatura tiene efecto en la concentración de ácido ascórbico en pulpa de tomate de árbol, para un nivel de significancia del 5%.

#### **3.4.5.2 Método de mínimos cuadrados**

El método más efectivo para determinar los parámetros a y b se conoce como técnica de mínimos cuadrados. Consiste en someter el sistema a diferentes condiciones, fijando para ello distintos valores de la variable independiente x, y anotando en cada caso el correspondiente valor medido para la variable dependiente y. De este modo se dispone de una serie de puntos (x<sub>1</sub>,y<sub>1</sub>), (x<sub>n</sub>,y<sub>n</sub>) que, representados gráficamente, deberían caer sobre una línea recta. Sin embargo, los errores experimentales siempre presentes hacen que no se hallen perfectamente alineados. El método de mínimos cuadrados determina los valores de los parámetros a y b de la recta que mejor se ajusta a los datos experimentales. Sin detallar el procedimiento, se dará aquí simplemente el resultado (Murray y Larry, 1977):

$$a = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n(\sum x_i)^2 - (\sum x_i)^2} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$b = \frac{(\sum y_i) - a(\sum x_i)}{n} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde n es el número de medidas y  $\Sigma$  representa la suma de todos los datos que se indican. Los errores en las medidas, se traducirán en errores en los resultados de a y b. Se describe a continuación un método para calcular estos errores. En principio, el método de mínimos cuadrados asume que, al fijar las condiciones experimentales, los valores  $y_i$  de la variable independiente se conocen con precisión absoluta (esto generalmente no es así, pero lo aceptamos como esencial en el método). Sin embargo, las mediciones de la variable x, irán afectadas de sus errores correspondientes, si  $\epsilon$  es el valor máximo de todos estos errores, entonces se tiene (Murray y Larry, 1977):

$$\Delta a = \frac{\sqrt{n} \epsilon}{\sqrt{n \sum_1^n x_i^2 - (\sum_1^n x_i)^2}} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$\Delta a = \frac{\epsilon}{\sqrt{n}}$$

La pendiente de la recta se escribirá,  $a \pm \Delta a$ , y la ordenada en el origen. El coeficiente de correlación es otro parámetro para el estudio de una distribución bidimensional, que nos indica el grado de dependencia entre las variables x e y. El coeficiente de correlación r es un número que se obtiene mediante la fórmula (Murray y Larry, 1977):

$$r = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n(\sum x_i^2) - \Sigma(x_i)^2] - [n(\sum y_i^2) - \Sigma(y_i)^2]}} \quad \text{Ecuación 16}$$

Su valor puede variar entre 1 y -1.

Si  $r = -1$  todos los puntos se encuentran sobre la recta existiendo una correlación que es perfecta e inversa. Si  $r = 0$  no existe ninguna relación entre las variables.

Si  $r = 1$  todos los puntos se encuentran sobre la recta existiendo una correlación que es perfecta y directa (Murray y Larry, 1977).



## CAPÍTULO 4

### RESULTADO Y DISCUSION

#### 4.1 Ácido ascórbico total de pulpa del tomate de árbol

Se obtuvo 56.5 mg de Áa/100 mg con una desviación estándar de 0.173, otros parámetros fisicoquímicos para las muestras analizadas se muestran en el (anexo 2 y 3).

La cuantificación revela una cantidad considerablemente mayor en comparación a los reportados por Carrasco y Encina (2008) en frutos de tomate de árbol maduro procedentes de Junín, Perú; reportan (16.09 mg/100 g) de ácido ascórbico. Mientras que Torres (2012) reporta un contenido de ácido ascórbico de (23.32 mg / 100 g) en base húmeda. En este aspecto (Santos y Silva, 2008) aseguran que se observan diferencias de concentración debido al lugar de procedencia de los frutos y al método de cuantificación. Por otro lado Carrera (2013) trabajó con dos variedades de tomate de árbol: tomate criollo puntón y tomate rojo, los frutos procedían de ciudad de Ambato, Ecuador. La cantidad de vitamina C reportada fue de 19.7 – 57.8 mg / 100 g, aun tratándose del mismo fruto la investigación de Carrera (2013) demuestra que la variedad incide en la concentración del ácido ascórbico en tomate de árbol. Incluso las condiciones de trabajo, factores como la luz, oxígeno, pH, contacto con metales, etc. Que degradan fácilmente al ácido ascórbico (Santos y Silva, 2008).

Al respecto de la concentración de nutrientes en los vegetales (Badui, 2006) menciona que los aspectos genéticos, prácticas culturales, radiación solar y otros factores como el pH y la humedad influyen en la concentración del ácido ascórbico. La cantidad reportada en la investigación indica que el fruto de tomate de árbol cultivado en el distrito de San Jerónimo tiene una cantidad mayor a los reportados por otros estudios.

#### 4.2 Ácido ascórbico posterior al tratamiento térmico (escaldado) en la pulpa del tomate de árbol

En la siguiente tabla se muestra la concentración de ácido ascórbico en pulpa escaldada, los datos completos y sus réplicas se muestran en el anexo 5. En el anexo 6 se muestran gráficos para cada temperatura de tratamiento.

Tabla 4. Concentración de ácido ascórbico (mg de Áa/100 g) después del tratamiento térmico

Temperatura	Tiempo (minutos)	Concentración de Áa (mg de Áa / 100) $\bar{x}$	$\sigma$
18 °C	C <sub>o</sub>	56.500	0.173
60 °C	2	46.783	0.210
60 °C	4	45.261	0.057
60 °C	6	43.640	0.141
60 °C	8	42.627	0.162
60 °C	10	40.857	0.065
65 °C	2	40.825	0.229
65 °C	4	39.724	0.128
65 °C	6	38.492	0.088
65 °C	8	37.368	0.277
65 °C	10	36.209	0.200
70 °C	2	34.718	0.397
70 °C	4	31.436	0.178
70 °C	6	29.205	0.146
70 °C	8	26.094	0.557
70 °C	10	24.169	0.314
75 °C	2	28.069	0.180
75 °C	4	24.580	0.024
75 °C	6	22.250	0.284
75 °C	8	19.716	0.145
75 °C	10	17.296	0.150
80 °C	2	17.110	0.398
80 °C	4	14.352	0.077
80 °C	6	12.131	0.131
80 °C	8	9.669	0.477
80 °C	10	8.980	0.143

$\bar{x}$ = Media aritmética;  $\sigma$ = Deviación estándar

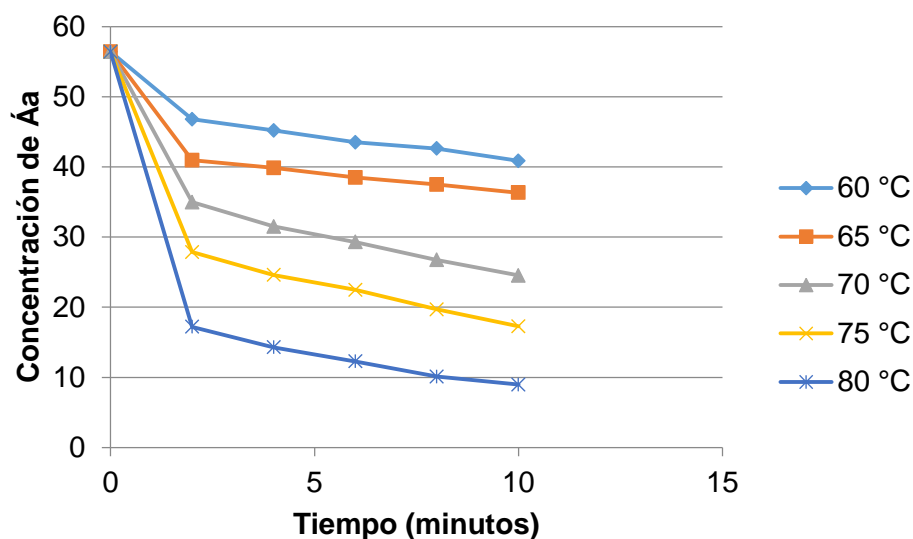


Figura 6. Degradación de ácido ascórbico con la temperatura de tratamiento.

En la figura 6 La concentración de ácido ascórbico disminuyó con el incremento de la temperatura y a medida que aumentaba el tiempo de proceso, pasando de  $34.718 \pm 0.397$  mg/100 g al cabo de 2 min de proceso a  $26.094 \pm 0.557$  mg / 100 g a los 8 min a una temperatura constante de 70 °C lo que representa una pérdida en su concentración del 24.84 %, mientras que para este mismo tiempo (8 min) a una temperatura de 80°C la concentración de vitamina C disminuyó a  $9.669 \pm 0.477$  mg / 100 g (pérdida del 43.48 %).

Mendoza *et al.* (2015) realizó un estudio similar para mango de hilacha edulcorada con 20 % de sacarosa, a la temperatura de proceso de 65 °C a 85 °C por 10 minutos, concluye que pierde alrededor de 6.9 % de su concentración; salta a la vista de que este porcentaje es muy reducido en comparación con los resultados obtenidos, al respecto (Sapei & Hwa, 2014) evidenciaron que la adición de sacarosa podría frenar eficazmente la velocidad de degradación de la vitamina C, al determinar que los valores de la constante cinética disminuían para una misma temperatura cuando el tratamiento se realizaba con azúcar, lo que podría explicar los resultados obtenidos. Por otro lado Ordóñez y Yoshioka (2012) estudiaron la cinética de degradación en mango en una relación temperatura y tiempo (60, 70, y 80°C durante 5, 10 y 15 min) y corrobora que la temperatura degrada considerablemente la concentración de Áa; Ordóñez *et al.* (2013) utilizando como material de trabajo rodajas de guayaba de 0,53 cm de grosor x 6.10 cm diámetro se sometieron a los tratamientos térmicos (75, 85 y 95

°C durante 10, 20, 30 y 40 minutos) en una marmita enchaquetada a presión atmosférica, concluye que la concentración de ácido ascórbico presenta una reducción al incrementar la temperatura y el tiempo del proceso de guayaba; Castillo y Miranda (1995) observaron que en las etapas posteriores a los tratamientos térmicos de jugo de maracuyá se observan mayores porcentajes de pérdidas de ácido ascórbico; Villareal *et al.* (2013) reportó que el 87.72 % de ácido ascórbico del jugo de tomate de árbol se pierde durante el proceso de pasteurización.

En la tabla 4, figura 6 se puede observar la reducción de la concentración del Áa, pierde 84.1 % en 10 minutos a 80 °C de tratamiento térmico (escaldado). Los resultados obtenidos permiten indicar que efectivamente ocurre degradación de la vitamina estudiada. Aunque no se puede generalizar la cuantía de pérdidas del ácido ascórbico, puesto que los mecanismos de la degradación siguen diferentes caminos según la temperatura analizada y que el contenido residual final es prácticamente independiente de la temperatura utilizada (Pirone, Ochoa, Kessler y Michelis, 2002). Las diferencias del porcentaje de pérdidas del ácido ascórbico en el presente estudio con los registrados en otras investigaciones puede ser consecuencia de las temperaturas empleadas, la matriz biológica y su geometría, y probablemente por las diferencias en el contenido de humedad de las muestras.

#### 4.3 Evaluación de la cinética de degradación del ácido ascórbico durante el proceso de tratamiento térmico (escaldado)

##### 4.3.1 Orden de reacción del ácido ascórbico en pulpa de tomate de árbol

Tabla 5.  $R^2$  y  $ECM$ , para orden 0, 1 y 2

T	<u>Orden 0</u>		<u>Orden 1</u>		<u>Orden 2</u>	
	$R^2$	ECM	$R^2$	ECM	$R^2$	ECM
60 °C	0.992	0.131	0.9924	7.43E-05	0.9918	2.72E-08
65 °C	0.9981	0.82635325	0.9984	1.28868056	0.9981	3.49E-05
70 °C	0.9927	1.62152019	0.9979	0.00183891	0.9971	0.00019967
75 °C	0.9964	1.7565007	0.9963	0.00286611	0.9857	0.00075477
80 °C	0.9794	0.61123164	0.9952	0.00326923	0.9943	3.01E-05

\* $R^2$ : Coeficiente de determinación lineal; \* $ECM$ : Error cuadrado medio.

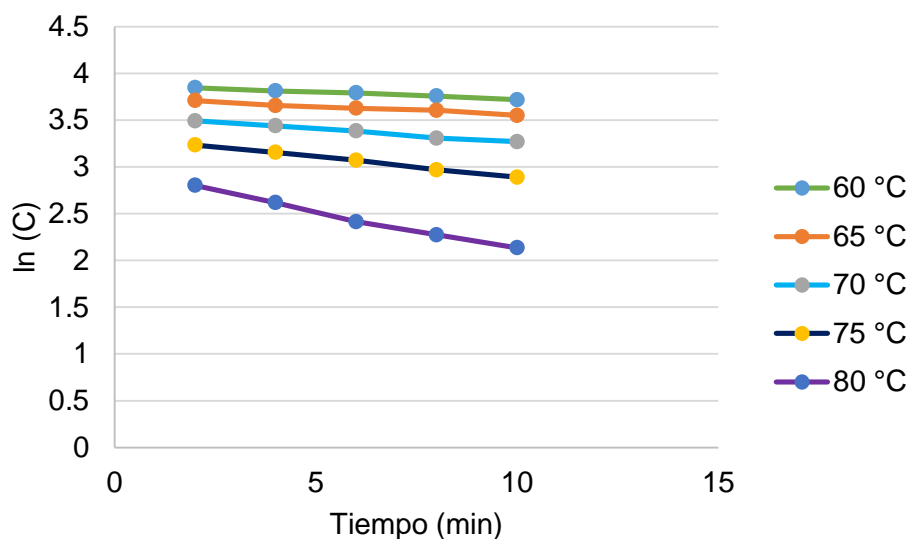


Figura 7. Análisis de regresión simple con el modelo cinético de primer orden.

Se determinó el orden de reacción del ácido ascórbico, los parámetros cinéticos de esta vitamina se ajustaron a una cinética de primer orden, se puede observar que los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) 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 5) se obtuvieron al ajustar la cinética de degradación con el modelo de primer orden para las temperaturas de 60 °C - 80 °C respectivamente; . De igual manera los valores de error cuadrático medio (ECM) más bajos (tabla 5) se obtuvieron para el modelo de primer orden en la mayoría de los casos, de esta manera se determinó que la cinética de primer orden explica con menor error la degradación del ácido ascórbico durante el tratamiento térmico (anexo 6).

La figura 5 muestra que en una reacción de primer orden la concentración del ácido ascórbico decae exponencialmente con el paso del tiempo.

Estudios realizados sobre la cinética de degradación del ácido ascórbico han concordado en que sigue una cinética de primer orden Mendoza *et al.* (2015) estos investigadores afirman que el ácido ascórbico siguió una cinética de primer orden para tratamientos térmicos para mango de hilacha edulcorada; Sánchez, Cortez, Solano y Vidaurre (2015) corroboran que el Áa ascórbico siguió una cinética de primer orden, asimismo otros autores como: Ordóñez y Yoshioka (2012); Ordóñez *et al.* (2013) y Sandoval (2015) en jugo de remolacha, en pulpa de mango, en frutos de guayaba y en zumos pasteurizados

de granada y arándano respectivamente. Sin embargo estudios como el de Montiel *et al.* (2000); Páez *et al.* (2008) concluyen que la cinética de degradación responde a orden 0 y orden 2 en puré de pimientos verdes y jugo de parchita, respectivamente.

En la investigación para orden de reacción en pulpa de tomate de árbol se encontraron resultados favorables para el orden de reacción 1, tal como lo corroboran otros estudios similares para cinética de reacción.

#### 4.3.2 Constante de velocidad de degradación

Se realizó una regresión lineal simple para los 3 modelos y se obtuvo resultados favorables para el modelo de orden 1 como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Modelo de orden 1 y constante de velocidad de primer orden

Temperatura	Ecuación de orden 1	k (min <sup>-1</sup> )	
		$\bar{x}$	$\sigma$
60 °C	y = -0.0165x + 3.8773	0.0165	± 0.000834733
65 °C	y = -0.0151x + 3.7431	0.0151	± 0.000345647
70 °C	y = -0.0437x + 3.6358	0.0437	± 0.001160554
75 °C	y = -0.059x + 3.4481	0.059	± 0.00206394
80 °C	y = -0.0825x + 2.9985	0.0825	± 0.003310767

k= constante cinética de degradación;  $\sigma$ = desviación estándar

Se evidencia que la constante de velocidad cinética (k) aumenta con el incremento de la temperatura, lo que indica que a mayor temperatura la velocidad de la cinética de degradación aumenta, el ácido ascórbico se degrada a mayor velocidad.

Al comparar estos resultados con los alcanzados por (Mendoza *et al.*, 2015) reporta en pulpa de mango de hilacha edulcorada con 20 % de sacarosa, un valor máximo de k = 0.061 min<sup>-1</sup> a 85°C por 10 min, estos resultados son menores a los encontrados en la presente investigación esto podría deberse a los tratamientos realizados (pulpa edulcorada); Al respecto, (Sapei & Hwa, 2014) evidenciaron que la adición de sacarosa podría frenar eficazmente la velocidad de degradación de la vitamina C, al determinar que los valores de la constante cinética disminuían para una misma temperatura cuando el tratamiento se realizaba con azúcar, lo que podría explicar los resultados obtenidos. El aumento

de la constante de velocidad cinética (k) de degradación de la vitamina C con la temperatura, fue igualmente reportado por (Ordóñez y Yoshioka, 2012) reportan en pulpa de mango a un rango de temperatura de 60 – 80 °C, con valores de (k = 0.028 – 0.056 min<sup>-1</sup>, R<sup>2</sup> > 0,90). Por otro lado; Ordóñez *et al.* (2013) reporta que después de los tratamientos térmicos (75 - 95 °C) la velocidad de degradación k = 0.80-1.45 min<sup>-1</sup> (R<sup>2</sup> > 0,90) en guayaba.

La diferencia en los resultados obtenidos con los reportados se debería a que la constante de degradación es específica para cada producto y para cada temperatura y es necesario determinarla experimentalmente. Así como lo menciona (Castillo y Miranda, 1995) en su estudio de la cinética de degradación.

#### 4.3.3 Temperatura de vida media $t_{(1/2)}$ .

Tabla 7. *Temperatura de vida media*

	$t_{1/2}$ (min)	k (min <sup>-1</sup> )	Fórmula
60 °C	42.01	0.0165	$t_{(1/2)} = -\ln (1/2)/k$
65 °C	45.9	0.0151	
70 °C	15.9	0.0437	
75 °C	11.8	0.059	
80 °C	8.4	0.0825	

La tabla exhibe los parámetros de tiempo de vida media de la pulpa de tomate de árbol escaldado, la disminución del tiempo de vida media se debe a la termosensibilidad del ácido ascórbico. Se evidencia que ha 60°C la concentración del ácido ascórbico 42.01 minutos de tratamiento, mientras que a 80°C solo lo hace en 8.4 minutos, disminuyendo para todos los casos el tiempo en que reduce la concentración de la vitamina C a la mitad con el incremento de la temperatura.

Ordóñez y Yoshioka (2012) obtuvieron valores de tiempo de vida media de 24.76 minutos para 60 °C y 12.38 minutos para 80 °C; Mendoza *et al.* (2015), encontraron que los valores del tiempo de vida media disminuyen a la mitad al pasar la temperatura de 65°C a 85°C con valores de 22.52 min y 11.23 min. También se encontraron resultados similares para rodajas de guayaba,  $t_{1/2}=0.87$ , 75 °C y  $t_{1/2}=0.45$ , 95 °C. Donde se observa que el tiempo de temperatura media se reduce casi a la mitad del tiempo que se tiene para la primera temperatura.

#### 4.3.4 Gráfico de Arrhenius

La figura 7 muestra la gráfica linealizada de Arrhenius, se utilizó los valores mostrados en la tabla 9 para los valores de la constante de degradación  $k \text{ min}^{-1}$ , la pendiente de esta recta permite calcular los valores de la energía de activación ( $E_a$ ) para la degradación del ácido ascórbico.

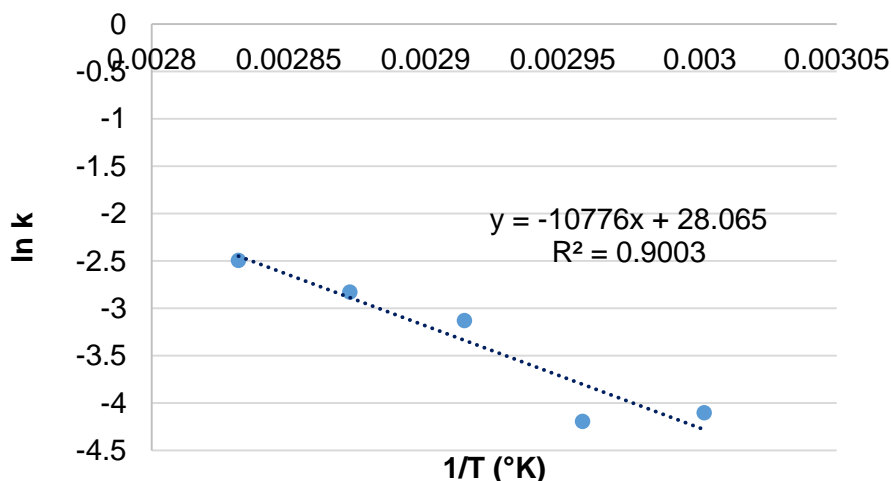


Figura 8. Gráfico de Arrhenius de la degradación de ácido ascórbico en pulpa de tomate de árbol

En esta investigación se presenta para la pendiente un valor de 10776, con un  $R^2 = 0.9003$ , el valor de coeficiente de regresión resultó ser un poco menor que los de otros autores, lo que representa que el porcentaje de error sería un poco mayor, pero no obstante puede ser confiable ya que el  $R^2$  no es menor a 0.9.

Investigaciones como el de Ordóñez *et al.* (2013) obtuvieron como pendiente de la ecuación de Arrhenius un valor 3811.7 con un  $R^2 = 0.9968$ ; mientras que en otra investigación este mismo autor obtuvo valores para la pendiente de 4.0924 con un  $R^2 = 0.933$ ; Entretanto Mendoza *et al.* (2015) presenta valores de 4.3148, para la pendiente de la ecuación con un  $R^2 = 0.978$ .

Las diferencias en los parámetros cinéticos del ácido ascórbico con respecto a otras investigaciones puede ser consecuencia de las temperaturas empleadas, la matriz biológica y su geometría, y por las diferencias en el contenido de humedad de las muestras.



#### **4.4 Determinación del efecto de la temperatura en la velocidad de degradación del ácido ascórbico**

##### **4.4.1 Energía de activación ( $E_a$ )**

En la investigación, la energía mínima requerida ( $E_a$ ) para que inicie la degradación térmica del ácido ascórbico en la pulpa de tomate de árbol es 21.434 kcal/mol, la pendiente de la ecuación linealizada de la ecuación de Arrhenius resultó 10776.

Los reportes en otros estudios para el ácido ascórbico, como el de Mendoza *et al.* (2015) obtuvo  $E_a = 8.57$  Kcal/mol, mientras que Ordóñez y Yoshioka (2012) obtuvieron  $E_a = 8.13$  kcal/mol, estos dos últimos estudios para el mango. Otro valor un poco menor reportó Ordóñez *et al.* (2013) en guayaba, que fue de  $E_a = 7.57$  Kcal/mol, para cinética de degradación en tratamientos térmicos. También se han reportado valores que sobrepasan a la energía de activación en tomate de árbol, como en la investigación realizada por (Munyaka, Makule, Oey, Van Loey, & Hendrickx, 2010) registran un valor de  $E_a = 63.77$  Kcal/mol para un rango de temperatura de 55 a 65 °C en flores de brócoli.

Estas diferencias en los parámetros cinéticos del ácido ascórbico en el presente estudio, comparado con las otras investigaciones, pueden ser consecuencia de factores como el rango de temperatura, la matriz biológica, la geometría de la muestra, la concentración de oxígeno, la humedad, y el pH, factores que han sido investigados previamente en otros estudios de degradación cinética del ácido ascórbico (Bineesh, Singhal, & A., 2005); (Bree *et al.*, 2012).

##### **4.4.2 Factor $Q_{10}$**

El factor  $Q_{10}$  fue determinado para evaluar el cambio de la constante de velocidad de la degradación del ácido ascórbico a cada 10°C, (variación de la velocidad de reacción cada 10 °C), considerando la temperatura, como el factor de abuso. Para las temperaturas de 60 °C – 70 °C el valor del coeficiente de temperatura fue de 1.03 (adimensional) y para las temperaturas de 70 °C – 80 °C fue 2.92 (adimensional).

Los valores presentados en la investigación son cercanos a los reportados, Ordóñez y Yoshioka (2012) obtuvo para el valor de  $Q_{10}$  (60 – 80 °C) = 1.41;

mientras tanto en otra investigación este mismo autor y colaboradores obtuvieron para el valor de  $Q_{10}$  (75 – 95 °C) = 1.35.

Por lo cual indica que en este experimento la vida útil es mayor en comparación con los reportes de los autores anteriores. Puesto que equivalentemente se ha definido a  $Q_{10}$  como el cambio de vida útil  $t_{1/2}$ , es decir, el tiempo para la concentración del ácido ascórbico de pulpa de tomate de árbol en alcanzar los niveles inaceptables, cuando la pulpa es sometida a una temperatura más alta por 10 °C.

#### **4.5 Evaluación del efecto de la temperatura en la concentración de Ácido ascórbico de la pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*).**

##### **4.5.1 Análisis de varianza ANOVA**

En la tabla ANOVA (Anexo 7), se observa que el valor de la Razón-P es menor a 0.05, lo cual indica que la temperatura tiene un efecto significativo sobre la concentración de ácido ascórbico después del proceso de escaldado, pues muestra diferencia para los niveles de temperatura de estudio, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Otros estudios realizados también concluyen que: “La estabilidad del ácido ascórbico en el mango de hilacha depende de la temperatura de calentamiento, disminuyendo su valoración con el aumento de este parámetro” (Mendoza et al., 2015); así mismo otro investigador afirma que la degradación térmica del ácido ascórbico en frutos de guayaba aumenta al incrementar la temperatura de proceso (Ordóñez et al., 2013).

En la investigación, el resultado del análisis estadístico realizado nos muestra que la temperatura tiene un efecto significativo en la cinética de degradación del ácido ascórbico en pulpa de tomate de árbol, tal y como ya ha sido comprobado en otras investigaciones mencionadas.

## CONCLUSIONES

- ❖ La temperatura tiene un efecto significativo en la cinética de degradación del ácido ascórbico de la pulpa de tomate de árbol.
- ❖ La concentración total de ácido ascórbico, en la pulpa de tomate de árbol maduro fresco fue de 56.5 mg de Áa/100 g con una desviación estándar de 0.173 mg de Áa/100 g.
- ❖ La concentración de ácido ascórbico al final del tratamiento fue 8.980 mg de Áa/100 g con una desviación estándar de 0.143 mg de Áa/100 g, en el cual pierde el 84.1 % en 10 minutos de escaldado.
- ❖ La degradación del ácido ascórbico se explica a través de una cinética de primer orden y la ecuación de Arrhenius en el rango de temperaturas de 60 °C - 80 °C, obteniéndose  $k = 0.0165 \text{ k (min}^{-1}\text{)}$  y  $k = 0.0825 \text{ k (min}^{-1}\text{)}$  respectivamente.
- ❖ Los tratamientos con mayor temperatura ejercen mayor velocidad de degradación de ácido ascórbico, la energía mínima requerida ( $E_a$ ) para que inicie la degradación térmica del ácido ascórbico en la pulpa de tomate de árbol es de 21.434 Kcal/mol.
- ❖ Las temperaturas estudiadas en la investigación, tienen un efecto significativo sobre la degradación del ácido ascórbico en pulpa de tomate de árbol.

## RECOMENDACIONES

- ❖ Determinar la concentración del ácido ascórbico inmediatamente; ya que ésta vitamina se degrada con mucha facilidad por otros factores además de la temperatura.
- ❖ Centrifugar la solución (ácido oxálico y pulpa de tomate de árbol triturado) para obtener un sobrenadante más claro, para una mejor visión del cambio de coloración en la lectura del volumen de gasto en la titulación.

## **SUGERENCIA**

- ❖ Realizar otras investigaciones que permitan complementar esta investigación sobre el tomate de árbol, como el efecto del estado de madurez en la concentración del ácido ascórbico en pulpa de tomate de árbol.
- ❖ Otro de los estudios complementarios como la estabilidad del ácido ascórbico de la pulpa del tomate de árbol fresco así como del fruto procesado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, B., Montiel, M., & Avanza, J. (2002). Efecto del tratamiento térmico en la capacidad antioxidante total de jugos de pomelo, naranja y mandarina. *SCielo*, 1(8), 1–3. Retrieved from <http://www1.unne.edu.ar/cyt/2002/08-Exactas/E-013.pdf>.
- Acosta, P. G. (2011). *Caracterización morfológica y molecular de tomate de árbol, Solanum betaceum Cav. (Solanaceae)*. Universidad Politécnica de Madrid.
- AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (15ava ed.). Estados Unidos.
- Araya, H., Clavijo, C., & Herrera, C. (2006). Capacidad antioxidante de frutas y verduras cultivados en Chile. *SCielo*, 56(4), 361–365.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos. Pearson educación* (4ta. ed.). México. Retrieved from <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=LIBROSNL.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=004719>
- Bineesh, N., Singhal, R. S., & A., P. (2005). A study on degradation kinetics of ascorbic acid in drumstick (*Moringa olifera*) leaves during cooking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95–102.
- Bohs, A. (1995). Transfer of cyphomandra (*Solanaceae*) and its species to solanum. *taxon*, 44, 583.587.
- Bourges, H. (1993). *Elementos de nutriología*. (Pearson, Ed.). Mexico.
- Boyes, S. P. (1997). Organic acid and sugar composition of three New Zeland grown tamarillo varieties (*Solanum betaceum* (Cav.)). *N Z J Crop Hortic Sci*.
- Bree, V., Baetens, J., Samapundo, S., Devlieghere, F., Laleman, R., Vandekinderen, I., ... De Neulenaer, B. (2012). Modelling the degradation kinetics of vitamin C in fruit juice in relation to the initial headspace oxygen concentration. *Food Chemistry*, 134, 207–214.
- Brown, T. (2004). *Química: La ciencia central*. (Pearson, Ed.) (9na. ed.). Mexico.
- Carrera, P. D. (2013). *Determinación de las propiedades fisicoquímicas del jugo de tomate de árbol (Solanum betaceum Cav) preparado a diferentes tiempos de cocción del fruto. Tesis de grado*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Casp, A., & Abril, J. (2003). *Procesos de conservación de alimentos*. (M. Prensa, Ed.) (2da ed.).

- Castillo, P., & Miranda, L. (1995). Cinética de la degradación de la vitamina C en el jugo concentrado y congelado de maracuyá (*Passiflora edulis*). *Universidad de Campinas, Sao Paulo, Brasil*, 2, 1–12.
- Fennema, R. O., & Tannenbaum, R. S. (1993). *Química de los alimentos*. (ACRIBIA, Ed.) (2da. ed.). Zaragoza.
- García, A. I. (2007). Estudio comparativo de dos métodos analíticos para cuantificar vitamina C total en algunas variedades de chile (*Capsicum annum*). *Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM): Registro En La Red Mexicana de Repositorios Institucionales*, 5(2), 40–59. Retrieved from [http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/?func=service&doc\\_library=TES01&doc\\_number=000618201&line\\_number=0001&func\\_code=WEB-BRIEF&service\\_type=MEDIA](http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/?func=service&doc_library=TES01&doc_number=000618201&line_number=0001&func_code=WEB-BRIEF&service_type=MEDIA)
- Gutiérrez, H. (2010). *Análisis y diseño de experimentos*. (M. Hill, Ed.) (3ra ed.). México.
- Harris, M. G. (1973). *Cinética Química*. (Reverte, Ed.) (1ra ed.). España.
- Harvey, D. (2002). *Química Analítica Moderna*. (H. de E. s. a. Mc Graw, Ed.). Madrid.
- Kilcast, D., & Subramaniam, P. (2011). Food and beverage stability and shelf life. *Woodhead Publishing Limited*.
- Labuza. (1984). Application of chemical kinetics to deterioration of foods. *Journal Chemical Education*.
- Levenspiel, O. (2004). *Ingeniería de las Reacciones Químicas*. (W. Limusa, Ed.) (3ra. ed.). México.
- Maca, M. P., Osorio, O., & Mejía, D. F. (2013). Inactivación térmica de pectinmetilesterasa en tomate de árbol (*solanum betaceum*). *Informacion Tecnologica*, 24(3), 41–50. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000300006>
- Mendoza, C., 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 (*Mangifera indica* var *magdalena river*). *Información Tecnológica*, 26(3), 09–16. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000300003>
- Montiel, G. M., Sgroppo, S. C., & Avanza, J. R. (2000). *Cinética de degradación del ácido ascórbico en puré de pimientos*. Universidad Nacional del

Nordeste.

- Moreno, M. ., Pinto, M. ., García, D., & Camacho, D. . (2007). Efecto del ácido cítrico sobre la madurez del tomate de árbol. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 24(2), 290–295. Retrieved from [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-78182007000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182007000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Munyaka, A., Makule, E., Oey, I., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2010). Thermal Stability of L-Ascorbic Acid and Ascorbic Acid Oxidase in Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Journal of Food Science*, 336–340.
- Murray, S., & Larry, S. (1977). *Teoría y problemas de probabilidad estadística*. (M. Hill, Ed.) (2da. ed.). Bogotá.
- Oliveira, R. G. De, Godoy, H. T., Prado, M. A., & O, P. (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. E., & Yoshioka, L. S. (2012). Cinética de degradación térmica de vitamina C en pulpa de mango (*Mangifera indica* L.). *Vitae*, 19(1), 81–83.
- Ordóñez, S., Portilla, L. E., Ospina, M. A., & Rodríguez, D. X. (2013). Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Lasallista de Investigacion*, 10(2), 44–51. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69529816006>
- Páez, G., Freay, J., Moreno, M., Marmol, Z., Araujo, K., & Rincón, M. (2008). Cinética de la degradación del ácido ascórbico en jugo de parchita. *Departamento de Ingeniería Bioquímica*, 51–55. Retrieved from <http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/281445/369258>
- Pileri, A. M. (1989). El tamarillo. *Riv Frutticultura*, 67–70.
- Pirone, B. N., Ochoa, M. R., Kessler, A. G., & Michelis, A. (2002). De Deshidratación De Frutos De La. *Asentamiento Universitario Villa Regina*, 31(1), 85–98.
- Prohens, J., & Nuez, F. (2000). the tamarillo (*Cyphomandra beta\_cea*): a review of a promising small crop small fruits rev., 2, 43 – 68.
- Repo de Carrasco, R., & Encina Zelada, C. R. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 74(2), 108–124.
- Robertson, G., & Samaniego, C. (1986). Effect of initial dissolved oxygen levels



- on the de-gradation of ascorbic acid and the browning of lemon juice during storage. *Food Science*, 184–187.
- Romero - rodriguez, M. A., Vázquez - orderiz, M. L., & López - Hernández, J. (1994). Composition of babaco, feijoa, pasion-fruit and tamarillo produced in Galicia (NW Spain), 251–255.
- Sánchez, W., Cortez, J., Solano, M., & Vidaurre, J. (2015). Cinética de degradación térmica de betacianinas, betaxantinas y vitamina C en una bebida a base de jugo de remolacha (*Beta vulgaris* L.) y miel de abeja. *Scientia Agropecuaria*, 6(2), 111–118. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.02.03>
- Sandoval, A. A. (2015). *Cinética de la degradación térmica de antocianinas en zumos pasteurizados de Granada (Punica granatum) y Arándano (Vaccinium myrtillus)*.
- Santos, P. H. S., & Silva, M. A. (2008). Retention of Vitamin C in Drying Processes of Fruits and Vegetables A Review, Drying Technology. *School of Chemical Engineering, University of Campinas UNICAMP, Campinas SP, Brazil*, 12(26), 1421–1437.
- Sapei, L., & Hwa, L. (2014). Study on the Kinetics of Vitamin C Degradation in Fresh Strawberry Juices. *Procedia Chemistry*, 9, 62–68.
- Torres, A. (2012). Caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) (Cav.) Sendtn. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 62(4), 381–388. Retrieved from [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222012000400010&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222012000400010&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Towle, M. A. (1961). *The ethnobotany of precolumbian Peru* (Aldine Pub). Chicago: Company, Aldine Publishing.
- Van boekel, S., & Martinus, A. (2009). *Kinetic Modeling of Reactions in Foods*. New York: CRC Press.
- Vasco, C., Avila, J., Ruales, J., Svanberg, U., & Kamal, A. (2009). Physical and chemical characteristics of golden-yellow and purple-red varieties of tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.), 278–288.
- Vidaurre, J. (2014). *Principios básicos para determinar la vida útil de los alimentos*. Lambayeque.
- Villareal, Y., Mejía, F., Osorio, O., & Cerón, F. A. (2013). Efecto de pasteurización sobre características sensoriales y contenido de vitamina C

en jugos de frutas. *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 11(2), 66–75.

Zago, G., García, F., Bernardo, M., Luna, P., & Gualtieri, J. R. (2010). Determinación del contenido de vitamina C en miel de abejas venezolanas por volumetría de óxido-reducción. *Revista Del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, 41(1), 25–30. Retrieved from [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-04772010000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-04772010000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

## **ANEXOS**

## Anexo 1: Determinación del índice de madurez

### 1. Requisitos

La determinación del índice de madurez del tomate de árbol deben estar sujetos a ciertos requisitos y tolerancias permitidas, una publicación ecuatoriana señala que: “La madurez de los tomates de árbol puede evaluarse visualmente según su coloración externa. Su condición puede confirmarse determinando el índice de madurez” (NTE INEN, 2009). La escala de color del tomate de árbol para determinar su madurez es la que se indica a continuación, donde: color de 1 a 2 representa verde, de 3 a 4 pintón y de 5 a 6 maduro .

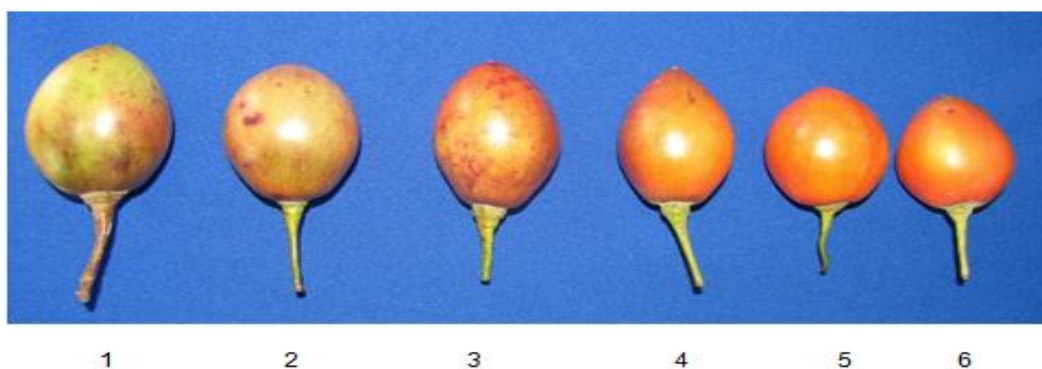


Figura 9: *Determinación del índice de madurez según la escala de color*

La NTE INEN (2009) también presenta una tabla con valores mínimos que debe cumplir un fruto de tomate de árbol para poder ser considerado maduro.

Tabla 8. *Requisitos físicos y químicos del tomate de árbol*

	Madurez de consumo		Método de ensayo
	Min	Máx.	
Acidez titulable % (ácido cítrico)	-	2,0	NTE INEN 381
Sólidos solubles totales, °Brix	8,5	-	NTE INEN 380
Contenido de pulpa, %	70	-	Ver 2.1
Índice de madurez (°Brix/ácido cítrico)	4,5	-	Ver 2.2

## 2. Método de ensayo

### 2.1 Determinación del contenido de pulpa

Se obtiene mediante la extracción manual (separando la pulpa de la cáscara y las semillas) y se establece la relación de la masa de la pulpa con respecto a la masa total de la fruta. El resultado se expresa en porcentaje (%). (NTE INEN, 2009)

$$\text{Contenido de pulpa} = \frac{P \text{ pulpa (g)}}{P \text{ fruta (g)}} \times 100$$

$$\text{Contenido de pulpa} = \frac{26 \text{ (g)}}{37 \text{ (g)}} \times 100$$

$$\text{Contenido de pulpa} = 70.3 \%$$

## **Anexo 2. Procedimiento de los análisis fisicoquímicos**

### **A. Proceso de extracción del ácido ascórbico con solución de ácido oxálico al 0.5 %**

Para ello se utilizará la metodología descrita por (Zago, *et al.*, 2010), estos investigadores en su investigación titulada “Determinación del contenido de vitamina C en miel de abejas venezolanas por volumetría de óxido-reducción” utiliza la solución acuosa de Ácido oxálico al 0.5 %, como extractante del ácido ascórbico.

### **B. Determinación de ácido ascórbico por titulación con 2,6 diclorofenol-indofenol**

Se empleó la metodología descrita por Método 967,21 (AOAC, 1990). En este método, el ácido ascórbico reduce DCFI una solución incolora en el punto final de la valoración, el exceso no reducido de la solución ácida da el indicador de un color rosado, lo que facilita la visualización del punto final para el ojo desnudo. En una bureta de 25 mL se coloca la solución de 2,6 diclorofenolindofenol y se titula la solución hasta que se tenga un color rosa que se mantiene por más de 5 segundos.

### **C. Medición de pH**

Para medir el pH de pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) se utilizó un Potenciómetro.

### **D. Medición de sólidos solubles (°Brix)**

Para medir los sólidos solubles (°Brix) de pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) se utilizó un Refractómetro.

**Anexo 3. Cuantificación del ácido ascórbico total y medición de características de pulpa del tomate de árbol**

Tabla 9. Resultados del análisis fisicoquímico de pulpa del tomate de árbol

<i>Fruto: Tomate de árbol</i>				
<i>Componente y/o característica</i>	<i>*x<sub>1</sub></i>	<i>*x<sub>2</sub></i>	<i>*x<sub>3</sub></i>	<i><math>\bar{x}</math></i>
<i>Ácido ascórbico (mg de Áa/100 g)</i>	56.7	56.4	56.4	56.5
<i>pH</i>	3.5	3.6	3.5	3.53
<i>Sólidos solubles (°Brix)</i>	12.5	12.4	12.4	12.43

\*x<sub>1</sub>= concentración de ácido ascórbico;  $\bar{x}$ = media aritmética;

**Anexo 4. Cuantificación del ácido ascórbico posterior a los tratamientos térmicos (escaldado) de pulpa del tomate de árbol.**

Tabla 10. *Concentración de ácido ascórbico en pulpa de tomate de árbol escaldado a temperatura de 60 °C, 65 °C, 70 °C, 75 °C, 80 °C*

Tiempo	Concentración de Áa (mg de Áa / 100 g)				
	60 °C	65 °C	70 °C	75 °C	80 °C
C <sub>0</sub>	56.7	56.4	56.4	56.5	
2	46.783	40.824	34.718	28.069	17.109
2	46.573	41.209	35.429	27.809	17.636
2	46.993	40.804	34.767	27.723	16.854
4	45.261	39.724	31.436	24.580	14.352
4	45.216	39.863	31.394	24.627	14.316
4	45.147	39.981	31.722	24.592	14.205
6	43.640	38.492	29.205	22.249	12.131
6	43.511	38.565	29.459	22.357	12.320
6	43.358	38.389	29.205	22.786	12.382
8	42.626	37.368	26.094	19.716	9.669
8	42.449	37.279	27.125	19.528	10.612
8	42.774	37.789	26.974	19.813	10.019
10	40.857	36.209	24.169	17.296	8.979
10	40.804	36.199	24.749	17.108	9.107
10	40.934	36.551	24.665	17.404	8.823



## Anexo 5. Concentración del Áa frente al tiempo de tratamiento

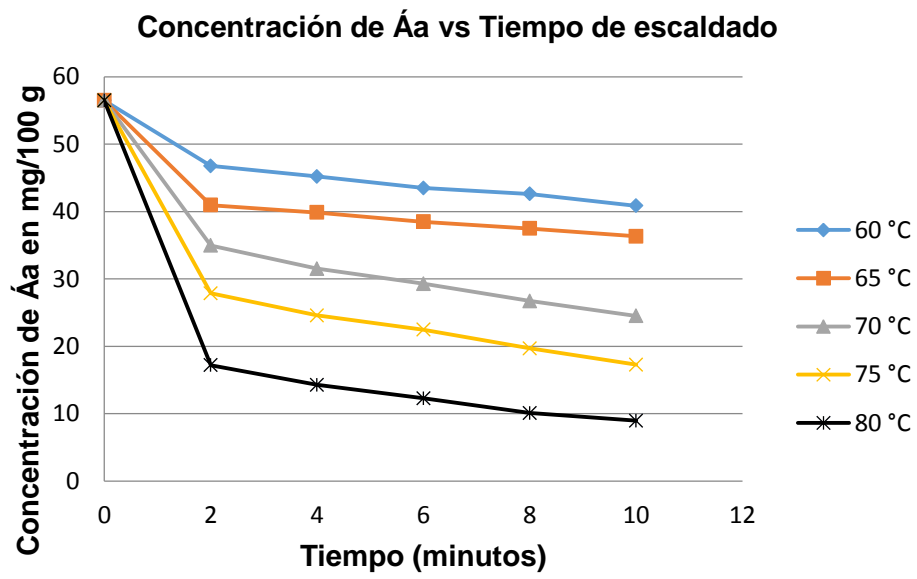


Figura 10. Disminución de la concentración del Áa cuando la pulpa es expuesta a una temperatura de 60, 65, 70, 75 y 80 °C.

**Anexo 6. Gráficos de regresión lineal simple para cinéticas de reacción de orden 0, 1 y 2 respectivamente para las temperaturas de 60, 65, 70, 75 y 80 °C.**

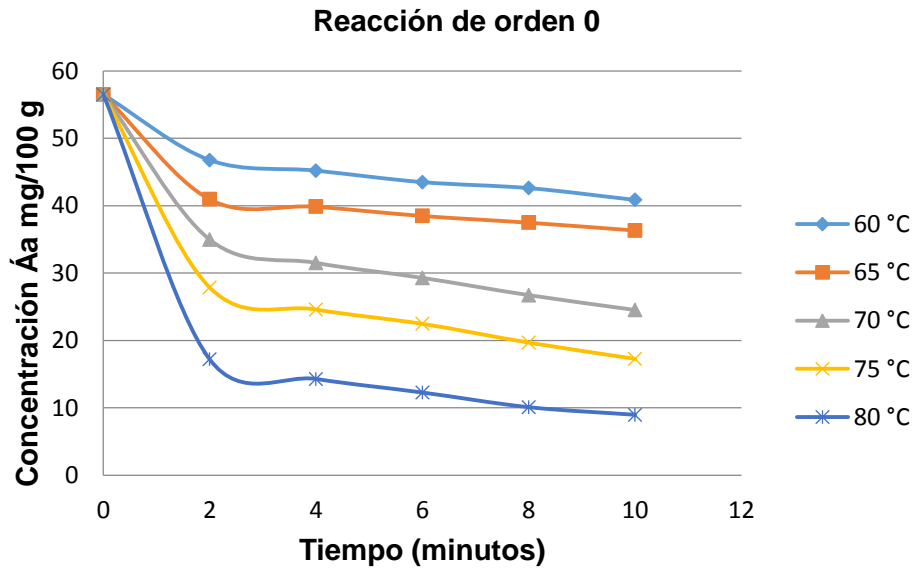


Figura 11. Concentración de ácido ascórbico frente al tiempo.

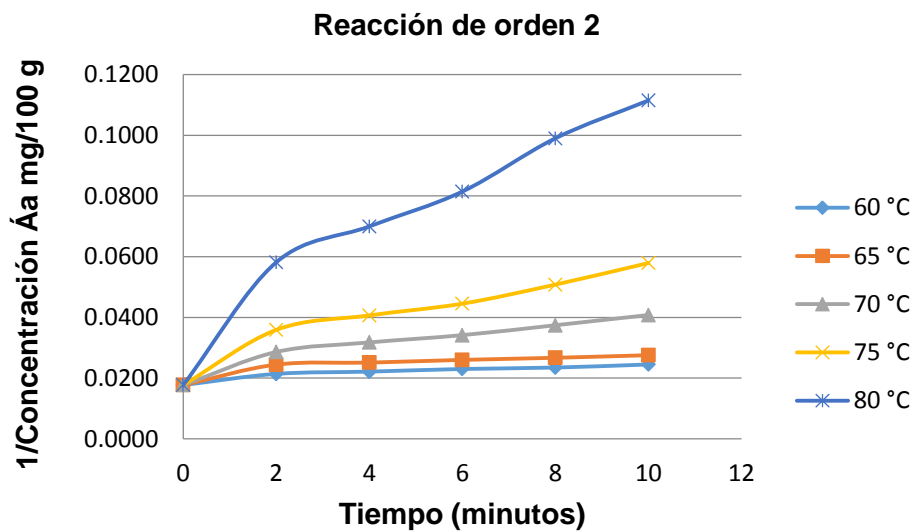


Figura 12. Inversa del logaritmo neperiano de la concentración de ácido ascórbico frente a la inversa del tiempo.

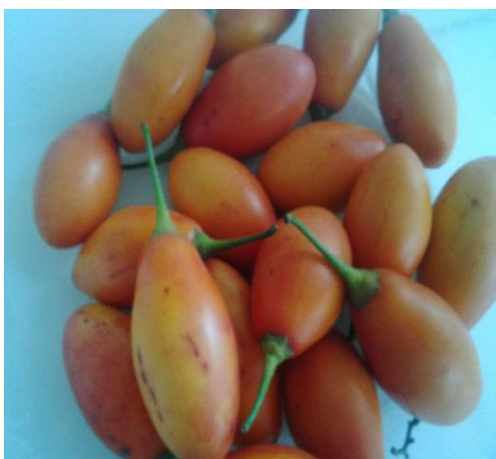
**Anexo 7. Análisis de varianza de un solo factor para el efecto de la temperatura en la concentración de ácido ascórbico después del tratamiento térmico**

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	cuadrado medio	Razón-F	Razón-P
Efectos principales				24896.58	0.000
TEMPERATURA	4473.642	5	894.728		
Error	0.431	12	0.036		
Total	4474.073	17			

$S = 0.1896$   $R\text{-cuadrado} = 99.99\%$   $R\text{-cuadrado (ajustado)} = 99.99\%$

Fuente = tabla 4

**Anexo 8. Fotografías del procedimiento para la preparación de la muestra**



*Figura 13. Tomate de árbol.*



*Figura 16. Despepitado y troceado*



*Figura 14. Lavado*



*Figura 17. Triturado de pulpa*



*Figura 15. Pelado*

**Anexo 9. Fotografías de la determinación de ácido ascórbico por titulación con 2,6 Diclorofenol - indofenol**



*Figura 18.* Extracción del ácido ascórbico con solución de ácido oxálico al 0.5%



*Figura 20.* Determinación de la concentración de ácido ascórbico, 2,6 Diclorofenol indofenol.



*Figura 19.* Filtrado de la solución de ácido oxálico y la pulpa de tomate de árbol triturado.

### Anexo 8. Matriz de consistencia

	Problema	Objetivos	Métodos	Hipótesis de investigación	Variables	Definición conceptual
<p><i>EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DEL ÁCIDO ASCÓRBICO EN PULPA DE TOMATE DE ARBOL (<i>Solanum betaceum</i>).</i></p> <p>¿Cuál es el efecto de La temperatura tiene efecto en la cinética de degradación del Ácido Ascórbico de la pulpa de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>)?</p>		<p><b>General:</b> Determinar el efecto de la temperatura en la cinética de degradación del Ácido ascórbico de la pulpa de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>).</p>		<p>La temperatura tiene efecto en la cinética de degradación del Ácido ascórbico de la pulpa de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>).</p>	<p><b>Entrada:</b> Temperatura</p>	<p>Magnitud física que refleja la cantidad de calor, nivel térmico de un cuerpo o de la atmósfera.</p>
		<p><b>Específicos:</b> Cuantificar la concentración total de Ácido ascórbico en la pulpa de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>).</p>	<p>Método volumétrico del 2,6-dicloroindofenol, (Método 967.21 de la AOAC).</p>		<p><b>Salida:</b> Concentración de ácido ascórbico</p>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuantificar la concentración del Ácido ascórbico al final del proceso de cada tratamiento térmico (escaldado) en la pulpa de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>).</li> </ul>	<p>Método volumétrico del 2,6-dicloroindofenol, (Método 967.21 de la AOAC).</p>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar la cinética de degradación del Ácido ascórbico en la pulpa de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>) durante el proceso del tratamiento térmico (escaldado).</li> </ul>	<p>Método de mínimos cuadrados, mediante un análisis de regresión lineal simple</p>		<p>Cinética de degradación de ácido ascórbico</p>	<p>Cantidad de ácido ascórbico contenida en un volumen.</p>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar la influencia de la temperatura en la velocidad de degradación del ácido ascórbico.</li> </ul>	<p>Determinación de la energía de activación y el tiempo de vida media</p>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar estadísticamente el efecto de la temperatura en la concentración de Ácido ascórbico de la pulpa de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>)</li> </ul>	<p>Diseño completamente al azar (DCA), se realizó un análisis de varianza (ANOVA)</p>			

