

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y METALURGIA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**“CINÉTICA DE DEGRADACIÓN TÉRMICA DE VITAMINA C  
EN JUGO CONCENTRADO DE ARÁNDANO (*Vaccinium  
corymbosum* L.)”**

**Tesis para optar el Título de  
INGENIERA AGROINDUSTRIAL**

Presentado por:

**Bach. Ana Ibelia ZAMORA GUTIERREZ**

**AYACUCHO – PERÚ**

**2018**

# ÍNDICE

	Página.
I INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	2
II REVISION DE LITERATURA	
2.1 Antecedentes de la investigación	3
2.2 Vitamina C o ácido ascórbico	4
2.2.1 Aspectos generales	4
2.2.2 Funciones de la vitamina C	6
2.2.3 Estructura y características de la vitamina C	7
2.2.4 Degradación de la vitamina C	8
2.2.5 Factores que afectan la oxidación del ácido ascórbico	10
2.2.6 Efecto de la temperatura en la degradación de la vitamina C	12
2.3 Cinética de las reacciones químicas	12
2.3.1 Orden de reacción	14
2.3.2 Ecuación de Arrhenius	17
2.3.3 Velocidad de reacción	19
2.3.4 Tiempo de vida media ( $t_{1/2}$ )	20
2.3.5 Tiempo de reducción decimal (D)	21
2.4 El Arándano ( <i>Vaccinium corymbosum</i> L.)	22
2.4.1 Aspectos generales	22
2.4.2 Taxonomía	24
2.4.3 Variedades	25
2.4.4 Composición química y usos	27

2.4.5	Índice de madurez y cosecha de arándanos	29
2.4.6	Antioxidantes en arándanos	30
2.5	Jugos de frutas	31
2.6	Jugo de fruta concentrado	32
2.7	Pasteurización de jugos de frutas	32
2.8	Espectrofotometría	33
2.8.1	Aspectos generales	33
2.8.2	Principio de la espectrofotometría	34
2.8.3	Transmitancia y absorción de las radiaciones	36
III	MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1	Materiales	38
3.1.1	Materia prima	38
3.1.2	Materiales de envase	39
3.1.3	Reactivos	39
3.1.4	Materiales de laboratorio y otros	40
3.2	Equipos e instrumentos	40
3.3	Metodología experimental	40
3.3.1	Muestreo, caracterización física y fisicoquímica de la materia prima	40
3.3.2	Métodos de análisis en las muestras	41
3.3.3	Diseño metodológico para la obtención de jugo de arándano concentrado	44
3.3.4	Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad	45
3.3.5	Determinación de la energía de activación	45

3.3.6	Determinación de los valores cinéticos de degradación térmica del jugo concentrado de arándano	47
3.4	Diseño estadístico	48
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1	Características físicas del arándano ( <i>Vaccinium corymbosum</i> L.), variedad emerald	49
4.2	Características fisicoquímicas del arándano ( <i>Vaccinium corymbosum</i> L.), variedad emerald	50
4.3	Construcción de la curva estándar de vitamina C	52
4.4	Influencia de la temperatura de proceso y tiempo en la degradación de vitamina C en jugo concentrado de vitamina C	55
4.5	Orden de reacción para la degradación térmica de vitamina C en el jugo concentrado de arándano	58
4.6	Valores cinéticos de degradación térmica de vitamina C en el jugo concentrado de arándano según el modelo planteado	60
4.7	Cálculo de la energía de activación de degradación térmica de vitamina C en el jugo concentrado de arándano	62
4.8	Constante de resistencia térmica (Valor Z) de la degradación de vitamina C en el jugo concentrado de arándano	65
V	CONCLUSIONES	68
VI	RECOMENDACIONES	69
VII	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
	ANEXOS	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 2.1 Estructura química del ácido L-ascórbico (Vitamina C) y L-deshidroascórbico	8
Figura 2.2 Oxidación de ácido L-ascórbico a ácido deshidroascórbico	11
Figura 2.3 Relación entre la concentración en función al tiempo para una determinada reacción química	20
Figura 2.4 El fruto de arándano	24
Figura 3.1 Arándanos, utilizadas en la investigación	39
Figura 3.2 Caracterización física del arándano	41
Figura 3.3 Caracterización fisicoquímica del arándano	41
Figura 3.4 Determinación de °brix de arándano	42
Figura 3.5 Determinación del pH de jugo de arándano	42
Figura 3.6 Determinación de acidez titulable de jugo de arándano	43
Figura 3.7 Determinación de vitamina C en jugo de arándano	44
Figura 3.8 Concentración de jugo de arándano con el Rotavapor	45
Figura 3.9 Diseño metodológico planteado en el trabajo de investigación	46
Figura 4.1 Frutos de arándano seleccionados y evaluados	49
Figura 4.2 Curva estándar para la determinación de vitamina C	54
Figura 4.3 Comportamiento de la vitamina C en el jugo concentrado de arándano por el tratamiento térmico en función al tiempo	56
Figura 4.4 Variación del tratamiento térmico de vitamina C en el jugo	

	concentrado de arándano en función al tiempo	58
Figura 4.5	Variación del tratamiento térmico del Ln (vitamina C) en el jugo concentrado de arándano en función al tiempo	58
Figura 4.6	Relación logarítmica de la constante K y la inversa de la temperatura en el jugo concentrado de arándano	64
Figura 4.7	Relación logarítmica del valor D y las temperaturas en el jugo	66

## ÍNDICE DE TABLAS

		Página.
Tabla 2.1	Clasificación taxonómica del arándano	24
Tabla 2.2	Variedades comerciales de arándanos	26
Tabla 3	Composición química del arándano	28
Tabla 4.1	Características físicas de los frutos de arándano	50
Tabla 4.2	Características fisicoquímicas del jugo de arándano	51
Tabla 4.3	Valores de absorbancia para la construcción de curva estándar de vitamina C	53
Tabla 4.4	Valores del análisis de regresión lineal	54
Tabla 4.5	Degradación de vitamina C (mg/100 g) de jugo concentrado a 30°brix de arándano, a temperaturas y tiempos empleados	55
Tabla 4.6	ANVA para la variación de vitamina C del jugo concentrado de arándano según el modelo planteado	56
Tabla 4.7	Orden de reacción y coeficientes de degradación térmica de vitamina C en el jugo concentrado a 30°brix de arándano	59
Tabla 4.8	Valores cinéticos de degradación térmica de vitamina C en jugo concentrado de arándano	61
Tabla 4.9	Valor de energía de activación en la degradación térmica de vitamina C en jugo concentrado de arándano	63
Tabla 4.10	Valor Z para el jugo concentrado de arándano	65

## ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1 método para determinación cuantitativa de  
vitamina c por espectrofotometría
- Anexo 2 resumen fotográfico del trabajo de  
investigación

## **DEDICATORIA**

*A DIOS fuente de vida y sabiduría, A mis queridos Padres Raúl y Fernandina por su paciencia y sacrificio día a día durante mi formación académica, sin el cual no hubiese sido posible culminar mis objetivos.*

## **AGRADECIMIENTOS**

- *A mi alma mater Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a mis docentes de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, que me brindaron sus conocimientos y experiencias durante mis estudios.*
- *Un agradecimiento especial a los Docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Agroindustrial por sus enseñanzas y consejos durante mi formación académica en las aulas de la Universidad.*
- *Un agradecimiento especial al Ing. Cronwell ALARCÓN MUNDACA por su valioso tiempo y apoyo en el asesoramiento de esta tesis.*
- *A mis hermanos, amigos y a todos quienes contribuyeron de una u otra forma en mi formación profesional.*

## I. INTRODUCCION

El arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) presenta características muy importantes como, son muy bajos en calorías, tienen un gran contenido de fibra, vitamina C y vitamina K, tienen la capacidad antioxidante más alta de todas las frutas y vegetales que se consumen generalmente, con los flavonoides como principales antioxidantes presentes; el jugo de arándano protege contra el daño al ADN, una causa principal del envejecimiento y el cáncer (Jara, 2012).

La vitamina C es un importante micronutriente relacionado con la biosíntesis de los aminoácidos y la adrenalina, el mantenimiento del colágeno, la desintoxicación del hígado y el papel preventivo frente a varios tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares (Yahia et al., 2001).

Su disponibilidad es reducida significativamente durante el procesamiento de las frutas y hortalizas, por acción de la temperatura, el oxígeno, la luz, la presión, los iones metálicos, los azúcares reductores y el pH (Munyaka et al., 2010).

Estudios cinéticos de la degradación térmica de este compuesto bioactivo en diferentes productos alimentarios revelan que responde a una cinética de primer orden (Torralles et al., 2008).

A pesar de estos estudios, aún no existen investigaciones tendientes a evaluar la cinética de degradación térmica de la vitamina C durante el procesamiento de los frutos de arándano, información de interés en el diseño de nuevos procesos que permitan obtener altos niveles de retención de esta importante vitamina, en consecuencia, el objetivo de este trabajo fue estudiar la cinética de degradación térmica de la vitamina C en jugo concentrado de arándano.

En este trabajo se estudiará el efecto de la temperatura y el tiempo sobre la cinética de degradación térmica de la vitamina C del jugo concentrado de arándano.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

- ✓ Evaluar la cinética de degradación térmica de la vitamina C del jugo concentrado de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.).

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las características fisicoquímicas del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.).
- Evaluar el efecto de las temperaturas de 60, 70 y 80°C y tiempos de 0,4,8,12, y 16 minutos sobre la degradación térmica de la vitamina C del jugo concentrado de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.).
- Determinar los valores cinéticos de degradación térmica de la vitamina C de jugo concentrado de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.).

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

Al estudiar 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. 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  $85 \text{ °C}$  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  $65 \text{ °C}$  a  $85 \text{ °C}$  con valores de 11,23 min y 37,30 min, respectivamente. La energía de activación  $E_a$  fue de 8,57 Kcal / mol. (Mendoza et al., 2015).

Ordóñez et al. (2013), Al evaluar la cinética de degradación térmica de la vitamina C en frutos de guayaba, en un rango de temperaturas de 75 - 95

°C, utilizaron 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 °C durante 10, 20, 30 y 40 minutos) en una marmita enchaquetada a presión atmosférica. Después de los tratamientos térmicos (75 - 95 °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:  $k = 0,80 - 1,45 \text{ min}^{-1}$  ( $R^2 > 0,90$ ), y  $E_a = 7,57 \text{ Kcal/mol}$ , 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.

Ordóñez y Yoshioka (2012) estudiaron la cinética de degradación térmica de la vitamina C en pulpa de mango en un rango de temperatura de 60-80°C. El contenido de vitamina C en las muestras antes y después del tratamiento de calor se determinó por el método del 2,6-diclorofeno-indofenol. La degradación de la vitamina C se ajusta a una cinética de primer orden ( $k = 0,028 - 0,056 \text{ min}^{-1}$ ,  $R^2 > 0,90$ ) y se obtiene un valor de ( $E_a$ ) = 8,13 kcal/mol. Los resultados de esta investigación pueden conducir a mejorar la estabilidad de la vitamina C en los derivados del mango.

## **2.2 Vitamina C o ácido ascórbico**

### **2.2.1 Aspectos generales**

La vitamina C o ácido ascórbico es un micronutriente esencial necesario para el normal funcionamiento metabólico del cuerpo. Es una de las

vitaminas de estructura más sencilla, pues se trata de la lactona de un azúcar-ácido. El ácido ascórbico sólo se precisa en la dieta de unos pocos vertebrados: el hombre, los monos, el cobaya, el murciélago frugívoro de la India y en algunos peces. Es hidrosoluble, termolábil y sensible frente a la oxidación y a los álcalis y iones metálicos. También se han demostrado los efectos benéficos de este antioxidante al reducir el riesgo de enfermedades pulmonares, cardiovasculares y cánceres no hormonales (Bree et al., 2012).

La vitamina C es un antioxidante soluble en agua e importante en los fluidos biológicos, la reserva total en el organismo es de 1500 a 2500 mg. El ácido ascórbico es un potente reductor, pierde con facilidad átomos de hidrógeno y se transforma en ácido dehidroascórbico, que también posee actividad de vitamina C. Sin embargo, la actividad vitamínica se pierde cuando el anillo lactónico del ácido dehidroascórbico se hidroliza para formar ácido dicetogulónico (Fennema, 2010).

Los estudios realizados sugieren que una ingesta diaria de 90-100 mg de vitamina C reduce el riesgo de padecer enfermedades crónicas en hombres y mujeres no fumadores. Una deficiencia de vitamina C produce un debilitamiento de las estructuras de colágeno, causando la pérdida dentaria, acompañado de dolores, desórdenes en el tejido conectivo y en el hueso, y una mala curación de las heridas, las cuales son características del escorbuto. (Carr y Frei, 1999).

La vitamina C funciona como un antioxidante natural que previene los daños en las macromoléculas del cuerpo humano a causa de los radicales libres, además, está relacionada con la síntesis de aminoácidos y de adrenalina, con la producción de colágeno, la desintoxicación del hígado y la prevención de enfermedades cardiovasculares. No obstante, el ácido dehidroascórbico se caracteriza por ser uno de los constituyentes más termosensibles en los alimentos, y su disminución durante el almacenamiento de los productos es ocasionada por la exposición de los constituyentes de estos a condiciones adversas de conservación (Sikorska-Wisniewska y Szumera 2007, Gabriel et al. 2015).

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, 2013).

### **2.2.2 Funciones de la vitamina C**

La vitamina C inhibe el pardeamiento enzimático al reducir los productos ortoquinona, otras funciones son: acción reductora en los acondicionadores

de la masa panaria, protección de ciertos compuestos oxidables (por ejemplo, folatos) mediante efectos reductores y secuestro de radicales libres y de oxígeno, reducción de los iones metálicos. La acción antioxidante de la vitamina C es multifuncional al inhibir la auto oxidación lipídica por varios mecanismos; entre ellos: secuestro del oxígeno singulete, reducción de los radicales libres de oxígeno y de carbono con la formación de un radical menos reactivo, el sernidehidroascorbato o DHAA, oxidación preferencial del ascorbato, con agotamiento concurrente de oxígeno y regeneración de otros antioxidantes, como por reducción del radical tocoferol. La vitamina C es un compuesto muy polar y, por tanto, es insoluble en aceites. Sin embargo, es un antioxidante eficaz cuando se dispersa en aceites y también en emulsiones. Las combinaciones de vitamina C y tocóferol son especialmente activas en sistemas oleosos, mientras que la combinación de alfa tocoferol con el palmitato de ascorbilo lipófilo es más efectiva en las emulsiones aceite en agua (Fennema, 2010)

### **2.2.3 Estructura y características de la vitamina C**

La vitamina C (ácido L-ascórbico) 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 2.1). El DHAA exhibe aproximadamente la misma actividad que el L-ascórbico porque se reduce casi totalmente a

vitamina C en el organismo. En la naturaleza está presente casi exclusivamente en la forma reducida de ácido L-ascórbico (Badui, 2013).

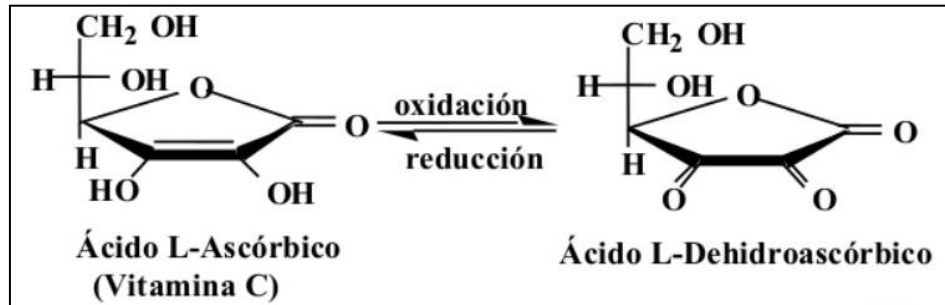


Figura 2.1: Estructura química del ácido L-ascórbico (Vitamina C) y L-dehidroascórbico Fuente: Badui, (2013)

#### 2.2.4 Degradación de la vitamina C

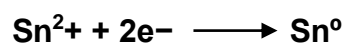
Las pérdidas de vitaminas disminuyen la calidad nutricional de los alimentos, no así su calidad organoléptica. La vitamina más sensible o lábil es el ácido ascórbico o vitamina C, que se pierde fácilmente por parámetros tales como oxidación, interacción con otros metales, temperatura, etc. Por esta razón es considerada como índice de retención de vitaminas. Se han realizado estudios para determinar la cinética de pérdidas de las vitaminas, estableciéndose que sigue una ecuación de primer orden, cuya constante de degradación, está regida por el modelo de Arrhenius (Ordoñez-Santos et al., 2013).

La degradación de la vitamina C es muy importante en jugos y zumos de cítricos, es muy dependiente de pH: en el intervalo 2–3,5 la degradación es inversamente proporcional al pH. La degradación de la vitamina C produce

hasta 17 productos diferentes, por lo que las vías que existen en su degradación son múltiples.

**Condiciones aerobias:** El ácido dehidroascórbico tiene un 80% de actividad vitamina C y se oxida por la luz y en presencia de metales como  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{Cu}^{2+}$ .

**Condiciones anaerobias:** En condiciones anaerobias la vitamina C está en equilibrio con la segunda molécula que aparece. Ocurre en zumos ya envasados. El  $\text{CO}_2$  desprendido es el responsable del abombamiento de los envases de zumos. Se gasta primero el  $\text{O}_2$  de cabeza de bote y luego el del zumo. La estabilidad de los zumos es mayor en latas de hojalata; se debe a que el  $\text{O}_2$  reacciona con la hojalata (la cual tiene Sn y compite con el ácido ascórbico) (Binesh et al., 2005).



Se puede aumentar la estabilidad de los zumos si los hacemos pasar por resinas que retengan los grupos amina libres. En zumos siempre tenemos que evitar la presencia de  $-\text{NH}_2$ .

La destrucción de nutrientes y vitaminas durante el tratamiento térmico reduce el valor nutricional, por lo que es necesario conocer la cinética y el orden de reacción para determinar las condiciones de proceso necesarias para minimizar este efecto.

La degradación de vitamina C y de ácido fólico se ha reportado como una cinética de reacción de primer orden (Binesh et al., 2005).

Para el estudio de la cinética de degradación de la vitamina C en el jugo concentrado de arándanos, es necesario realizar un diseño experimental que facilite la ejecución de este. El diseño del experimento consiste en la determinación de:

- ✓ Las variables que pueden intervenir en el proceso de degradación de la vitamina C
- ✓ El número de corridas experimentales que se van a realizar
- ✓ Los métodos que se van a utilizar
- ✓ Los materiales necesarios
- ✓ La cuantificación de las concentraciones en cada experimento

Todos esto nos llevara a planificar el experimento con el fin de obtener la ecuación y conocer la ecuación de la cinética de degradación de la vitamina C del jugo de la fruta evaluada para su posterior comparación de resultados con la pérdida de vitamina C que ocurre durante el tratamiento térmico aplicado (Munyaka et al., 2010).

### **2.2.5 Factores que afectan la oxidación del ácido ascórbico**

Para estudiar la pérdida de la vitamina C, como una reacción de primer orden, hay que tener en claro que el ácido L-ascórbico tiene una oxidación reversible a ácido dehidroascórbico, y que este último es muy sensible a la acción del calor.

Según Labuza, (1999), los factores que aceleran esta reacción de oxidación son:

- El oxígeno del aire
- La presencia de luz
- Los álcalis

El ácido ascórbico es también fácilmente oxidado por el cloruro férrico, el peróxido de hidrógeno, las quinonas, el yodo, el diclorofenolindofenol y por radiación con luz ultravioleta. Esta oxidación primaria produce el ácido dehidroascórbico (Fennema, 2010).

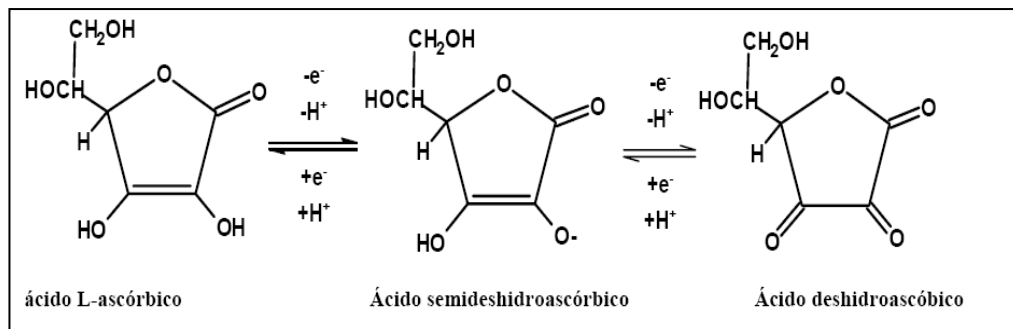


Figura 2.2: Oxidación de ácido L-ascórbico a ácido deshidroascórbico

Fuente: (Belitz, 2012)

En cuanto al efecto de los tratamientos tecnológicos, como el ácido ascórbico es soluble en agua, se pierde fácilmente por lixiviación, a partir de las superficies expuestas por corte o tratamiento. Sin embargo, en los alimentos procesados las pérdidas más importantes se producen por degradación química (Justi *et al*, 2000).

### **2.2.6 Efecto de la temperatura en la degradación de la vitamina C**

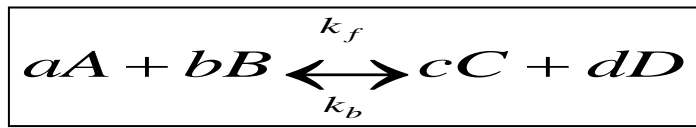
Acevedo et al., (2002) refieren que el procesamiento térmico de alimentos a elevadas temperaturas si bien elimina la posibilidad de daño microbiológico y reduce la actividad enzimática, afecta la calidad del producto, produciendo pérdida de componentes termolábiles y termosensibles responsables de las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos.

Santos y Silva, (2008) indica que 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.

### **2.3 Cinética de las reacciones químicas**

La cinética química involucra el estudio de la velocidad y mecanismos por el cuál una especie química se convierte a otro. La velocidad de una reacción química es determinada por la masa de un producto producida o el reactante consumió por unidad de tiempo. En general, las velocidades de reacciones pueden ser determinadas conociendo la concentración de los reactantes o los productos de las reacciones. El mecanismo de una reacción, por otro lado, es más difícil determinar dado que involucra la secuencia de pasos que producen el resultado global (Man y Jones 1997).

Una forma general del modelo cinético puede obtenerse considerando la reacción química siguiente:



Donde A y B son los reactantes, C y D son los productos, y a, b, c y d son coeficientes estequiométricos para los reactantes y productos.

Una expresión general de la velocidad puede escribirse como sigue para un atributo de calidad **Q**

$$\pm \frac{dQ}{dt} = kQ^n$$

Donde se refiere al valor decreciente o creciente del atributo **Q**, **k** es la pseudo constante de velocidad hacia adelante, **n** es el orden de reacción observado. Se asume que los factores medioambientales como la temperatura, humedad y luz y las concentraciones de otros componentes se mantienen constante.

La misma ecuación puede replantearse más específicamente para un atributo de calidad que está disminuyendo con respecto al tiempo y siguiendo un "enésimo" orden de reacción,

$$-\frac{dQ}{dt} = kQ^n$$

### 2.3.1 Orden de reacción

Brown, (2004) precisa que 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 de la sustancia que se analice.

Man y Jones (1997), refieren que es sumamente complejo la de reconocer un sistema alimentario con respecto a las pérdidas de calidad que es representada por la pérdida de un factor deseable de calidad A (ejemplo, el sabor) o el aumento de un factor indeseable B (ejemplo, valor de peróxido). Las velocidades de pérdida de A,  $r_A$  y de formación de B,  $r_B$ , es dado por las ecuaciones siguientes:

$$r_A = \frac{-d[A]}{dt} = k [A]^n$$

$$r_B = \frac{d[B]}{dt} = k' [A]^{n'}$$

El factor [A] y [B] pueden medirse como un parámetro químico, físico, microbiológico o sensorial.  $k$  y  $k'$  son las constantes de velocidad de reacción y  $n$  y  $n'$  las órdenes de la reacción. Las ecuaciones de velocidad que permiten resolver analíticamente la expresión de la concentración de A o B están en función del tiempo.

#### 2.3.1.1 Reacción de orden cero

Labuza (1984) refiere que, 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. La ecuación cinética de orden cero queda expresada de la siguiente manera:

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

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.

### **2.3.1.2 Reacción de primer orden**

Labuza (1984) precisa que 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 de este. La ecuación cinética de primero orden queda expresada de la siguiente manera:

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

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.

### 2.3.1.3 Reacción de segundo orden

Las ecuaciones 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 (Van Boekel y Martinus, 2009)

La expresión de la ecuación de segundo orden es la siguiente:

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

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.

### **2.3.2 Ecuación de Arrhenius**

Casp y Abril, (2003) refieren que 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.

Ibarz, *et al* (2000) precisan que la cinética química es la parte de la fisicoquímica que estudia las velocidades de reacción. El concepto de cinética química se aplica en muchas disciplinas, tales como la ingeniería química, enzimología e ingeniería ambiental. La velocidad de reacción es siempre positiva. Afirman que generalmente, al llevar a cabo una reacción a una temperatura más alta provee más energía al sistema, por lo que se incrementa la velocidad de reacción al ocasionar que haya más colisiones entre partículas, como lo explica la teoría de colisiones. Sin embargo, la principal razón porque un aumento de temperatura aumenta la velocidad de reacción es que hay un mayor número de partículas en colisión que tienen la energía de activación necesaria para que suceda la reacción, resultando en más colisiones exitosas. La influencia de la temperatura está descrita por la ecuación de 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. 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:

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

Donde  $k_0$  es el factor pre-exponencial,  $E_a$  es la energía de activación,  $R$  es la constante de los gases (1,987 cal/K mol) y  $T$  es la temperatura absoluta en k.

### 2.3.2.1 Interpretación gráfica del modelo de Arrhenius

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

$$\ln(k) = \ln(k_0) - \frac{E_a}{R} \left[ \frac{1}{T} \right]$$

Un gráfico de Arrhenius muestra el logaritmo de las constantes cinéticas ( $\ln(k)$  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 preexponencial. Cuando se grafica de la forma descrita anteriormente, el valor de la intersección en el eje y

corresponderá a  $\ln(k_0)$ , y la pendiente de la línea será igual a  $-E_a/R$ . El factor preexponencial,  $k_0$ , 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  $e^{-E_a/RT}$  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.

### **2.3.3 Velocidad de reacción**

Harvey, (2002) refiere que la variación del valor de una propiedad por unidad de tiempo; la velocidad de una reacción es la variación de concentración por unidad de tiempo.

Según Harris (1973) lo que se observa 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.

Esta relación se muestra en la figura 2.3.

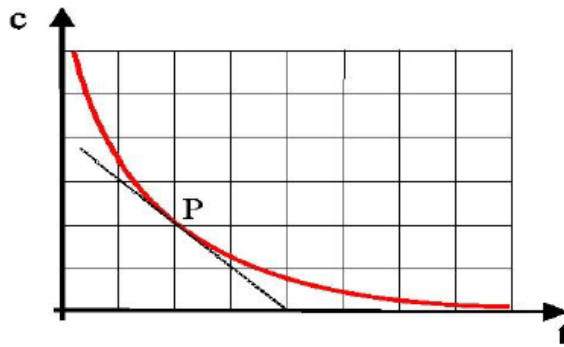


Figura 2.3: Relación entre la concentración en función al tiempo para una determinada reacción química

Fuente: Harris (1973)

#### 2.3.4 Tiempo de vida media ( $t_{1/2}$ )

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  $[B]$  (Vidaurre, 2014).

El tiempo de vida media ( $t_{1/2}$ ), está dado por:

$$t_{1/2} = \ln 2 / K_1$$

De esta expresión, deducimos que el tiempo de vida media es, en este caso, independiente de la concentración inicial. Por otra parte, se evidencia que la constante de velocidad específica tiene dimensiones de  $(\text{tiempo})^{-1}$  y también es independiente de la concentración inicial.

### 2.3.5 Tiempo de reducción decimal (D)

Según Cheftel J y Cheftel H (1998), es el tiempo de reducción decimal o el tiempo necesario para destruir el 90% de los microorganismos. Numéricamente es igual al número de minutos necesarios para que la curva de destrucción atraviese un ciclo logarítmico; ósea mide la rapidez con que un organismo muere o también la rapidez que un nutriente se destruye.

En tanto Fellows (1994), precisa al valor D como el tiempo de calentamiento a la temperatura constante T, necesario para reducir o degradar 10 veces (90%) el número de microorganismos o un factor de calidad. Asimismo, menciona que existirá una variación logarítmica de la concentración de un nutriente, factor de calidad o contenido de microorganismo, en función del tiempo para una temperatura determinada, donde  $D = -2,3/K$ .

### 2.3.6 Coeficiente de temperatura $Q_{10}$

Kilcast y Subramaniam, (2011) refieren que 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 "Q10" el cual se define como: La variación de la velocidad de reacción cada 10 °C.

La siguiente ecuación expresa el valor  $Q_{10}$  (Man y Jones, 1997)

$$Q_{10} = \left( \frac{K_2}{K_1} \right)^{10/(T_2 - T_1)}$$

Donde:

T es la temperatura (°C),

k es la constante de velocidad de reacción.

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.  $Q_{10}$  es una cantidad sin unidades, ya que es el factor que expresa la variación de una tasa, y es una manera útil de expresar la dependencia de la temperatura que tiene un proceso determinado (Labuza, 1984).

## **2.4 El Arándano (*Vaccinium corymbosum* L.)**

### **2.4.1 Aspectos generales**

*Vaccinium* es un género de arbustos que incluye a todas las especies llamadas arándanos. Este género contiene alrededor de 450 especies incluyendo la especie *Corymbosum* la cual es conocida comercialmente como el arándano azul, Mirtilos o “Blueberry”. El arándano alto es un arbusto perenne, longevo, de hoja caduca con madera leñosa que alcanza una altura de 3 a 5 m en estado adulto, y sus tallos pueden tener una actividad

productiva de 4 a 5 años, cuyo nombre científico es *Vaccinium corymbosum*. El fruto del arándano conforma el grupo de las frutas denominadas comercialmente en el ámbito internacional como berries, entre las que además se encuentran la frutilla, frambuesa (roja, negra, púrpura y amarilla), grosella, mora, baby kiwi, cranberry, etc. El fruto del arándano es una baya casi esférica de 7 a 15 mm. De color azul claro a oscuro; que contiene pequeñas semillas y presenta un sabor agrídulce muy característico (Zapata, 2014).

El arándano es una baya esférica que debe cumplir con ciertos atributos de calidad como: color de azul claro a negro azulado, epidermis provista de secreción cerosa llamada “pruina”, calibre mínimo de 0,7 a 1,5 cm y una adecuada firmeza, además de presentar una cicatriz pequeña y seca después de desprender el pedúnculo al cosechar. La producción que no cumple con estos parámetros de calidad se destina generalmente a la obtención de zumo clarificado concentrado, por lo que se hace necesario buscar alternativas tecnológicas que permitan dar un mayor valor añadido a este excedente (Jara, 2012).

El arándano es una baya originaria de América del Norte, donde crece en forma silvestre. Generalmente se cultivan dos tipos de arándano: Lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium*) que comprende las especies más pequeñas y Highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*) que abarca los arbustos más grandes, dentro de los cuales se encuentran muchas variedades comerciales (Benavides, 2013)



Figura 2.4: El fruto de arándano

Fuente: Zapata (2014)

### 2.4.2 Taxonomía

El arándano es un arbusto que pertenece a la familia de las Ericáceas, género *Vaccinium*. En la tabla 2.1 se presenta la clasificación taxonómica del arándano

Tabla 2.1: Clasificación taxonómica del arándano

<b>Reyno</b>	: Plantae
<b>División</b>	: Magnoliophyta
<b>Clase</b>	: Magnoliopsida
<b>Orden</b>	: Ericales
<b>Familia</b>	: Ericaceae
<b>Subfamilia</b>	: Vaccinioideae
<b>Género</b>	: <i>Vaccinium</i>
<b>Especie</b>	<i>Vaccinium corymbosum</i> L.

Fuente: Vilches (2005)

### 2.4.3 Variedades

Pino, (2007) refiere que el género *Vaccinium* está compuesto por más de 30 especies, pero solo un pequeño grupo tiene importancia comercial. Algunas especies que pertenecen a este grupo son “arándano alto” (*Vaccinium corymbosum* L.), “arándano ojo de conejo” (*Vaccinium virgatum* Ait., ex *V. ashei* Reade), “arándano bajo” (*Vaccinium angustifolium* Ait.), “arándano europeo” (*Vaccinium myrtillus* L.) y “arándana” (*Vaccinium macrocarpon*).

Jara, (2012) precisa que el “arándano alto” ha sido la primera especie que se introdujo al cultivo, y fue sometida a sucesivos procesos de selección por lo cual existen, actualmente, más de 50 variedades mejoradas, generadas principalmente en Estados Unidos. Dentro de especie de “arándano alto” existen variedades con diferentes requerimientos de temperaturas: Northern highbush (temperaturas bajas) y Southern highbush (temperaturas altas).

Vilches, (2005) refiere que los arándanos cultivados se diferencian básicamente en su comportamiento con respecto al frío, la necesidad de horas frío (H.F.) para levantar su latencia invernal, su resistencia a las bajas temperaturas tanto a las heladas invernales (en climas fríos) como a las primaverales (en zonas tardías o cálidas). Las variedades comerciales son el resultado de programas de mejoras.

Según Coria et al., (2008) todos los arándanos pueden ubicarse en las categorías descritas en la tabla 2.2.

Tabla 2.2: Variedades comerciales de arándanos

Especies	Nombre común	Requerimiento frío
<i>V. Corymbosum</i> L.	Arándanos Altos del Norte (Highbush)	800-1000 H.F.
<i>V. Corymbosum</i> L. y <i>V. darrowi</i>	Arándanos Altos del Sur	200-400 H.F. (a veces 600 H.F.)
<i>V. angustifolium</i> y <i>V. myrtilloides</i>	Arándanos Bajos	Requerimiento menos en H.F.
<i>V. vigratum</i> y <i>Vashei Reade</i>	Arándanos Ojo de Conejo (Rabbiteye)	400-800 H.F.
<i>V. Corymbosum</i> L. y <i>V. Angustifolium</i>	Arándanos Medios-Altos	Requerimientos menores de frío

Fuente: Coria et al., (2008)

Sandoval (2015) refiere que el Perú cuenta con un potencial probado para la producción temprana, pero falta investigación respecto al comportamiento de las variedades en los distintos climas, aun así, hay una limitante en la disponibilidad de variedades. Teniendo en cuenta que la variedad "Biloxi" es una buena alternativa complementaria, que se debe seguir probando, por lo que existen muchos centros que están desarrollando variedades tempranas.

Entre las variedades de arándano tenemos:

**"O'neal"** es de bajo vigor y productividad, post cosecha regular.

**"Misty"** es de vigor medio, tiende a sobre producir, calibre irregular, sensible a enfermedades de suelo y madera.

**"Legacy"** es vigorosa, fruta de muy buena calidad. Se comporta de manera muy distinta en diferentes lugares.

**"Biloxi"** produce fruta en brotes del mismo año. Algo totalmente inusual, vigorosa, larga floración, útil para cultivos siempre verdes.

**"Briggita"** es vigorosa, fruta de muy buena calidad, en firmeza, apariencia y sabor. Muy productiva.

**"Star"** su cosecha es concentrada, fruta grande, muy buena calidad, poco sabor, rendimientos variables.

**"Jewel"** es más productiva y vigorosa que Star, fruta de buena calidad, pero tiende a ablandarse.

**"Emerald"** es una fruta muy grande y muy firme de 18-20 mm. Es la más vigorosa de todas las variedades.

**"Primadonna"** es firme, su productividad media está entre Star y Emerald. Fruto grande y de buena calidad en apariencia y sabor.

**"Scintilla"** es de tamaño grande, buen color, sabor y muy firme. Es vigorosa, fruta azul claro, buen balance entre dulzor y acidez.

**"Ventura"** es productiva, vigorosa, fruta azul claro, buen balance entre dulzor y acidez.

**"Corona"** es vigorosa y productiva, frutos firmes, muy grandes y de buen sabor.

#### **2.4.4 Composición química y usos**

En la Tabla 2.3 se muestra la composición química del arándano según Nunes (2008). Estas bayas tienen pocas calorías y muy bajo contenido en grasas y sodio, mientras que poseen un alto contenido en fibra dietética y son ricas en minerales como potasio, manganeso y magnesio. Además, son una fuente de vitaminas y antioxidantes naturales, tales como compuestos fenólicos y antocianinas (Nunes et al., 2004).

Coria et al., (2008) indica que el arándano se cultiva en todos los continentes, siendo su centro de producción los Estados Unidos y Canadá. El 60% de la producción se destina a la industria, en la elaboración de dulces, pasteles, helados y yogures; sin embargo, año tras año se descubren nuevos usos.

Tabla 2.3: Composición química del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.)

(En 100 gramos de parte comestible)

<b>Componente</b>	<b>Valor</b>
Energía (kcal)	55
Humedad (g)	82-85
Proteína (g)	0,7
Carbohidratos (g)	14,0
Fibra (g)	1,3
Grasas (g)	0,37
Calcio (mg)	6
Fósforo (mg)	15,00
Hierro (mg)	0,16
Tiamina (mg)	0,05
Niacina (mg)	0,35
Riboflavina (mg)	0,05
Vitamina B <sub>6</sub> (mg)	0,03
Ácido fólico (mg)	6,2
Ácido ascórbico (mg)	13,00

Fuente: Nunes et al., (2004)

El arándano, pertenece a la familia de los berries y presenta altas perspectivas de crecimiento en el mercado internacional, debido a sus características nutricionales, pues contiene una gran cantidad de antioxidantes. Este fruto pertenece a la familia de los berries, cuyo mercado es altamente competitivo y se enfoca en lograr un abastecimiento global durante todo el año. Este mercado es versátil, los berries pueden ser utilizados no sólo como frutas frescas, sino también como productos secos, extractos, alimentos procesados (helados, postres, dulces), jugos y bebidas, aceites e ingredientes para productos altamente especializados (Benavides, 2013).

#### **2.4.5 Índice de madurez y cosecha de arándanos**

El arándano presenta una curva de producción que alcanza su plenitud a partir del séptimo año de cultivo, utilizando material vegetal de 2 años en el momento de su plantación. Hasta los 5 años, el arándano llega a un 60% de su producción. Una vez que el cultivo alcanza su capacidad de máxima producción, se mantiene prácticamente constante hasta unos años antes del final de su vida productiva, que puede ser de los 20 a 30 años (Núñez et al., 2005).

El fruto de arándano alcanza su madurez 60 a 80 días después de la floración dependiendo del cultivar y de la temperatura del lugar. Se originan 5 a 10 bayas en cada racimo los cuales maduran progresivamente durante

varias semanas (Pino, 2007). La cosecha se realiza selectivamente sobre la base del tamaño e índice de madurez de la fruta (Colima, 2010).

Por lo general la cosecha de arándanos se basa en el color de la superficie de la fruta que debe ser 100% azul en su recubrimiento, sin embargo, se pueden utilizar como indicadores el nivel de sólidos solubles y la acidez titulable. La cosecha debe comenzarse tan temprano como se pueda después que la humedad condensada en la superficie de los frutos haya desaparecido. La fruta en estado maduro presenta una serosidad (pruina) que no debería ser removida, lo que implica cierto cuidado en la recolección (Colima, 2010).

#### **2.4.6 Antioxidantes en arándanos**

Las antocianinas son pigmentos-antioxidantes que están constituidas por una aglicona o antocianidina; la que en su estado natural está glicosidada por uno o más azúcares. Las diferencias en la estructura de la aglicona se deben al número de grupos hidroxilo y al grado de metilación de estos grupos (Aguilera et al., 2011).

Las antocianinas, que le confieren el color azul al fruto, intervienen en el metabolismo celular humano disminuyendo la acción de los radicales libres, asociados al envejecimiento, cáncer, enfermedades cardíacas y Alzheimer. La identificación y cuantificación de estos compuestos serviría de base para nuevos estudios y su posterior aplicación en la industria alimenticia (Coria et al., 2008).

## **2.5 Jugos de frutas**

Es el líquido sin fermentar, pero fermentable, que se obtiene de la parte comestible de frutas en buen estado, debidamente maduras y frescas o frutas que se han mantenido en buen estado por procedimientos adecuados, inclusive por tratamientos de superficie aplicados después de la cosecha de conformidad con las disposiciones pertinentes de la Comisión del Código Alimentario.

Algunos zumos (jugos) podrán elaborarse junto con sus pepitas, semillas y pieles, que normalmente no se incorporan al zumo (jugo), aunque serán aceptables algunas partes o componentes de pepitas, semillas y pieles que no puedan eliminarse mediante las Buenas Prácticas de Fabricación (BPF).

Los zumos (jugos) se preparan mediante procedimientos adecuados que mantienen las características físicas, químicas, organolépticas y nutricionales esenciales de los zumos (jugos) de la fruta de que proceden.

Podrán ser turbios o claros y podrán contener componentes restablecidos:

1. De sustancias aromáticas y aromatizantes volátiles, elementos todos ellos que deberán obtenerse por procedimientos físicos adecuados y que deberán proceder del mismo tipo de fruta. Podrán añadirse pulpa y células
2. Obtenidas por procedimientos físicos adecuados del mismo tipo de fruta.

Un zumo (jugo) de un solo tipo es el que se obtiene de un solo tipo de fruta.

Un zumo (jugo) mixto es el que se obtiene mezclando dos o más zumos

(jugos), o zumos (jugos) y purés de diferentes tipos de frutas (CODEX STAN 247-2005).

## **2.6 Jugo de fruta concentrado**

Es el producto que se ajusta a la definición de zumos, salvo que se ha eliminado físicamente el agua en una cantidad suficiente para elevar el nivel de grados Brix al menos en un 50% más que el valor °Brix establecido para el zumo (jugo) reconstituido de la misma fruta. En la producción de zumo (jugo) destinado a la elaboración de concentrados se utilizan procedimientos adecuados, que pueden combinarse con la difusión simultánea con agua de pulpa y células y/o el orujo de fruta, siempre que los sólidos solubles de fruta extraídos con agua se añadan al zumo (jugo) primario en la línea de producción antes de proceder a la concentración. Los concentrados de zumos (jugos) de fruta podrán contener componentes restablecidos (CODEX STAN 247-2005).

## **2.7 Pasteurización de jugos de frutas**

Los propósitos de los tratamientos suaves por calor son: eliminar los microorganismos patógenos, reducir el recuento microbiano (aunque el alimento no será estéril) e inactivar las enzimas del alimento, proporcionar las mínimas pérdidas de aroma, sabor, textura y calidad nutritiva. Sin embargo, también tiene inconvenientes, pues el producto resultante tiene una corta vida media y necesita de otro método de conservación (como la refrigeración o la congelación) (Vaclavik, 1998).

La pasteurización es el método de conservación que sólo conduce a una destrucción selectiva de la población microbiana patógena. Hay dos grandes grupos de tecnologías de pasteurización:

- ✓ Empleo de bajas temperaturas (60-65°C) y tiempos bastante largos.
- ✓ Empleo de altas temperaturas (75-90°C) y tiempos cortos.

Es normal que la pasteurización se acompañe de procedimientos que garanticen la buena conservación: envases herméticamente cerrados, envasado a vacío, refrigeración hasta su consumo, adición de agentes acidulantes, adición de azúcares concentrados, etc. (Bello, 2000). Actualmente, el zumo se somete a temperaturas entre los 90-95°C durante 15-60 segundos y éste se envasa asépticamente en caliente, se enfría y se almacena para su comercialización (Cano *et al.*, 2003).

Estudios recientes del efecto que ejerce el calor sobre la calidad de varios tipos de frutas y vegetales, han indicado una relativa pérdida del contenido total de vitamina A por disminución de algunos carotenos presentes. Esta reducción se ha estimado en un 36% (Lessin *et al.*, 1997).

## **2.8 Espectrofotometría**

### **2.8.1 Aspectos generales**

La espectroscopia estudia las interacciones de la radiación con la materia. Los métodos analíticos espectroscópicos se fundamentan en medir la cantidad de radiación que producen o absorben las especies moleculares o atómicas de interés. Se clasifican según el espectro electromagnético

utilizado para la medida, abarcando los rayos gamma, los rayos X, la radiación ultravioleta (UV) y visible, la radiación infrarroja, las microondas y las radiofrecuencias. La radiación electromagnética es una forma de energía que se transmite por el espacio a enorme velocidad; se denomina luz a la radiación electromagnética en las regiones del UV/Vis (Skoog et al., 2005).

Morcillo y Orza, (1972) refieren que un espectro de absorción es la representación gráfica de la distribución de intensidad de la radiación electromagnética absorbida por una muestra de sustancia, en función de la longitud de onda de dicha radiación.

Se pueden distinguir los siguientes tipos de espectros:

- ✓ Espectro de emisión
- ✓ Espectro de absorción

En los átomos los electrones ocupan estados o niveles de unos determinados valores energéticos. La emisión de luz está causada por el electrón que cae de un nivel de energía elevado ( $E_a$ ) a uno más bajo ( $E_b$ ), un fotón es emitido cuando se lleva a cabo una transición de un estado de mayor nivel de energía a uno inferior.

### **2.8.2 Principio de la espectrofotometría**

Aun cuando la mayoría de los métodos cuantitativos usados en espectrofotometría se basan en la ley de Lambert-Beer, la elección del método de análisis depende del tipo de interferencia y complejidad que se presente en la muestra a analizar. En el caso de no existir interferencia, el análisis cuantitativo se realiza con métodos basados en la medición de

absorbancia en una o varias longitudes de onda; sin embargo, las muestras libres de interferencia raramente se encuentran en el análisis de aguas residuales. La superposición de espectros de las diferentes sustancias que componen la muestra hace inadecuado el uso de un sistema de medición basado en la lectura de una sola longitud de onda. En este caso el sistema de calibración univariable se vuelve deficiente y, para este tipo de análisis, se han desarrollado métodos cuantitativos más robustos. Para el caso ideal (sin interferencias), para la cuantificación de una solución con un solo analito es suficiente una simple curva de calibración en una sola longitud de onda. En el caso de encontrarse dos analitos en la misma solución se buscan dos longitudes de onda diferentes de tal manera que la medición de un analito no interfiera con la medición del otro. En este caso es necesaria la creación de una curva de calibración para cada uno de los analitos; el método anterior podría extenderse para  $n$  componentes siguiendo el mismo razonamiento. Sin embargo, la exactitud disminuye conforme aumenta el número de componentes involucrados y por ello es preferible el uso de técnicas de análisis multicomponentes para la cuantificación de los  $n$  analitos (Thomas y Cerda, 2007).

La función básica de un espectrofotómetro UV/VIS es la de medir la absorbancia o transmitancia. Los espectros de una molécula que contiene cromóforos son complejos, debido a que se superponen las transiciones rotacionales y vibracionales con las transiciones electrónicas, dando como resultado líneas superpuestas. Finalmente, estas aparecen como una banda continua de absorción. (Settle, 1997).

### 2.8.3 Transmitancia y absorción de las radiaciones

Al hacer pasar una cantidad de fotones o de radiaciones, según la ley de Lambert y Beer, hay una pérdida que se expresa con la ecuación:

$$\frac{I_t}{I_o} = T^{-kdc}$$

Donde  $I_t$ , es la intensidad de luz que sale de la cubeta y que va a llegar a la celda fotoeléctrica (llamada radiación o intensidad transmitida); y  $I_o$  que es la que intensidad con la que sale al atravesar la celda (radiación intensidad incidente) y la relación entre ambas (T) es la transmitancia.

En el exponente, el signo negativo se debe a que la energía radiante decrece a medida que el recorrido aumenta. Donde k es la capacidad de la muestra para la captación del haz del campo electromagnético, d es la longitud de la cubeta de espectrofotometría que recorre la radiación, y c es la concentración del soluto en la muestra ya ubicada en la cubeta (Settle, 1997).

#### La ecuación simplificada de la ley de Lambert- Beer

$$A = \epsilon.l.c$$

Comprende a la *mínima* ecuación que relaciona la concentración (c), la absorbancia de la muestra (A), el espesor recorrido por la radiación (l) y el factor de calibración ( $\epsilon$ ). El factor de calibración relaciona la concentración y la absorbancia de los estándares.

La absorción (o absorbancia) es igual a A, y es el logaritmo del recíproco de la transmitancia.

$$A = \log \frac{1}{T}$$

Las ecuaciones mencionadas de las leyes son válidas solo y solo si:

- ✓ La radiación incidente es monocromática.
- ✓ Las especies actúan independientemente unas de otras durante la absorción.
- ✓ La absorción ocurre en un volumen de sección transversal uniforme (Settle, 1997).

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Biotecnología Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, se desarrolló de setiembre del 2017 a enero del 2018.

#### **3.1 Materiales**

##### **3.1.1 Materia prima**

Para evaluar la degradación térmica de la vitamina C se utilizó como materia prima, arándanos variedad “emerald” proveniente de la ciudad de Ica, adquirida en el mercado Nery García Zárate de la ciudad de Ayacucho.

Para realizar la experimentación, los frutos de arándano fueron seleccionados de tamaño adecuado y uniforme, libres de daños mecánicos y/o fitopatológicos.



Figura 3.1: Arándanos, utilizadas en la investigación

### 3.1.2 Materiales de envase

- ✓ Recipientes de vidrio  
Marca: VINSA  
Capacidad: 231 mL

### 3.1.3 Reactivos

- Ácido ascórbico p.a.
- Ácido bórico al 4%
- Ácido oxálico p.a.
- Hidróxido de sodio p.a.
- 2-6 Diclorofenolindofenol p.a.
- Fenolftaleína al 1%
- Agua destilada

### **3.1.4 Materiales de laboratorio y otros**

- Fiolas de 25 mL, 50 mL, 100 mL y 1 L.
- Matraces erlenmeyer de 100, 250, 500 y 1000 mL.
- Vasos de precipitación de 50, 100, 250 y 500 mL.
- Pipetas de 1, 5 y 10 mL.
- Probetas de 50, 100 y 250 mL.
- Pinzas, espátulas, papel filtro, cuchillos
- Tubos de ensayo de con gradilla

### **3.2 Equipos e instrumentos**

Los equipos e instrumentos utilizados en esta investigación fueron:

- ✓ Balanza Analítica, Marca AND HR 200, precisión  $\pm 10$  mg
- ✓ Rotavapor, marca BUCHI
- ✓ Espectrofotómetro, Marca: LABOMED, UV-visible
- ✓ pH - Metro: Marca: THERMO SCIENTIFICS
- ✓ Refractómetro 0-32° brix, Marca: RELES
- ✓ Licuadora doméstica, marca OSTER

### **3.3 Metodología experimental**

#### **3.3.1 Muestreo, caracterización física y fisicoquímica de la materia prima**

Se utilizó un plan de muestreo completamente aleatorizado de frutos, cada muestra conformada por 8 unidades se empleó para realizar la caracterización física y fisicoquímica con tres repeticiones. Para conformar este plan de muestreo, previamente se realizó un proceso de selección a partir de la adquisición de un lote de arándanos, con la finalidad de obtener

una muestra homogénea, basada en el criterio del descarte de frutos con daños por insectos plagas, físicos y con daños por hongos o bacterias (pudriciones).



Figura 3.2: Caracterización física del arándano



Figura 3.3: Caracterización fisicoquímica del arándano

### 3.3.2 Métodos de análisis en las muestras

Los diferentes análisis realizados en las muestras estudiadas fueron:

✓ **Sólidos solubles (° brix)**

La determinación del contenido de sólidos solubles se realizó con un refractómetro, haciendo la lectura de °brix directamente del instrumento (AOAC, 2015).



Figura 3.4: Determinación de °brix de arándano

✓ **Determinación del pH**

El pH se determinó con un potenciómetro digital, por inmersión del electrodo en la pulpa previa calibración con solución buffer de pH 4 y 7 a 25° C (AOAC, 2015).



Figura 3.5: Determinación del pH de jugo de arándano

✓ **Determinación de acidez titulable**

Se determinó la acidez titulable mediante valoración potenciométrica con hidróxido de sodio hasta cuando aparece una coloración rosada en el jugo de arándano a valorar, utilizando fenolftaleína. El resultado se expresó en miligramos de ácido cítrico por cada 100 gramos de pulpa (AOAC, 2015).



Figura 3.6: Determinación de acidez titulable de jugo de arándano

✓ **Determinación de vitamina C**

Para la determinación de la vitamina C, se empleó el método espectrofotométrico propuesto por el departamento de Agricultura de Canadá, basado en la reducción del colorante 2-6 Diclorofenolindofenol por efecto de la solución del ácido ascórbico en ácido oxálico (Nielsen, 2008).

La metodología se muestra en el anexo 1.



Figura 3.7: Determinación de vitamina C en jugo de arándano

### **3.3.3 Diseño metodológico para la obtención de jugo de arándano concentrado**

La metodología para obtener jugo de arándano concentrado se muestra en la figura 3.9. Las muestras de arándanos adquiridas se seleccionaron en base a criterios de homogeneidad y a los parámetros de calidad, eliminándose aquellas que presentaron daños mecánicos, sobremadurez y con algún síntoma de contaminación microbiana, luego fueron lavados empleando un desinfectante comercial (hipoclorito de sodio 20 ppm), luego fueron escaldadas a 65°C por 5 minutos, método recomendado por Kechinski et al., (2010), quedando lista para el proceso de extracción del jugo los cuales se obtuvieron de forma manual con la ayuda de una licuadora doméstica y que después se refinó, a fin de separar los sólidos groseros de la fruta. Luego se concentró el jugo con un Rotavapor hasta 30° Brix. La pulpa concentrada fue tratada a diferentes temperaturas de proceso (60°C, 70°C, y 80°C) por tiempos de 4, 8, 12 y 16 minutos.

A partir de estas muestras tratadas a diferentes temperaturas por tiempos diferentes, se utilizaron alícuotas a fin de realizar los análisis respectivos de vitamina C.



Figura 3.8: Concentración de jugo de arándano con el Rotavapor

#### **3.3.4 Determinación del orden de reacción y la constante de velocidad**

El orden de reacción y las constantes de velocidad de degradación de vitamina C del jugo concentrado de arándano se determinaron mediante un análisis de regresión lineal simple a partir de las concentraciones obtenidas de vitamina C de las temperaturas de escaldado y el tiempo empleado.

Los valores de las constantes de degradación se establecieron determinando la pendiente de degradación de vitamina C a las diferentes temperaturas aplicadas.

#### **3.3.5 Determinación de la energía de activación**

Para ello se realizó un análisis de regresión lineal simple a partir de los logaritmos de las constantes determinadas versus la inversa de las temperaturas convertidas en Kelvin, se determinó la pendiente lo cual representa la Energía de Activación.

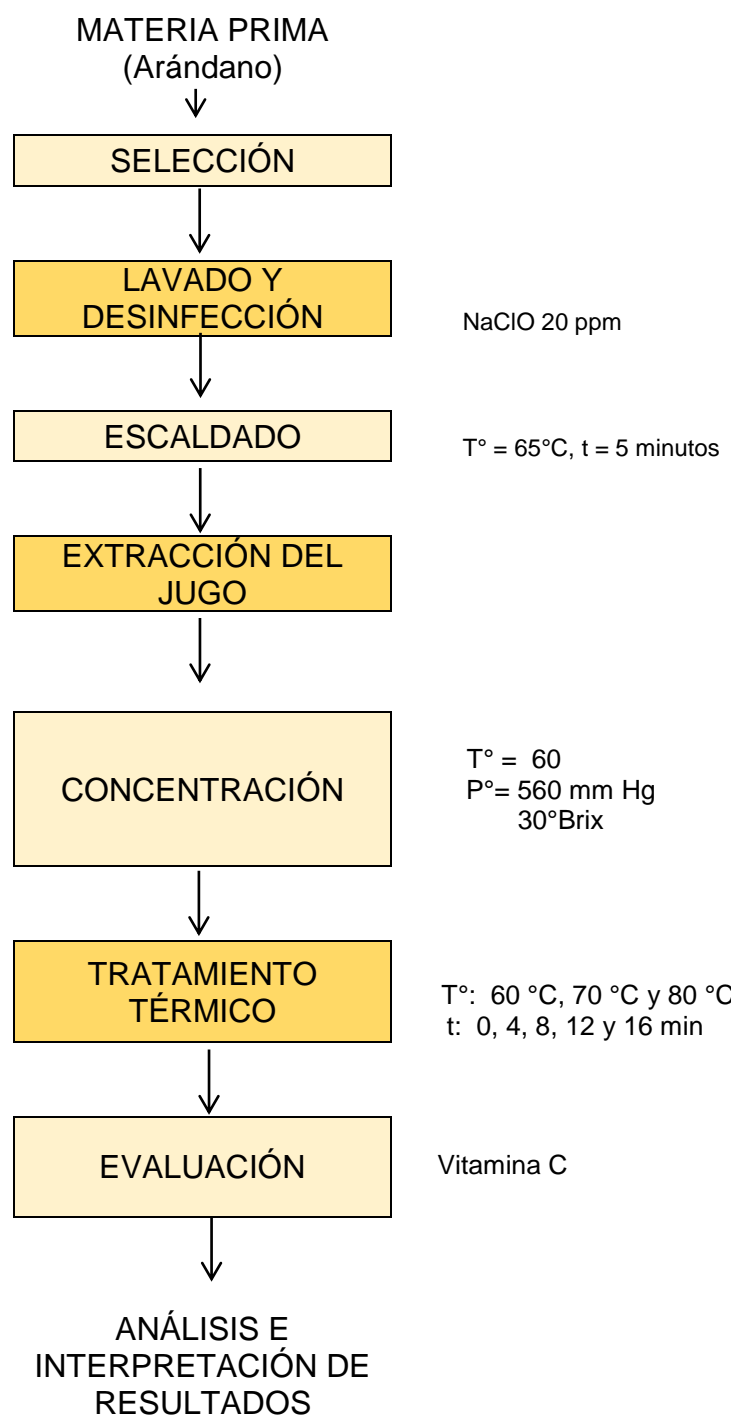


Figura 3.9: Diseño metodológico planteado en el trabajo de investigación

### 3.3.6 Determinación de los valores cinéticos de degradación térmica del jugo concentrado de arándano

Para determinar los parámetros cinéticos de degradación de la vitamina C se emplearon las ecuaciones 1, 2, 3, 4 y 5 (Ordóñez & Yoshioka, 2012):

$$\text{Cinética de orden cero: } C = C_0 + (-K_0) t \quad (1)$$

$$\text{Cinética de primer orden: } C = C_0 \exp(-K_1) t \quad (2)$$

$$\text{Tiempo de vida media } t_{1/2} = \ln 2 / K_1 \quad (3)$$

$$\text{Tiempo de reducción decimal } D = \ln 10 / K_1 \quad (4)$$

$$\text{Ecuación de Arrhenius } K = A_0 e^{-E_a/RT} \quad (5)$$

Dónde: C corresponde a la concentración de vitamina C,  $k_0$  y  $k_1$  son las constantes de velocidad de degradación, t es el tiempo de proceso,  $t_{1/2}$  es el tiempo de vida media, D es el tiempo de reducción decimal,  $E_a$  es la energía de activación, R (1,98717 cal/mol), T es la temperatura absoluta en grados kelvin Y también las descritas por Toledo (1999).

$$Q_{10} = \left(\frac{k_2}{k_1}\right)^{\frac{10}{T_2 - T_1}}$$

$$z = \frac{10 \ln(10)}{\ln Q_{10}}$$

Dónde:  $k$  = velocidad constante de reacción expresada en  $\text{min}^{-1}$ ;  $T$  = temperatura absoluta en grados kelvin ( $^{\circ}\text{K}$ );  $Q_{10}$  = cambio de la constante de velocidad de una reacción al aumentar la temperatura en  $10^{\circ}\text{C}$ ;  $z$  = constante de resistencia térmica. Los datos cinéticos fueron analizados mediante el análisis de regresión, utilizando MS Excel 2016.

### 3.4 Diseño estadístico

El diseño estadístico utilizado fue el completamente randomizado con arreglo factorial de dos variables (temperatura de proceso y tiempo de tratamiento), para evaluar los dos factores de manera simultánea con tres repeticiones, permitiendo hacer comparaciones entre los niveles de cada factor mencionado; cuyos resultados se evaluarán mediante el modelo estadístico siguiente:

$$Y_{ij} = U + C_i + \theta_j + (C \cdot \theta)_{ij} + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Observación Individual

$U$  = Media General

$C_i$  = temperatura de proceso

$\theta_j$  = tiempo de tratamiento

$E_{ij}$  = Efecto del error experimental

El análisis de varianza (ANVA) se desarrolló para estudiar las diferencias de los tratamientos utilizados, posteriormente se realizó la prueba de comparación de Tukey. Se utilizó un nivel de significación de 5%. Se empleó el software Desing expert v7.0.

Teniendo como variables las siguientes:

**Variable Independiente:**

Temperatura de proceso (60°C, 70°C y 80°C), y

Tiempos de tratamiento (0, 4, 8, 12 y 16 minutos)

- **Variable respuesta:** Vitamina C

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Características físicas del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), variedad emerald

Se evaluaron 8 unidades de los frutos de arándano debidamente seleccionados en base a tamaño, forma, color e índice de madurez; presentando características físicas homogéneas, mediante rangos de pesos, pesos específicos y diámetros las que son mostrados en la tabla 4.1.



Figura 4.1: Frutos de arándano seleccionados y evaluados

Tabla 4.1: Características físicas de los frutos de arándano

Característica	Media	Rango
Peso (g)	1,53	1,41 – 1,65
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	0,92	0,86 – 0,97
Diámetro polar (cm)	0,98	0,91 – 1,07
Diámetro ecuatorial (cm)	1,04	0,97 – 1,12

Como se observa en la tabla anterior, el promedio de los pesos de arándano fue de 1,53 g; con respecto a su peso específico donde el promedio fue de 0,92 g/cm<sup>3</sup>; del mismo modo en base a sus diámetros polares y ecuatoriales promedio fue de 0,98 cm y 1,04 cm respectivamente.

Pino (2007) encontró valores similares de peso de arándano que fluctuó entre 1,30 y 2,10 g. Ballington et al., (2005) refieren que una fruta de arándano de mayor peso es más fácil de cosechar y es más atractiva para el consumo fresco que una fruta pequeña, y señala que el peso ideal es de 2 g de promedio.

En cuanto a los diámetros, Ballington (2005) indica que la forma achatada del arándano azul es característico y lo hace más adecuado para darle valor agregado.

#### **4.2 Características fisicoquímicas del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), variedad emerald**

Las características fisicoquímicas del fruto de arándano se muestran en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Características fisicoquímicas del jugo de arándano

<b>Característica fisicoquímica</b>	<b>Valor</b>	<b>Desviación estándar</b>
Sólidos solubles (°brix)	11,63	0,09
Acidez titulable (ácido cítrico) (%)	0,42	0,02
Índice de madurez	27,69	0,021
PH	3,38	0,03
Vitamina C (mg/ 100 g)	14,08	0,014

En la tabla anterior se muestra que el contenido de sólidos solubles (11,63) y acidez (0,42), indicativo de un fruto ácido-poco dulce, lo cual representa su principal característica por la amplia aceptación del fruto para darle valor agregado.

El índice de madurez de 27,69 es considerado como adecuado para definir el momento de la cosecha, por coincidir con el aroma, sabor y color típico del cultivar de arándano.

Por otro lado, el contenido de vitamina C de 14,08 mg/ 100 g de jugo calculado experimentalmente, coincide lo determinado por Nunes *et al* (2004), en el caso del valor de pH característico de esta fruta es similar a lo reportado por Pino (2007).

Estas características determinaron la calidad global del arándano

### **4.3 Construcción de la curva estándar de vitamina C**

Por medio del método espectrofotométrico, se construyó la curva estándar, basado en la reducción del colorante 2-6 diclorofenolindofenol por efecto de la solución del ácido ascórbico en presencia de ácido oxálico. Siendo el contenido de ácido ascórbico proporcional a la capacidad de un extracto de la muestra para reducir una solución estándar de colorante, esta capacidad es determinada por espectrofotometría, que se basa en la interacción de la materia con la radiación electromagnética a una determinada longitud de onda, conformado ésta, por un conjunto de fotones cargados de energía y que se desplazan a la velocidad de la luz en forma de ondas, produciéndose en la materia un nivel de absorción de esta energía en función a las concentraciones (Ley de Lambert - Beer) de soluciones preparadas de ácido ascórbico químicamente puro (Nielsen, 2008).

La metodología de la determinación de vitamina C se muestra en el anexo 1. En la presente investigación, para la construcción de la curva estándar, se determinó a una longitud de onda de 560 nm. (Esta longitud de onda representa el valor máximo de una concentración definida del reactivo de color, el 2,6 diclorofenolindofenol medida a diferentes longitudes de onda).

Los resultados experimentales se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3: Valores de absorbancia para la construcción de curva estándar de vitamina C

mg. vitamina C/100 ml	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>1</sub> – L <sub>2</sub>
1	0,283	0,219	0,064
2	0,281	0,159	0,122
3	0,279	0,123	0,156
4	0,280	0,089	0,191
5	0,276	0,038	0,238

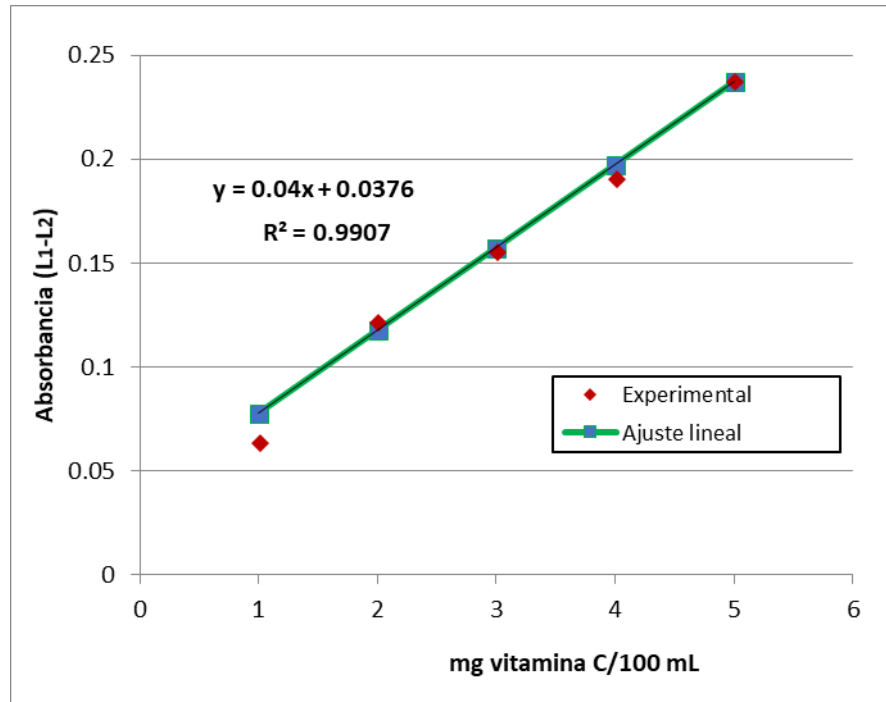
De la tabla 4.3, según las lecturas espectrofotométricas realizadas a longitud de onda de 560 nm, se observa que a medida que aumenta la concentración de ácido ascórbico, se incrementa también la densidad óptica ( $L_1 - L_2$ ), resultados que confirman la Ley de Lambert-Beer, referido por Nielsen (2008), que sostiene que la absorción de energía está en relación directa y proporcional en función a la concentración de la materia, siendo este, lineal en un rango de concentraciones menores a 0,01M.

Los resultados del análisis de regresión lineal para establecer el comportamiento y correlación entre la concentración y nivel de energía absorbida se presentan en la figura 4.2 y la tabla 4.4.

Figura 4.2: Curva estándar para la determinación de vitamina C

Tabla

4.4:



Valores del análisis de regresión lineal

Parámetro	Valor
R cuadrado	0,9907
Número de observaciones	5
Grados de Libertad	4
Coefficiente de X	0,04

De la tabla 4.4, se establece la ecuación:

$$\text{Absorbancia } (L_1 - L_2) = 0,04 X + 0,0376,$$

$$\text{Absorbancia } (L_1 - L_2) = 0,04 * [\text{mg. A. Ascórbico}] + 0,0376,$$

Ecuación que relaciona la concentración de vitamina C (X) con el nivel de densidad óptica o absorbancia (L<sub>1</sub> – L<sub>2</sub>), tal como se observa en la figura 4.2.

#### 4.4 Influencia de la temperatura de proceso y tiempo en la degradación de vitamina C en jugo concentrado de arándano

En la tabla 4.5 se muestra los valores de vitamina C de jugo concentrado de arándano a 30°brix a las diferentes temperaturas de proceso y tiempos aplicados.

Se observa en la tabla 4.5 la tendencia de degradación de vitamina C al aplicar las temperaturas en los tiempos empleados, notándose que a temperatura de 85°C la degradación es más resaltante.

Cheftel y Cheftel (1998) precisan que la transferencia de calor es más eficiente en medios acuosos, por ser el agua buen conductor del calor, es decir, que al ser más eficiente la transferencia de calor, se tendrá una mayor destrucción de vitamina C en las frutas, sometidas a tratamientos térmicos.

Tabla 4.5: Degradación de vitamina C (mg/100 g) de jugo concentrado a 30°brix de arándano, a temperaturas y tiempos empleados

Temperatura de proceso (°C)	Tiempo (minutos)				
	0	4	8	12	16
60	24,09	23,12	20,53	19,75	17,43
	24,02	22,86	20,45	19,68	17,37
	23,91	23,03	20,32	19,81	17,51
70	24,12	21,73	19,41	17,33	15,91
	23,93	21,82	19,36	17,42	15,98
	23,97	21,56	19,49	17,61	15,43
80	24,04	20,48	17,68	14,52	12,25
	24,11	20,53	17,45	14,77	12,38
	23,98	20,56	17,42	14,39	12,56

En la tabla 4.6 se muestra el análisis de varianza para la degradación de vitamina C en jugo concentrado de arándano a las temperaturas de proceso (60, 70 y 80°C) y tiempos empleados (0,4,8,12 y 16 minutos).

Tabla 4.6: ANVA para la variación de vitamina C del jugo concentrado de arándano según el modelo planteado

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Temperatura de proceso (TP)	73,811	2	36,906	2009,144	0,000
Tiempo de proceso(t)	441,973	4	110,493	6015,242	0,000
TP * t	28,683	8	3,585	195,187	0,000
Error	0,551	30	0,018	-	-
Total corregida	17600,544	45	-	-	-

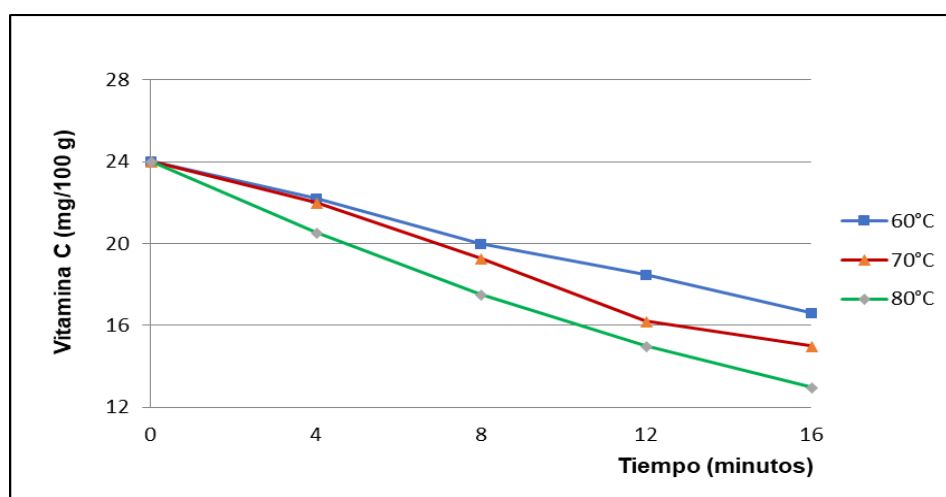


Figura 4.3: Comportamiento de la vitamina C en el jugo concentrado de arándano por el tratamiento térmico en función al tiempo

De la figura 4.3 se comprueba que la degradación de la vitamina C en el jugo concentrado de arándano (30°brix) a las temperaturas de proceso en los

tiempos empleados.

Al realizar el análisis estadístico, según el análisis de varianza (tabla 4.6) se comprueba que existe diferencia altamente significativa ( $p < 0,05$ ) de la degradación de vitamina C con respecto a la temperatura de proceso, tiempo e interacción.

La concentración de vitamina C descendió muy considerablemente con el aumento de la temperatura de proceso y a medida que aumenta el tiempo empleado, es así como a 80°C la concentración disminuyó de 24,04 mg/100 g al inicio a 12,25 mg/100 g a los 16 minutos lo que representó una pérdida en su concentración de 50,67%.

Efectos similares se observaron en el tratamiento térmico palillo de tambor, en el que la vitamina C descendió al aumentar la temperatura de proceso a tiempos distintos (Bineesh et al., 2005). Resultados similares se reportaron en mango de hilacha (Mendoza et al., 2015) y guayaba (Ordoñez-Santos et al., 2013).

Gamboa-Santos et al., (2014), refieren que, en el tratamiento térmico de la fresa, el porcentaje de vitamina C disminuyó al aumentar tanto la temperatura de proceso como el tiempo de exposición a dichas condiciones. La degradación térmica de la vitamina C está relacionada con la formación de compuestos aquirales indeseables y/o isomerización (apertura o cierre del anillo de lactona) de L-isómeros a D-isómeros (Dabbagh & Azami, 2014).

#### **4.5 Orden de reacción para la degradación térmica de vitamina C en el jugo concentrado de arándano**

En la figura 4.4 se muestra la variación de la vitamina C del jugo concentrado de arándano en función del tiempo de proceso de las diferentes temperaturas ensayadas con sus respectivas ecuaciones lineales y los parámetros respectivos.

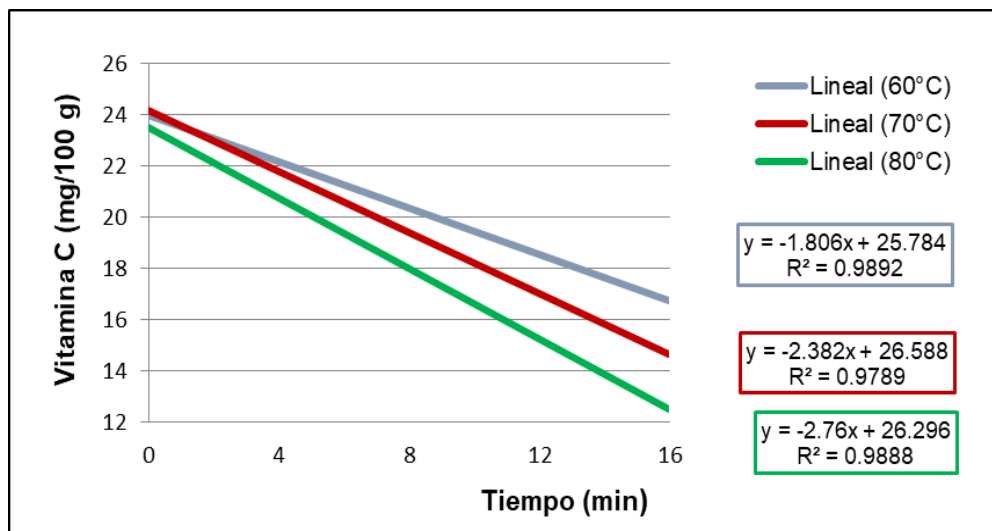


Figura 4.4: Variación del tratamiento térmico de vitamina C en el jugo concentrado de arándano en función al tiempo

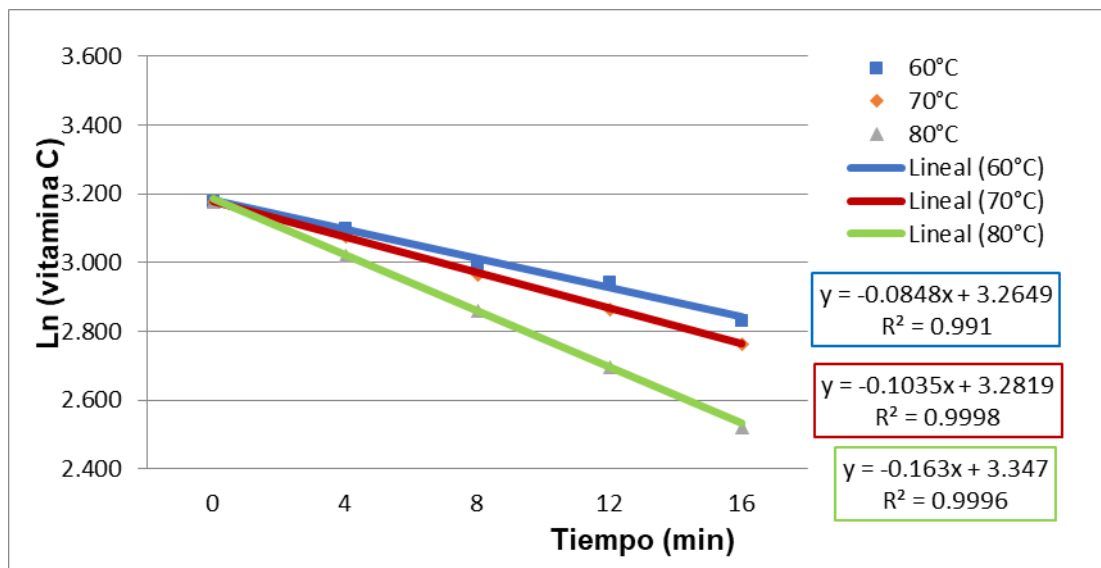


Figura 4.5: Variación del tratamiento térmico del Ln (vitamina C) en el jugo concentrado de arándano en función al tiempo

En las figuras 4.4 y 4.5 se puede observar la variación térmica de la concentración de vitamina C en el jugo concentrado de arándano en el

tiempo a las temperaturas de proceso aplicadas.

Tabla 4.7: Orden de reacción y coeficientes de degradación térmica de vitamina C en el jugo concentrado a 30°brix de arándano

Temperatura (°C)	Orden cero		Primer orden	
	$K_0$	$R^2$	$K_1$	$R^2$
60	1,806	0,9892	0,0848	0,991
70	2,382	0,9789	0,1035	0,9998
80	2,76	0,9888	0,163	0,9996

Al observar las figuras 4.4 y 4.5, notamos que la degradación de vitamina C en el jugo concentrado de arándano en función al tiempo a las tres temperaturas de proceso empleadas muestra una tendencia lineal.

Se observa en la tabla 4.7 que la constante de velocidad cinética ( $k_1$ ) aumenta con el incremento de la temperatura, lo que constata e indica el aumento en la velocidad de degradación de la vitamina C al elevar la temperatura de proceso del jugo concentrado. El aumento de la constante de velocidad cinética ( $k_1$ ) de degradación de la vitamina C con la temperatura, fue también reportado en fresas por Gamboa-Santos et al., (2014), en néctar de mango (Lui et al., 2014) y guayaba (Ordóñez-Santos et al., 2013).

Al realizar la cinética de degradación de la vitamina C se dedujo que sigue una cinética de primer orden a las temperaturas de proceso, verificándose mayores valores de coeficiente de correlación lineal (tabla 4.7).

Según Badui (2013) refiere que la vitamina C es una vitamina que se

degrada por acción de temperaturas mayores a 60°C, además se ve afectada también por la luz, oxígeno y actividad de agua.

Estudios realizados sobre la cinética de degradación térmica de la vitamina C han concluido que sigue una cinética de primer orden (Ordóñez-Santos & Yoshioka-Tamayo, 2012; Mendoza et al., 2015 y Sapei y Hwa, 2014).

#### **4.6 Valores cinéticos de degradación térmica de vitamina C en el jugo concentrado de arándano según el modelo planteado**

La degradación térmica de la vitamina C en el jugo concentrado a 30°brix de arándano responde a una cinética de primer orden, tal como se observa en los coeficientes de regresión mayores a 0,91 (Tabla 4.6).

De la figura 4.5 se calculan los valores cinéticos de degradación térmica de la vitamina C del jugo concentrado de arándano: la ecuación de regresión lineal, el coeficiente de regresión ( $R^2$ ), el tiempo de reducción decimal (D), la constante de cinética de degradación (k), y el tiempo de vida media ( $t_{0,5}$ ), que se muestran en la tabla 4.8.

Según Ibarz et al., (2009) refiere al tiempo de reducción decimal (D) como el tiempo necesario para reducir la concentración de componentes degradables, se debe indicar que cuanto mayor sea la temperatura aplicada menor será el valor D, k es la constante de cinética de degradación y  $t_{0,5}$  es el tiempo necesario para que los compuestos se degraden en un 50%.

$$\text{Valor D} = -1/\text{pendiente}$$

$$\text{Valor k} = \ln 10/D = 2,303/D$$

$$t_{0,5} = 0,693/k$$

Tabla 4.8: Valores cinéticos de degradación térmica de vitamina C en jugo concentrado de arándano.

T (°C)	Ecuación regresión lineal	R <sup>2</sup>	Valor D (minutos)	Valor K	Valor t <sub>0,5</sub>
60	Ln (vit. C) = -0,0848 t + 3,2649	0,991	11,79	0,195	3,55
70	Ln (vit. C) = -0,1035 t + 3,2819	0,9998	9,66	0,238	2,92
80	Ln (vit. C) = -0,163 t + 3,347	0,9996	6,13	0,376	1,84

Los valores de D (minutos), mostrados en la tabla 4.8 del jugo concentrado de arándano sometido a temperatura de 60°C, 70°C y 80°C requieren 11,79 minutos, 9,66 minutos y 6,13 minutos respectivamente, para reducir un ciclo logaritmico, es decir el contenido de vitamina C, lo que significa que a mayor temperatura la degradación de este micronutriente es más rápida, esto lo confirmó Cheftel J y Cheftel H (1998) y Fellows (1994), que los valores de D (minutos), mide la rapidez con que un organismo muere o también la rapidez que un micronutriente se degrada.

Resultados similares reportaron en la pulpa de mango de hilacha en el que el valor de D disminuyó con el aumento de la temperatura hasta la mitad de su valor al incrementarse la temperatura de 65°C a 85°C (Mendoza et al., 2015).

Nunes et al., (2004), refiere que los cambios en la calidad sensorial y nutricional son ocasionados por reacciones químicas en los alimentos que tienen una dependencia con la temperatura, al igual que la inactivación de sistemas biológicos como enzimas y microorganismos también dependientes de la temperatura.

#### **4.7 Cálculo de la energía de activación de degradación térmica de vitamina C en el jugo concentrado de arándano**

Para cuantificar el efecto de la temperatura de proceso sobre degradación de vitamina C del jugo concentrado de arándano en los tiempos empleados en el proceso se han ajustado las constantes de velocidad obtenidas en cada modelo cinético, a una ecuación tipo Arrhenius.

$$K = K_0 e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Dónde:

K: constantes de velocidad.

K<sub>0</sub>: constante de velocidad inicial

E<sub>a</sub>: energía de activación (Kcal/mol)

R: constante universal de los gases

(1,987 cal/mol °k) y (8,314 J/mol °k)

T: temperatura absoluta (°K)

Adecuando esta ecuación se tiene:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{R} \frac{1}{T}$$

Esta es la ecuación de una recta, con pendiente  $-E_a/R$  y termino independiente  $\ln A$ , de donde se deduce que:

$$E_a = - \text{pendiente} * R$$

Por tanto, para determinar la energía de activación se realizó un análisis de regresión lineal a los valores del logaritmo natural de  $k$  y la inversa de las temperaturas absolutas de proceso, las que se muestran en la tabla 4.9 y figura 4.6

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de los ajustes realizados para la constante de velocidad de degradación de vitamina C en jugo concentrado de arándano.

Tabla 4.9: Valor de energía de activación en la degradación térmica de vitamina C en jugo concentrado de arándano

T (°C)	1/T (°K <sup>-1</sup> )	k	Ln k	Pendiente	Ea (Kcal/mol)	Ea (KJ/mol)
60	0,00300	0,195	-1,6347	-3843,2	7,636	31,952
70	0,00292	0,238	-1,4355			
80	0,00283	0,376	-0,9782			

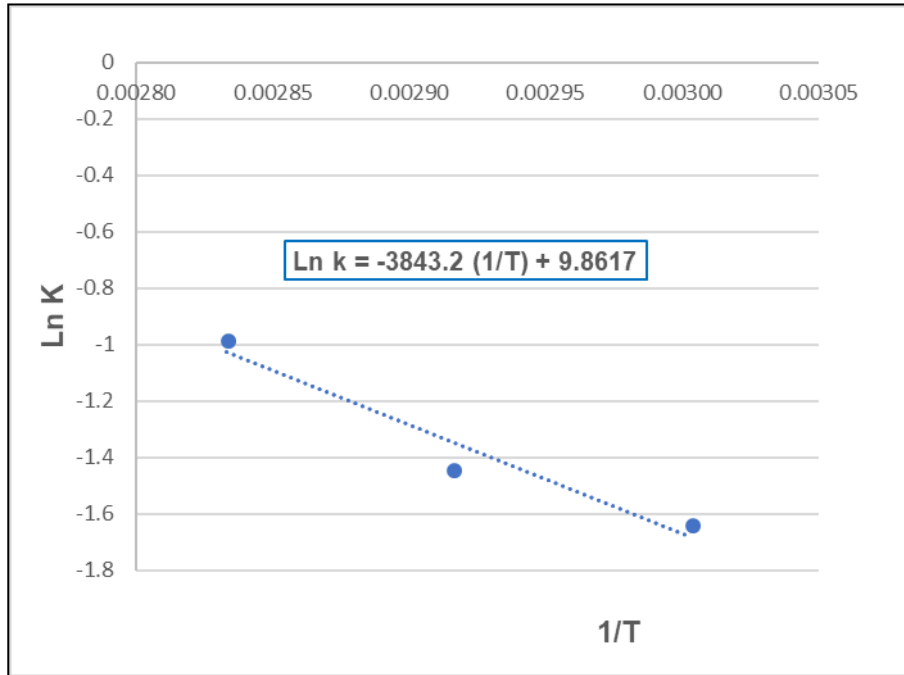


Figura 4.6: Relación logarítmica de la constante K y la inversa de la temperatura en el jugo concentrado de arándano

Analizando los resultados de la tabla 4.8 la Figura 17; se corrobora que los valores cinéticos representan un modelo cinético de primer orden, donde la energía de activación fue de 7,636 Kcal/mol y 31,952 KJ/mol para la degradación de vitamina C en jugo concentrado de arándano, resultados similares obtuvieron (Ordóñez-Santos & Yoshioka-Tamayo, 2012) en pulpa de mango cuyo valor fue de 8,13 Kcal/mol; y Ordoñez et al., (2013) en guayaba de 7,57 Kcal/mol.

Estas diferencias en los parámetros cinéticos de degradación con respecto a otros trabajos de investigación pueden deberse a las temperaturas empleadas, la matriz biológica y su geometría, la concentración de oxígeno, pH y probablemente por las diferencias en el contenido de humedad de las muestras y las concentraciones del producto (Bree et al., 2012).

Según (Ibarz et al., 2009.) comprobaron el efecto de la temperatura sobre las constantes cinéticas y que se puede cuantificar mediante la ecuación de Arrhenius, obteniendo que las energías de activación, para la evolución de  $A_{420}$  y  $L^*$ , las cuales mostraron una tendencia a disminuir con el aumento de la concentración, en estudios del pardeamiento de zumos clarificados de limón tratados a altas temperaturas.

#### 4.8 Constante de resistencia térmica (Valor Z) de la degradación de vitamina C en el jugo concentrado de arándano

El valor Z representa la temperatura necesaria para que la curva de destrucción térmica atraviese un ciclo logarítmico, es calculada estableciendo la regresión lineal de las temperaturas frente al valor logarítmico D, tal como se muestra en la figura 4.7.

Por tanto, se realizó el análisis de regresión lineal, cuyos resultados se muestran en la tabla 4.10.

Tabla 4.10: Valor Z para el jugo concentrado de arándano

T (°C)	Valor D (minutos)	Ln D	Pendiente	Valor Z (°C)
60	11,79	2,4672	-0,0327	30,58
70	9,66	2,2680		
80	6,13	1,8132		

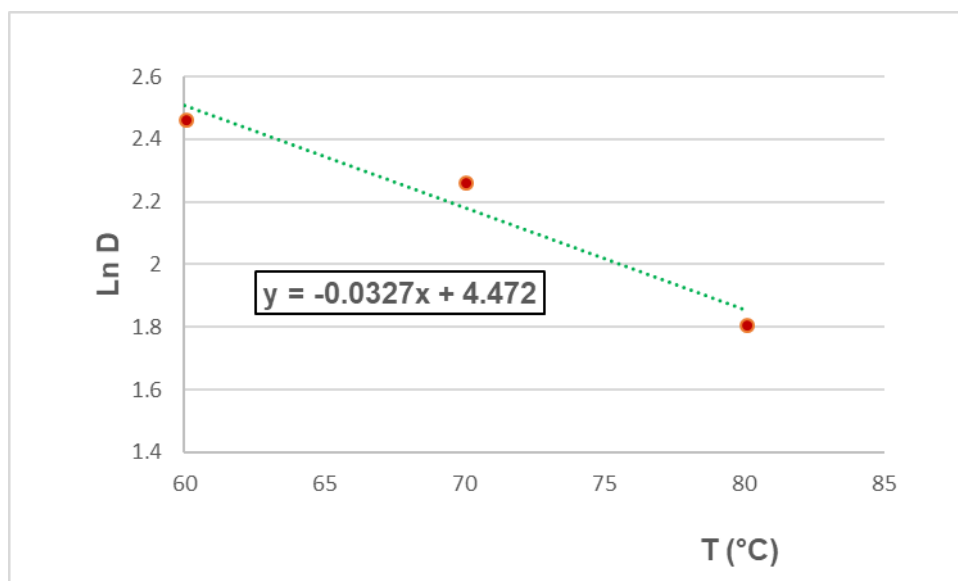


Figura 4.7: Relación logarítmica del valor D y las temperaturas en el jugo

Para el jugo concentrado a 30°brix de arándano el valor z asciende a 30,58°C.

Diversos investigadores han evaluado los parámetros cinéticos en la degradación térmica de la vitamina C en diferentes vegetales. Karhan et al., (2004) en pulpa de rosa silvestre obtuvieron valores de k de 0,00762-0,013 min<sup>-1</sup>, D= 302-172 min, t<sub>0,5</sub>= 91-53 min, Q<sub>10</sub> = 1,21, z = 53°C y Ea de 11,36 kcal/mol, en rangos de temperaturas de 70 a 95°C. Paul y Ghosh (2012) encontraron en jugo de granada valores de 0.00288-0.00382 min<sup>-1</sup>, t<sub>0,5</sub>= 240-181 min y Ea de 19,53 kcal/mol. En otro estudio, Dhuique et al. (2007) reportan en jugo de naranja un Ea = 8,60 Kcal/mol y un z= 64 ° C para un intervalo de temperatura de 50 a 100 °C. Toralles et al. (2008) obtienen valores de Ea =11,08 Kcal/mol en puré de melocotón de 12 °Brix y Ea =10,86 Kcal/mol en puré de melocotón de 32 Brix, tratados en intervalos de temperatura de 70-90 °C. Munyaka et al. (2010) registran un valor de Ea =

63,77 Kcal/mol para un rango de temperatura de 55 a 65 °C en flores de brócoli. Bineesh et al., (2005) en hojas de Moringa (*Moringa olifera*) obtienen un valor de  $E_a = 4,39$  Kcal/mol, en un rango de temperatura de 50 a 120°C. Hal et al. (2012) reportan en frutos de guayaba un  $E_a = 13,88$  Kcal/mol para un rango de temperatura de 80 a 150 °C.

Estas diferencias en los parámetros cinéticos de la vitamina C 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 de vitamina C ( Bree et al., 2012)

## V. CONCLUSIONES

1. Las características fisicoquímicas promedio del arándano variedad emerald fueron: peso: 1,53 g; diámetro polar: 0,98 cm; diámetro ecuatorial: 1,04 cm; sólidos solubles (°Brix): 11,63, pH: 3,38, acidez titulable (% ácido cítrico): 0,42 y vitamina C (mg/100g): 14,08.
2. La cinética de degradación térmica de vitamina C en el jugo concentrado de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) a las temperaturas de proceso de 60, 70 y 80°C a 4, 8, 12 y 16 minutos siguieron una reacción cinética de primer orden.
3. La vitamina C del jugo concentrado a 30°brix de arándano se degradó a los 16 minutos con velocidades de 0,195; 0,238 y 0,376 min<sup>-1</sup> a las temperaturas de 60, 70 y 80°C respectivamente.
4. El tiempo de vida media de la vitamina C en el jugo concentrado a 30°brix de arándano a la temperatura más baja (60°C) fue de 3,55 minutos y el tiempo de reducción decimal a esta temperatura fue de 11,79 minutos.
5. La energía de activación según Arrhenius para la degradación de vitamina C de jugo concentrado a 30°brix de arándano fue de 7,636 Kcal/mol, este valor demuestra que la vitamina C presenta buena estabilidad a las temperaturas y a los tiempos aplicados.
6. El valor Z obtenido para la degradación térmica de vitamina C de jugo concentrado a 30°brix de arándano fue de 30,50°C expresando este valor como indicador de buena estabilidad de este micronutriente en las condiciones evaluadas

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Realizar estudios de investigación en degradación térmica de vitamina C en productos vegetales de la región.
2. Realizar estudios experimentales en degradación térmica de vitamina C en pulpas de frutas utilizando empaques biodegradables.
3. Con los valores obtenidos de la cinética de degradación térmica de vitamina C en los jugos concentrados de arándano, estudiar la optimización a nivel piloto y luego a escala industrial.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Acevedo, B., Montiel, M., & Avanza, J. 2002. Efecto del tratamiento térmico en la capacidad antioxidante total de jugos de pomelo, naranja y mandarina. *S. Cielo*, 1(8), 1–3.
2. Aguilera Ortíz M, Reza Vargas MC, Chew Madinaveitia RG, Meza Velázquez JA. 2011. Propiedades funcionales de las antocianinas. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*. XIII: 16-22.
3. Badui S. 2013. *Química de los alimentos*. Quinta edición. México.
4. Ballington, J.; Ballinger, W.; Swallow, W.; Galleta, G. y Kushman L. 1984. Fruit quality characterization of 11 *Vaccinium* species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109(5): 684-689.
5. Ballington, J. 2005. Blueberries varieties around the world. In: *Ciclo de seminarios frutícolas de actualización técnico comercial. Berries: arándanos y frambuesas*. Asociación de exportadores de Chile (ASSOEX) A.G. Santiago, Chile. 27 p.
6. Belitz, H D. 2012. *Química de los alimentos*. Tercera edición. Editorial Acribia. Zaragoza. España.
7. Bello, J. 2000. La conservación por métodos químicos. En: *Ciencia Bromatológica: Principios Generales de Los Alimentos*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
8. Benavides G. L. 2013. Estudio de Prefactibilidad para la producción y comercialización de arándanos en condiciones de valles andinos. Elaborado para Sierra Exportadora

9. Bineesh, N.; Singhal, R. S. & Pandit A. 2005. A study on degradation kinetics of ascorbic acid in drumstick (*Moringa olifera*) leaves during cooking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 1953-1958.
10. Bree, V.; Baetens, J.; Samapundo, S.; Devlieghere, F.; Laleman, R.; Vandekinderen, I.; Nosedá, B.; Xhaferi, R.; De Baets, B. & 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.
11. Brown, T. 2004. *Química: La ciencia central*. (Pearson, Ed.) (9na. ed.). México.
12. Carr, A. C. y Frei, B. 1999. Toward a new recommended dietary allowance for vitamin C based on antioxidant and health effects in humans. *American Journal of Clinical Nutrition* 69(6): 1086–107.
13. Casp, A., & Abril, J. (2003). *Procesos de conservación de alimentos*. (M. Prensa, Ed.) (2da ed.).
14. Cheftel, C.; Cheftel, H.; 1998. *Introducción a la bioquímica y Tecnología de los alimentos*. España, Acribia; Vol 1.
15. CODEX STAN 247-2005. 2005. NORMA GENERAL DEL CODEX PARA ZUMOS (JUGOS) Y NÉCTARES DE FRUTAS. Extraído de [www.fao.org/input/CXS\\_247s.pdf](http://www.fao.org/input/CXS_247s.pdf)
16. Colima, 2010. Arándano: Perfil Comercial. Secretaría de Desarrollo Rural. Dirección de Comercialización y Planeación. Estado de Colima-México.

17. Coria, L.; Peralta, F.; Albarracín, P. 2008. Análisis de Antocianinas en Arándanos del NOA. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán Argentina.
18. Dabbagh, H. A., Azami, F. 2014. Experimental and theoretical study of racemization, stability and tautomerism of vitamin C stereoisomers. *Food Chemistry*, 164:355-362.
19. Dhuique, C.; Tbatou, M.; Carail, M.; Caris, C.; Dornier, M. & Amiot, M. 2007. Thermal degradation of antioxidant micronutrients in Citrus juice: Kinetics and newly formed compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 4209-4216.
20. Fellows, P. 1994. Tecnología de procesado de los Alimentos. Edit. Acribia. Zaragoza. España
21. Fennema O. 2010. Química de los alimentos. Tercera edición. Editorial Acribia. Zaragoza. España.
22. Gabriel AA, Usero JMCL, Rodriguez KJ, Diaz AR, Tiangson- Bayaga CLP. 2015. Estimation of ascorbic acid reduction in heated simulated fruit juice systems using predictive model equations. *Iwt Food Sci Technol*.
23. Gamboa-Santos, J., Megías-Pérez, R., Soria, A. C., Olano, A., Montilla, A., Villamiel, M. 2014. Impact of processing conditions on the kinetic of vitamin C degradation and 2-furoylmethyl amino acid formation in dried strawberries. *Food Chemistry*, 153:164-170.
24. Hal, P.; Bosschaart, C.; Twisk, C.V.; Verkerk, R. & Dekker, M. 2012. Kinetics of thermal degradation of vitamin C in marula fruit

- (*Sclerocarya birrea subsp. caffra*) as compared to other selected tropical fruits. *LWT - Food Science and Technology*, 49, 188-191.
25. Harris, M. G. 1973. *Cinética Química*. (Reverte, Ed.) (1ra ed.). España
  26. Harvey, D. 2002. *Química Analítica Moderna*. (H. de E. s. a. Mc Graw, Ed.). Madrid.
  27. Ibarz, R.; Falguera, V.; Garvín, A.; Garza, S.; Pagán, J.; Ibarz, A. 2009. Flow behaviour of clarified orange juice at low temperatures. *Journal of Texture Studies* 40: 445 – 456.
  28. Jara, G. 2012. Características de los arándanos cultivados en Perú. Licenciada en Ciencias Biológicas. Magister en Ciencias. Santiago-Chile.
  29. Justi, K. C. et al., 2000. Nutritional composition and vitamin C stability in stored camu-camu (*Myrciaria dubia*) pulp. *Arch. Latinoam. Nutr.* Dec.; 50(4): 405-8.
  30. Karhan, M.; Aksu, M.; Tetik, N. & Turhan, I. 2004. Kinetics modeling of anaerobic thermal degradation of ascorbic acid in rose hip (*Rosa canina* L) pulp. *Journal of Food Quality*, 27, 311-319.
  31. Kechinski, C. P., Guimarães, P. V. R., Noreña, C. P. Z., Tessaro, I. C., & Marczak, L. D. F. 2010. Degradation kinetics of anthocyanin in blueberry juice during thermal treatment. *Journal of food science*, 75(2), C173-C176.
  32. Kilcast, D., & Subramaniam, P. 2011. Food and beverage stability and shelf life. *Woodhead Publishing Limited*

33. Labuza. (1984). Application of chemical kinetics to deterioration of foods. *Journal Chemical Education*.
34. Lessin WJ, Catigani GL, Schwartz SJ. 1997. Quantification of cis-trans isomers of provitamin A carotenoids in fresh and processed fruits and vegetables. *J. Agric. Food Chem.* 45: 3728-32.
35. Lui, F., Wang, Y., Li, R., Bi, x., Liao, X. 2014. Effects of high hydrostatic pressure and high temperature short time on antioxidant activity, antioxidant compounds and color of mango nectars. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 21:35-43
36. Man y Jones. 1997. *Bioquímica de los Alimentos*. Edit. Acribia. Zaragoza. España.
37. 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 (*Mangífera indica* var *magdalena river*). *Información Tecnológica*, 26(3), 09–16.
38. Morcillo J., Orza J. 1972. *Espectroscopia estructura y espectros atómicos*. Editorial Alambra, S.A., España.
39. Munyaka AW, Makule EE, Oey I, Van Loey A, Hendrickx M. 2010. Thermal Stability of L-Ascorbic Acid and Ascorbic Acid Oxidase in Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *J Food Sci.*; 75 (4), C336-C340.
40. Nielsen, S. 2008. *Análisis de los alimentos*. Primera edición. Editorial Acribia. Zaragoza. España.
41. Nunes, M.C.; Emond, J.P.; Brecht, J. 2004. Quality curves for

- highbush blueberries as a function of the storage temperature. Proceedings of the Ninth North American Blueberry Research. Vol 3 N° 3, pp 423-438.
42. Nuñez Barrios, A.; NeSmith S.; Sánchez E.; Prussia, S. 2005. Influencia de métodos de cosecha y temperaturas de almacenamiento en la calidad del arándano (*Vaccinium Ashei R.*). Revista Fitotecnia Mexicana. Vol-28 pp. 385-388.
  43. Ordóñez-Santos, L. E., & Yoshioka, L. S. 2012. Cinética de degradación térmica de vitamina C en pulpa de mango (*Manguifera indica L.*). Vitae, 19(1), 81–83.
  44. Ordóñez-Santos, 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 Investigación, 10(2):44-51.
  45. Paul, R. & Ghosh, U. 2012. Efecto de tratamiento térmico en el contenido de vitamina C en jugo de granada. *Indian Journal Biotechnology*, 11, 309-312.
  46. Pino, C. 2007. Descripción del desarrollo vegetativo y de las características físicas y químicas de los frutos de cuatro clones de arándano alto (*Vaccinium corymbosum L.*). Tesis para grado de Licenciado en Agronomía. Universidad Austral de Chile. Valdivia-Chile.
  47. Sandoval A. 2015. Cinética de degradación térmica de antocianinas en zumos pasteurizados de granada y arándano. Tesis de Industrias Alimentarias. Lambayeque.

48. 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.*
49. Sapei, L., Hwa, L. 2014. Study on the Kinetics of Vitamin C Degradation in Fresh Strawberry Juices. *Procedia Chemistry, 9:62-68.*
50. Settle, F. (1997). *Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry.* New Jersey: Prentice Hall
51. Sikorska-Wisniewska G, Szumera M. 2007. The role of food components in children's nutrition. En: Sikorski ZE, editores. *Chemical and functional properties of food components. 3.<sup>a</sup> ed.* Florida, ee. uu.: Taylor y Francis Group.
52. Skoog D., West D., Holler F., Crouch S. 2005, *Fundamentos de química analítica 8a. edición,* Thomson
53. Thomas, Cerda V. 2007. From spectra to qualitative and quantitative results, en: *Techniques and Instrumentation in Analytical Chemistry Vol 27,* Thomas and C. Burgess, Elsevier, Pag 21-45
54. Toralles RP, Vendruscolo JL, Vendruscolo CT, Del Pino FAB, Antunes PL. 2008. Determination of reaction rate constants for ascorbic acid degradation in peach pureé: Effect of temperature and concentration. *Cienc Tecnol Aliment.; 28 (1); 18-23.*
55. Vaclavick, V. 1998. *Fundamentos de ciencia de alimentos. 1era edición.* Edit. Acribia. España.

56. Van boekel, S., & Martinus, A. 2009. *Kinetic Modeling of Reactions in Foods*. New York: CRC Press.
57. Vilches, F. 2005. Formulación y Elaboración de un “snack” de arándano con incorporación de fibra dietética. Tesis para el Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile.
58. Yahia, EM, Contreras-Padilla M, González-Aguilar G. 2001. Ascorbic acid content in relation to ascorbic acid oxidase activity and polyamine content in tomato and bell pepper fruits during development, maturation and senescence. *Food Sci Technol-LEB.*; 34 (7): 452-457.
59. Zapata, Luz, 2014. Obtención de extracto de antocianinas a partir de arándanos para ser utilizado como antioxidante y colorante en la industria alimentaria. Universidad Politécnica de Valencia, España.

#### Páginas web

- <http://www.agraria.uach.c/> (Revisado el 12/09/2017)
- <http://www.sobitecperu.com/el-cultivo-del-arandano> (Revisado el 16/12/2017)

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### **MÉTODO PARA DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE VITAMINA C POR ESPECTROFOTOMETRÍA.**

#### **Descripción del método:**

Preparar una solución de ácido oxálico al 0,4%. Pesar 8 g de ácido oxálico, diluir y completar a 2000 ml. con agua destilada, preparar una solución estándar (madre) de ácido ascórbico al 0,1% en una solución de ácido oxálico al 0,4%.

Pesar 1 g de ácido ascórbico, disolver y completar a 1000 ml con ácido oxálico al 0,4%.

Estándares de trabajo (E.T.). Tomar alícuotas de 1, 2, 3, 4, y 5 ml de ácido ascórbico al 0,1% y llevar a volumen de 100ml con una solución de ácido oxálico al 0,4%.

Estas soluciones enumeradas del 1 al 5 contendrán 1, 2, 3, 4, y 5 mg de ácido ascórbico por 100 ml respectivamente.

Solución coloreada (colorante), pesar 12 mg de 2,6 diclorofenolindofenol (DFLF), disolver y llevar a 1000 ml de volumen con agua destilada. Esta solución puede almacenarse por 15 días en frasco oscuro y en refrigeración.

#### **Preparación de la curva estándar.**

Tomar 4 tubos de prueba, enumeradas del I al IV y agregar lo siguiente:

I 10 ml de agua destilada

II 1 ml de ácido oxálico al 0,4% y 9 ml de solución coloreada

III 1 ml de ácido oxálico al 0,4% y 9 ml de agua destilada

IV 1 ml de E.T. N° 1 y 9 ml de solución coloreada.

Hacer las lecturas de absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 520 nm de la siguiente manera: Ajustar a cero la absorbancia usando el tubo I. Leer la absorbancia del tubo II ( $L_1$ ).

Ajustar a cero la absorbancia con la solución del tubo III.

Leer la absorbancia del tubo IV ( $L_2$ ).

NOTA:

Las lecturas  $L_1$  y  $L_2$  deben hacerse 15 segundos después de su preparación.

Registrar  $L_1$  y  $L_2$  para cada estándar de trabajo (E.T) y construir la curva estándar.

Determinar  $L_1$  como se describió anteriormente. En el tubo III colocar 1 ml de filtrado (muestra) y 9 ml de agua destilada y con esta ajustar a cero la absorbancia. En el tubo IV colocar un ml de filtrado (muestra) más 9 ml de solución coloreada y registrar la absorbancia  $L_2$ , después de 15 minutos.

Calcular ( $L_1 - L_2$ ) y obtener la concentración de ácido ascórbico de la curva estándar.

## ANEXO 2

### RESUMEN FOTOGRÁFICO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



*Recepción de materia prima  
(arándanos)*



Selección de  
arándanos



Caracterización  
física de  
arándanos



Caracterización  
físicoquímica del  
arándano



**Muestras: jugo  
de arándano**  
Muestra 1:  
Sin escaldar  
Muestra 2:  
Escaldada



Concentración de  
jugo de arándano  
a 30°brix con el  
Rotavapor