



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**TESIS PARA TÍTULO PROFESIONAL**

**“EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD POR PRUEBAS  
ACELERADAS, DE LA CÁSCARA DE CAMU CAMU (*Myrciaria  
dubia* Mc Vaugh) SECADA POR AIRE CALIENTE.”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**ELABORADO POR  
PANDURO CONTRERAS ANTHONY GABRIEL.**

**TINGO MARÍA – PERÚ**

**2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**TESIS PARA TÍTULO PROFESIONAL**

**“EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD POR PRUEBAS  
ACELERADAS, DE LA CÁSCARA DE CAMU CAMU (*Myrciaria  
dubia* Mc Vaugh) SECADA POR AIRE CALIENTE.”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**ELABORADO POR  
PANDURO CONTRERAS ANTHONY GABRIEL.**

**TINGO MARÍA – PERÚ**

**2019**

Acta de sustentacion

Hoja entregado por Yolanda

## DEDICATÓRIA

A DIOS:

Porque con el asu lado todo es posible.

A mis madre y hermano: MARIA ESTELA CONTRERAS RENGIFO

Y RICHAR PANDURO CONTRERAS: por el gran esfuerzo que han hecho para poder cumplir mis metas, por confiar en mí, por su amor, comprensión y apoyo.

A MIS FAMILIARES:

A MI ABUELA, TIOS, PRIMOS, por su cariño incondicional y apoyo durante las direferentes etapas de mi vida.

## AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por se el alma mater, en donde culmine mi carrera y donde viví muchos momentos inolvidables.

A mi asesor el Ing. Jaime Eduardo Basilio Atencio, por todo el apoyo, paciencia, enseñanza y dedicación a la investigación.

A toda mi familia, por estar siempre a mi lado apoyándome, aconsejando, por todo el amor que me dan y estar siempre cuando mas los necesito.

A la Dra. Elizabeth Ordoñez por el apoyo y paciencia de enseñarme.



## INDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1.Aspecto generales del camu camu.....	2
2.2.Compuestos bioactivos.....	5
2.3.Aspectos generales del secado.....	9
2.4.Aspectos generales de la estabilidad por pruebas aceleradas.....	10
2.5.Vida de anaquel.....	18
III. MATERIALES Y METODOS.....	21
3.1.Lugar de ejecución. ....	21
3.2.Materia prima. ....	21
3.3.Materiales, equipos y reactivos. ....	22
3.4.Metodos de análisis.....	23
3.5.Metodología experimental.....	23
3.6.Determinación de los parámetros cinéticos ....	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.1.Evaluaciones en la cáscara de camu camu durante el almacenamiento.....	33
4.1.1.Vitamina C. ....	33
4.1.2.Polifenoles totales. ....	36

4.1.3.Capacidad antioxidante (DPPH).....	38
4.2. Parámetros cinéticos en el almacenamiento.....	41
4.2.1.Orden de reacción (n) y constante de velocidad de reacción (k) para el deterioro de la vitamina C.....	41
4.2.2.Orden de reacción (n) y constante de velocidad de reacción ( k) para el deterioro de polifenoles totales.....	45
4.2.3.Orden de reacción (n) y constante de velocidad de reacción ( k) para el deterioro de la capacidad antioxidantes.....	48
4.3.Vida útil.....	51
4.3.1.Vida útil media de la cáscara de camu camu.....	51
V. CONCLUSIONES.....	55
ABSTRACT	
VI. RECOMENDACIONES.....	56
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	58

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	página
1. Las características fisicoquímicas de la cáscara del camu camu. ....	4
2. Ecuaciones para los parametros de calidad en funcion del tiempo para diferentes ordenes de reacción (n). ....	14
3. Concentraciones para la curva estándar de ácido ascórbico.....	27
4. Contenido de los tubos para la lectura en el espectrofotómetro.....	27
5. Concentraciones para la curva estándar de capacidad antioxidante.....	30
6. Vitamina C durante el almacenamiento a diferentes temperaturas.....	34
7. Polifenoles totales durante el almacenamiento a diferentes temperaturas ..... .....	37
8. Capacidad antioxidante durante el almacenamiento a diferentes temperaturas ..... .....	39
9. Constante de velocidad de reacción (K) de la concentración de vitamina C de la cáscara de camu camu. ....	42
10. Constante de velocidad de reacción (K) de vitamina C para orden 0,1 y 2 ..... .....	43
11. Parametros de Arrhenius para la degradación de vitamina C en la cáscara de camu camu. ....	44

12.	Constante de velocidad de reacción (K) de la concentración de polifenoles totales de la cáscara de camu camu.....	46
13.	Constante de velocidad de reacción (K) de polifenoles totales para orden 0, 1 y 2.....	47
14.	Parametros de Arrhenius para la degradación de polifenoles totales en la cáscara de camu camu. ....	47
15.	Constante de velocidad de reacción (K) de la concentración de capacidad antioxidante de la cáscara de camu camu. ....	49
16.	Constante de velocidad de reacción (K) de capacidad antioxidante para orden 0, 1 y 2.....	49
17.	Parámetros de Arrhenius para la degradación de la capacidad antioxidante en la cáscara de camu camu.....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Fruto maduro de camu camu ( <i>Myrciaria dubia</i> Mc Vaugh).....	2
2. Diagrama de la obtención de la cáscara de camu camu. ....	25
3. Variación del contenido de vitamina C en cáscara de camu camu en almacenamiento a temperaturas de 40, 50 y 60 °C.....	34
4. Variación de la concentración de polifenoles totales en la cáscara de camu camu en almacenamiento a temperaturas de 40 ,50 y 60 °C.....	37
5. Variación de la concentración de capacidad antioxidante en la cáscara de camu camu en almacenamiento a temperaturas 40 ,50 y 60 °C.....	39
6. Ajuste de los valores experimentales de degradación de vitamina C a los modelos de cinética (A) orden 1 y (B) orden 2.....	41
7. Constante de velocidad de reacción (K) de concentración de vitamina C en ecuación de orden uno, ajustada a la ecuación de Arrhenius.....	44
8. Ajuste de los valores experimentales de degradación de polifenoles totales a los modelos de cinética Orden 1(A) y orden 2(B).....	45
9. Constante de velocidad de reacción (K) de concentración de polifenoles totales en ecuación de orden uno, ajustada a la ecuación de Arrhenius..	47
10. Ajuste de los valores experimentales de degradación de capacidad antioxidantes a los modelos de cinética Orden 1(A) y orden 2(B).....	48

11. Constante de velocidad de reacción (K) de concentración de capacidad antioxidante en ecuación de orden uno, ajustada a la ecuación de Arrhenius.....	50
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en el Centro de Investigación y Desarrollo Biotecnológico de la Amazonia (CIDBAM-UNAS) y en los laboratorios de Análisis de Alimentos y de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Los objetivos fueron: Evaluar la estabilidad en almacenamiento de los compuestos bioactivos de la cáscara de camu camu secada por aire caliente a 50 °C con una velocidad de 57,4 m/s. La cáscara de camu camu seca se almacenó a 40, 50 y 60 °C durante 45 días y cada 5 días se evaluó el contenido de vitamina C, polifenoles totales por el método de folin-Ciocalteu y la capacidad antioxidante por el método de BRAND – WILLIAMS. Los datos experimentales obtenidos fueron ajustados a los modelos de cinética de orden de reacción 0, 1 y 2 para determinar la constante de velocidad de reacción (K) y a la ecuación de Arrhenius para determinar la energía de activación "Ea" del deterioro de los compuestos bioactivos. Los compuestos bioactivos de la cáscara de camu camu seca almacenada durante 45 días a 40 °C se conservaron mejor: vitamina C, el 59,89%, polifenoles totales 27,59% y capacidad antioxidante 27,58 %.

La cinética de deterioro de vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante de la cáscara de camu camu, corresponden a un orden de reacción uno; con  $R^2$  para la vitamina C = 0,9408, con  $R^2$  para polifenoles totales = 0,9493 y con  $R^2$  para la capacidad antioxidante = 0,9357. La energía de

activación ( $E_a$ ), para el deterioro de vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante resultaron:  $E_{a(\text{vitamina C})} = 15,897 \text{ KJ/mol}$ ,  $E_{a(\text{polifenoles totales})} = 25,907 \text{ KJ/mol}$  y  $E_{a(\text{capacidad antioxidante})} = 0,9997 \text{ KJ/mol}$ . La vida útil media de vitamina C de la cáscara de camu camu fue a  $40^\circ\text{C} = 54 \text{ días}$ , a  $50^\circ\text{C} = 47 \text{ días}$ , a  $60^\circ\text{C} = 35 \text{ días}$ ; para polifenoles totales a  $40^\circ\text{C} = 28 \text{ días}$ , a  $50^\circ\text{C} = 26 \text{ días}$ , a  $60^\circ\text{C} = 22 \text{ días}$  y la capacidad antioxidante a  $40^\circ\text{C} = 47 \text{ días}$ , a  $50^\circ\text{C} = 39 \text{ días}$  y a  $60^\circ\text{C} = 25 \text{ días}$ .



## I. INTRODUCCION

El Camu camu (*Myrciaria dubia* Mc Vaugh) es uno de los frutales nativos de la Amazonía Peruana que resalta por su alto contenido de vitamina C (ácido ascórbico), de aproximadamente 3000 mg/100 g, superando a la naranja (92 mg/100 g de pulpa) y limón (44,2 mg/100 g de pulpa). La importancia de esta vitamina está bien entendida, particularmente como antioxidante y su capacidad de síntesis de colágeno; debido a su fácil degradación, la vitamina C es un compuesto muy utilizado en la tecnología de alimentos como índice de calidad nutricional de las comidas procesadas; la cáscara de camu camu no es aprovechada adecuadamente generándose pérdidas económicas significativas. Al no existir información del deterioro de las propiedades bioactivas de la cáscara de camu camu, se plantea estudiar la estabilidad por pruebas aceleradas secando la cáscara de camu camu por aire caliente, para lo cual se plantearon los siguientes objetivos:

- Evaluar el comportamiento de la vitamina C, los polifenoles totales y la capacidad antioxidante (DPPH) de la cáscara de camu camu, durante el almacenamiento a diferentes temperaturas.
- Determinar los parámetros cinéticos ( $E_a$ ,  $K_o$  y  $K$ ) para la degradación de los compuestos bioactivos.
- Determinar la vida útil media de la cáscara de camu camu

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Aspecto generales del camu camu

#### 2.1.1. Fruto

El camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc Vaugh) es un arbusto frutal que se encuentra en las orillas de los ríos y lagos de la Amazonia. Por presentar buenas características agronómicas, tecnológicas y nutracéuticas, el camu-camu tiene un gran potencial de mercado, principalmente debido al alto contenido de ácido ascórbico y otros ingredientes activos que se encuentran en sus frutos tomando gran importancia en los mercados como Japón, Francia, Alemania y Estados Unidos (BRAGA DOS SANTOS *et al.*, 2018).



**Figura 1.** Fruto maduro de camu camu (*Myrciaria dubia* Mc Vaugh)

El camu-camu es una fuente potencial de vitamina C, la cual se concentra principalmente en la cáscara del fruto en estado de maduración: maduro y sobremaduro. Actualmente el camu camu, se presenta como una especie promisoras por la alta productividad por área, por la posibilidad de su cultivo en zonas intervenidas, con la ventaja de mejorar la producción en zonas ya colonizadas, y por la demanda creciente en los mercados mundiales (BRAGA DOS SANTOS *et al.*, 2018).

### **2.1.2. Morfología de la cáscara de camu camu**

El camu camu es una fruta que crece en la Amazonía Peruana, principalmente en zonas inundables; el árbol alcanza en promedio 5 metros de altura. La fruta es de forma globosa y esférica de aproximadamente 1 a 3 cm de diámetro y 20 g de peso, en estado maduro desarrolla un color café-rojizo a violeta negruzco y una pulpa suave; alojada en la pulpa se encuentran de una a tres semillas reniformes de 8 a 5 mm de largo y 5,5 a 11 mm de ancho. La pulpa del fruto maduro es comestible, de agradable sabor ácido, parecido a la cereza y el limón (ARELLANO *et al.*, 2016).

### **2.1.3. Características fisicoquímicas de la cáscara de camu camu**

El camu camu es una buena fuente de minerales tales como sodio, potasio, calcio, zinc, magnesio, manganeso, cobre y varias clases de aminoácidos, tales como serina, valina y leucina. También contiene pequeña cantidad de pectina y almidón. La glucosa y la fructosa son los azúcares principales del camu camu.

En el Cuadro 1 se presenta las características fisicoquímicas de la cáscara del camu camu.

**Cuadro 1.** Características fisicoquímicas de la cáscaras camu camu

<b>Característica</b>	<b>Contenido</b>
Carbohidratos(%)	10,20
Cenizas(%)	0,20
Energía total (Kcal)	56,90
Fibra(%)	1,60
Grasa(%)	1,70
Humedad(%)	87,10
Proteína(%)	0,20
Vitamina C (mg)	2142,90

**Fuente:**GARAY y VILLAFUERTE (2015).

Cada 100 g de cáscara de camu camu contiene: proteínas 0,4 g; carbohidratos 5,9 g; fécula 0,44 g; vitamina C 2145 mg, agua 84,1 g; azúcar 1,28 g; fibra alimenticia 1,1 g; calcio 15,7 mg; cobre 0,2 mg; hierro 0,53 mg; magnesio 12,4 mg; manganeso 2,1 mg; grasa 0,2 g; potasio 83,8 mg; sodio 11,1 mg; zinc 0,36 mg (PAUCAR,2012).

#### **2.1.4. Componentes bioactivos de la cáscara de camu camu**

Los componentes bioactivos son ingredientes funcionales de los alimentos, capaces de aportar efectos beneficiosos a la salud, influyen en la actividad celular, en los mecanismos fisiológicos y reducen el riesgo a enfermedades crónicas. Por lo tanto, la presencia de diferentes compuestos bioactivos en la cáscara de camu camu podría ser utilizado para retardar o prevenir diversas enfermedades cardiovasculares y el cáncer. La cáscara de

camu camu también sirve para tratar la obesidad y enfermedades asociadas con ella. Asimismo es útil en reducir y mejorar la migraña, dolores de cabeza, diabetes, artritis, especialmente, resfrío y gripes severas (VALENCIA y GUEVARA, 2013).

## **2.2. Compuestos bioactivos**

### **2.2.1. Vitamina C o ácido ascórbico**

La vitamina C es un derivado de los hidratos de carbono (su síntesis química parte de la D-glucosa), tiene una estructura de cetona cíclica que corresponde a la forma fenólica de la 3-ceto-1-gulofuranolactona; contiene un etanol entre los carbonos 2 y 3 que la hace un agente ácido y altamente reductor, por lo que se oxida muy fácilmente, tiene dos formas el ácido l-ascórbico y su forma oxidada, el ácido dehidroascórbico (DHAA). En humanos ambas formas son biológicamente activas, definiéndose así la vitamina total como la suma de los dos. La vitamina C, junto con la vitamina E y A, evita el envejecimiento y la degeneración de las células al neutralizar los radicales libres por su capacidad antioxidativa, elimina sustancias tóxicas del organismo, como los nitritos y nitratos presentes en productos cárnicos preparados y embutidos. También cumple la función de fijación o eliminación del oxígeno, siendo el caso que el oxígeno provoca rancidez, pérdida de color, en otras características, cuando reacciona con varias moléculas del alimento. Además de la fijación de radicales libres y control de pardeamiento, hacen que esta vitamina sea uno de los aditivos más empleados en la industria de los alimentos (BADUI, 2013).

### - Deterioro de la vitamina C

**Por la vía anaeróbica:** La vitamina C se destruye térmicamente por vía anaeróbica no oxidativa, de menor importancia, que alcanza su máximo a pH 4 y que se ha observado en jugos de limón y concentrados de naranja en los que el oscurecimiento va acompañado de la formación de furfural, y cuya cuantificación refleja el daño térmico. Su oxidación está en función de muchas variables, principalmente disponibilidad del oxígeno, temperatura, pH (más estable a pH ácidos), metales de transición (hierro y cobre) y luz; además, también influyen algunas sales, la actividad del agua, los peróxidos, ciertas enzimas (el ácido ascórbico oxidasa que contiene cobre) y la presencia de otras vitaminas, sobre todo de la riboflavina por ser fotosensible (BADUI, 2013).

**Por vía de actividad de agua:** A medida que aumenta la actividad del agua se favorece su destrucción, ya que el Cu y el Fe actúan como catalizadores al solubilizarse, esto se ha visto en productos deshidratados, como los jitomates, cuya concentración vitamínica se reduce independientemente del oxígeno existente, pero de una manera proporcional a la actividad del agua: a valores menores de 0,4 no hay alteraciones, posiblemente porque no existe movilidad de los metales que les permita contacto con la vitamina, pero a más de 0,65, la velocidad del deterioro se incrementa de dos a cuatro veces, puesto que el agua facilita el acarreo del metal y favorece su acción (BADUI, 2013).

### 2.2.2. Polifenoles

Los polifenoles son sustancias químicamente heterogéneas de aproximadamente 10000 compuestos individuales; algunos son solubles solamente en solventes orgánicos las cuales presentan un anillo benzo hidroxilado, como un elemento común en todas sus estructuras moleculares, las cuales pueden incluir grupos funcionales como esterres, metil-esterres, glicósidos. Nuestro cuerpo los sintetiza y pasan a formar parte de la sangre aumentando la capacidad antioxidante de nuestro cuerpo. Existen muchos tipos de polifenoles, pero los más frecuentes son: los flavonoides, los ácidos, alcoholes fenólicos, estilbenos y lignanos. Los polifenoles se encuentran distribuidos ampliamente en muchas especies vegetales, como semillas de uva, manzana, cacao, corteza de pino, frutas (albaricoques, cerezas, arándanos, granadas, etcétera.) y en bebidas como en el vino tinto. También están presentes en los frutos secos, la canela, el té verde, el chocolate y en algunas semillas de leguminosas. Por ejemplo los que se encuentran en el vino absorben una enzima asociada a la formación de colesterol malo que acaba dañando nuestro organismo. Los que encontramos en las frutas absorben la acción de las sustancias oxidantes de las células que son las causantes del envejecimiento prematuro de las mismas (MONTEIRO, 2014).

#### - Deterioro de polifenoles

**Por vía aeróbica:** El oxígeno disuelto tiene un efecto negativo en la estabilidad de las antocianinas, sobre todo en las del vino; puede eliminarse por

varios métodos como la reacción con glucosa oxidasa, ya que consume oxígeno durante la transformación de la glucosa en ácido glucorónico (BADUI, 2013).

**Por temperatura:** Dada su alta hidrosolubilidad, estos pigmentos se pueden perder fácilmente por lixiviación; a medida que aumenta la temperatura se acelera la decoloración de las frutas, ya que se favorece la extracción, por lo que incluso se llega a obtener productos prácticamente incoloros (BADUI, 2013).

### **2.2.3. Actividad antioxidante**

Los antioxidantes son sustancias químicas que impiden o retrasan la oxidación de diversas sustancias, principalmente de los ácidos grasos; cuyas reacciones se producen tanto en los alimentos como en el organismo humano. Todas las moléculas presentes en la naturaleza son blancos potenciales del daño oxidativo: lípidos, proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos, etcétera. Debido al oxígeno, en el organismo, se forman especies reactivas (ROS), como el  $H_2O_2$ , HClO o radicales libre oxigenados como el anión superóxido. Entre los principales antioxidantes naturales se tiene los compuestos fenólicos, el ácido ascórbico, el tocoferol y los carotenoides, siendo encontrados con mayor frecuencia en las fuentes vegetales, destacando los frutos, semillas y aceites vegetales (CHANG, 2013).

Los antioxidantes son sustancias nutritivas y no nutritivas que pueden retardar o inhibir la oxidación y/o neutralizar los efectos perjudiciales de los radicales libres. En los seres humanos, el estrés oxidativo está implicado en un número cada vez mayor de enfermedades crónicas, como las cardiovasculares y el cáncer. Mayor contenido de antioxidantes en el organismo



podría ayudar a proteger contra el daño celular y el desarrollo de enfermedades crónicas (MUÑOZ *et al.*, 2015).

## **2.3. Aspectos generales del secado**

### **2.3.1. Secado**

El secado de alimentos mediante el sol y el viento para evitar su deterioro ha sido practicado desde la antigüedad. El agua suele eliminarse por evaporación (secado al aire, al sol, ahumado o al viento) pero, en el caso de la liofilización, los alimentos se congelan en primer lugar y luego se elimina el agua por sublimación. En la industria se utilizan varios tipos de secado como son: conducción que pueden ser directo y indirecto, convectivo por aire caliente, por radiación electromagnética (microonda), transferencia de calor (VALCARCEL, 2014).

### **2.3.2. Secado convectivo por aire caliente**

El secado convectivo por aire caliente son utilizados para secar partículas en forma laminar o en pasta. El calor se suministra a través de aire caliente o gas, el cual fluye sobre la superficie del sólido. El aire, los gases inertes, el vapor sobrecalentado, o gases de combustión directa pueden ser utilizados en sistemas de secado convectivo. La utilización del secado convectivo por aire caliente como tratamiento térmico único, en todas sus variantes, permite procesar cualquier producto alimenticio para la obtención de un producto final estable. Sin embargo produce en los alimentos algunas transformaciones que pueden atentar con su calidad final. Entre ellas podemos

mencionar alteraciones en la forma y la textura del producto; composición y estructura no uniforme, cambios de sabor y aroma, modificación del color, degradación de componentes nutricionales (BAUTISTA y VALDIVIESO, 2016).

### **2.3.3. Secado como método de conservación**

Es un método de conservación de alimentos consistente en extraer agua de estos, lo que inhibe la proliferación de microorganismos y dificulta la putrefacción (BAUTISTA y VALDIVIESO, 2016).

## **2.4. Aspectos generales de la estabilidad por pruebas aceleradas**

### **2.4.1. La estabilidad**

Los alimentos se deterioran principalmente por contaminaciones microbianas, y también por actividad enzimática y reacciones químicas; para evitar estos cambios y conservarlos por largo tiempo, se someten a uno de los procesos, o a una combinación de ellos, basados en altas temperaturas (escaldado, pasteurización, esterilización), en bajas temperaturas (refrigeración, congelación), en la eliminación del agua (deshidratación), en el control de la actividad del agua (concentración, alimentos de humedad intermedia), en el empleo de aditivos (benzoatos, sorbatos), en el control de pH (acidificación, fermentación), en el uso de radiaciones, etcétera. Por su gran importancia, en esta sección se revisará básicamente la influencia de los tratamientos térmicos en la estabilidad de estos micronutrientes (BADUI, 2013).

#### **2.4.2. Efecto de la temperatura en la velocidad de reacción (k)**

Las ecuaciones cinéticas de la vida en anaquel son específicas para el alimento estudiado y las condiciones ambientales empleadas. De los factores no composicionales que llegan a afectar las reacciones, como la temperatura, humedad relativa, presión parcial de los gases envasados, luz y tensiones mecánicas, el único normalmente incorporado a los modelos de vida en anaquel es la temperatura (FENNEMA, 2010).

Esta afecta intensamente a las velocidades de reacción y es el único factor entre los mencionados que no es afectado por el tipo de material de empaque del alimento. Los análisis matemáticos anteriores de pérdida de calidad asumen una temperatura constante (GONZALESet *al.*, 2016).

#### **2.4.3. Cinética de reacciones básicas para predecir la pérdida de calidad en los alimentos**

La cinética química es la parte de la Química-Física que estudia la velocidad de las reacciones químicas, los factores que la afectan y el mecanismo por el cual transcurren. Los cambios que ocurren en los alimentos son el resultado de numerosas y complejas reacciones químicas y bioquímicas, acompañadas de diversos efectos físicos. La velocidad de reacción es la variación por la unidad del tiempo de la concentración de un reactante o de un producto; depende de la concentración de los reactantes y, en algunos casos especiales, de los productos; es de esperar que al avanzar la reacción y modificarse las concentraciones, varíe la velocidad. Por lo tanto, conviene

referirse a la velocidad instantáneas, es decir en intervalos de tiempo infinitamente pequeños.

Esto requiere definir la velocidad de reacción como derivada de la concentración respecto al tiempo.

Dado una transformación química:



La velocidad de reacción será:

$$V = - \frac{d[A]}{dt} = - \frac{d[B]}{dt} = \frac{d[C]}{dt} \quad (2)$$

El signo negativo indica que la concentración de los reactantes [A] y [B] decrece al transcurrir el tiempo; por el contrario, el signo de la velocidad será positivo respecto al producto de la reacción [C], pues su concentración aumenta con el incremento del tiempo.

En muchos casos se ha determinado en forma experimental que la velocidad de reacción se ajusta a una expresión matemática del tipo:

$$V = k[A]^i[B]^j \quad (3)$$

Para el caso de reacciones de un solo reactivo y de orden n, la expresión de la velocidad de reacción puede ser escrita:

$$- \frac{d[A]}{dt} = k[A]^n \quad (4)$$

El concepto de reacción puede ser extendida a la pérdida de calidad para muchos alimentos, y también puede ser representada por una ecuación matemática de la forma siguiente.

$$\pm \frac{d[A]}{d\theta} = k[A]^n \quad (5)$$

Dónde:

Siendo  $A$  Factor de calidad a medir  $\theta$ : Tiempo  $k$ : Constante que especialmente depende de la temperatura y actividad de agua,  $n$ : Factor de potencia llamado "orden de reacción", el cual define si la velocidad es dependiente de la cantidad presente de A.  $\pm \frac{d[A]}{d\theta}$ : Velocidad de cambio de A con respecto al tiempo.

El signo negativo es utilizado si el deterioro es una pérdida o destrucción de A (un nutriente o un aroma) y un signo positivo señala la producción de un producto final indeseable (formación de peróxidos, coloración). Usualmente los resultados de estos estudios para predecir la pérdida de calidad no son obtenidos como una velocidad sino más bien como la cantidad de A como una función del tiempo. Así para obtener la velocidad de deterioro, uno debe transformar los datos mediante un gráfico cinético ALVARADO (2013).

#### 2.4.4. Orden de reacción

La reducción de la calidad puede representarse por una pérdida cuantificable de un atributo de calidad deseable A (por ejemplo, un nutriente o el aroma característico) o por la formación de un atributo indeseable B (por ejemplo, pérdida de aroma o de coloración). Las velocidades de la pérdida de A o la formación de B se expresan con las ecuaciones siguientes.

$$r_A = -d \frac{d[A]}{dt} = k[A]^n \quad (6)$$

$$r_B = -d \frac{d[B]}{dt} = k'[B]^n \quad (7)$$

El factor de [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  $n'$  los ordenes de reacción. La reacción aparente y las constantes son determinadas por ajustes de los datos medibles de  $[A]$  o  $[B]$  con el tiempo para las Ecuaciones (6) y (7). Las ecuaciones de velocidad que permiten resolver analíticamente la expresión de la concentración de  $A$  o  $B$  están en función del tiempo. La forma de estas funciones para diferentes órdenes de reacción se muestra en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Ecuaciones para los parámetros de calidad en función del tiempo para diferentes órdenes de reacción ( $n$ )

Orden de reacción ( $n$ )	Ecuación para A	Ecuación para B
0	$A_0 - A = kt$	$B_0 - B = kt$
1	$\ln \left[ \frac{A_0}{A} \right] = kt$	$\ln \left[ \frac{B_0}{B} \right] = kt$
$n-1$	$\frac{1}{A^{n-1}} - \frac{1}{A_0^{n-1}} = (n-1)kt$	$\frac{1}{B^{n-1}} - \frac{1}{B_0^{n-1}} = (n-1)kt$

Fuente: LABUZA (1993).

Para determinar el orden de reacción aparente se asume diferentes valores de  $n$  (0, 1 y más) y se prueba con un ajuste lineal a las ecuaciones correspondientes con los datos experimentales. Si el experimento se ha llevado a cabo por lo menos 50% de conversión y preferible 75% es normalmente fácil determinar qué orden de la reacción da mejor ajuste, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de la regresión lineal es en la mayoría de los casos un criterio suficiente.

Una vez que el orden aparente de reacción de deterioro de la calidad se ha determinado, más allá del análisis estadístico del parámetro  $k$ , la constante de velocidad se requiere para conseguir una estimación del error en la determinación de  $k$  y la vida en anaquel (TORRES y VIDAURRE, 2015).

### - Orden cero

Considerando un atributo de calidad  $A$ , que disminuye durante el periodo de almacenamiento. Un examen más íntimo del plateo lineal implica que la velocidad de pérdida de un atributo de calidad es constante a lo largo del periodo de almacenamiento y no depende de la concentración de  $A$ . Este planteo lineal representa una reacción del orden cero y sustituye  $n = 0$  por consiguiente en la Ecuación (7), se tiene:

$$-\frac{dA}{dt} = k \quad (8)$$

La ecuación (8) al integrarse resulta:

$$A = A_0 - kt_s \quad (9)$$

Donde  $A_0$  representa algún valor inicial de un atributo de calidad y  $A$  es la cantidad de ese atributo después del tiempo  $t$ .

Si al final de la vida anaquel,  $t_s$  es denotado por el atributo de calidad que alcanza en un cierto nivel  $A_e$ , entonces:

$$A_e = A_0 - kt_s \quad (10)$$

Por consiguiente, la vida en anaquel  $t_s$  puede calcularse como:

$$A_0 - A_e \quad (11)$$

$$t_s = \frac{A_0 - A_e}{k} \quad (12)$$

El planteo de la pérdida de calidad versus el tiempo es lineal en coordenadas cartesianas ( $n = 0$ ), donde el valor de  $k$  es la pendiente (TORRES y VIDAURRE, 2015).

### - Primer orden

Según FENEMA (2010), la pérdida de calidad en muchos casos no sigue una velocidad constante de degradación. Muchos alimentos siguen un deterioro de un modelo donde  $n=1$ , que resulta en un decremento exponencial en la velocidad de pérdida como calidad decreciente. Esto no significa que la vida en anaquel de alimentos que siguen este diseño es más larga que la de aquellos con una velocidad constante; desde que el valor de la constante de velocidad  $k$  es diferente.

Matemáticamente para  $n=1$  o una reacción de primer orden, la velocidad de pérdida se denota como la ecuación 13

$$-\frac{dA}{dt} = kA \quad (13)$$

Integrando resulta:

$$\ln \left[ \frac{A}{A_0} \right] = -kt \quad (14)$$

Dónde  $A$  es la cantidad del atributo de calidad dado al tiempo  $t$ . Al final de la vida en anaquel  $t_s$  para un cierto nivel final de atributo de calidad  $A_e$  también se puede escribir la ecuación (14) como:

$$\ln \left[ \frac{A}{A_0} \right] = -k t_s \quad (15)$$

O también:

$$t_s = \frac{\ln \left[ \frac{A}{A_0} \right]}{k} \quad (16)$$



A veces, es deseable conocer el tiempo de vida media de una reacción. Para obtener el tiempo de vida media, la ecuación 16 puede ser modificada sustituyendo  $Ae = 0,5 A$ .

Otra manera de representar el deterioro exponencial es planteando la pérdida de calidad versus tiempo es sobre un papel semi-logarítmico tal como se muestra en la Ecuación 17.

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{k} \quad (17)$$

Al conocer el orden de la reacción, se puede extrapolar, mediante representaciones gráficas correctas, a los valores máximos permitidos de los índices ensayados al término fijado de su vida útil (FENNEMA, 2010).

#### **- Otros órdenes**

Existen muy pocos datos para describir la degradación de alimentos por otros órdenes diferentes de cero o primer orden. La degradación de la vitamina C en alimentos líquidos como jugos de tomates o formulas envasadas para infantes, con tipo de deterioro de segundo orden pendiente (GONZALES *et al.*, 2016).

#### **2.4.5. Pruebas aceleradas**

En los casos en donde la calidad del alimento decrece lentamente bajo las condiciones reales de almacenamiento, resulta conveniente realizar estudios de vida útil mediante el método acelerado. Este método consiste en almacenar el alimento bajo condiciones ambientales que aceleren el deterioro (como por ejemplo, temperatura o humedad relativa mayores) y luego interpolar

o extrapolar la vida útil a las condiciones usualmente experimentales por el producto (CUASTUMAL *et al.*, 2016).

## **2.5. Vida de anaquel**

### **2.5.1. Concepto**

La vida en anaquel es el periodo en que un alimento mantiene las características sensoriales y de seguridad aceptables para el consumidor, almacenado bajo condiciones optimas preestablecidas las cuales depende defactores ambientales, de la humedad, de la temperatura de exposición, del proceso térmico al que se somete y de la calidad de las materias primas, entre otros. El efecto de estos factores se manifiesta como el cambio en las cualidades del alimento que evitan su venta: cambios de sabor, color, textura o pérdida de nutrientes. Para determinar la vida útil de un alimento o producto, primero deben identificarse las reacciones químicas o biológicas que influyen en la calidad y seguridad del mismo, considerando la composición del alimento y el proceso a que es sometido y se procede a establecer las reacciones más críticas en la calidad (VALLE, 2014).

### **2.5.2. Vida de anaquel acelerada**

Los métodos acelerados de la estimación de la durabilidad son útiles para disminuir el tiempo dedicado a los ensayos de estimación cuando se están estudiando productos no perecederos. Se basa en someter el producto a condiciones de almacenamiento que aceleren las reacciones de deterioro, las que se denominan abusivas, que pueden ser temperaturas, presiones parciales de oxígeno y contenidos de humedad altos. Uno de los modelos más utilizados

en la determinación de la vida de anaquel de un producto es el modelo de Arrhenius. La relación de Arrhenius, desarrollada teóricamente para reacciones químicas moleculares reversibles, ha sido experimentalmente aplicada a un número de reacciones químicas complejas y fenómenos físicos. Las reacciones de pérdida de calidad de los alimentos han mostrado que siguen un comportamiento de Arrhenius con la temperatura, dado por la siguiente ecuación:

$$K = K_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (18)$$

Donde  $K$  es la constante de velocidad de la reacción,  $K_0$  es la constante de la ecuación de Arrhenius y  $E_a$  la energía de activación que se necesita para vencer la degradación de productos. En términos prácticos esto significa que si los valores de  $K$  se obtienen a diferentes temperaturas, y se grafica el  $\ln K$  vs.  $1/T$ , se obtiene una línea recta con pendiente  $-E_a/R$ . ( $R = 1.987 \text{ cal/mol}$ , Constante universal de los gases). Usualmente, la velocidad de reacción se determina a tres o más temperaturas y  $K$  se grafica contra  $1/T$  en papel semilogarítmico o se emplea un ajuste por regresión lineal de la ecuación. El contenido de humedad y la actividad de agua pueden influenciar los parámetros cinéticos ( $E_a, K_0$ ), las concentraciones de los reactantes y en algunos casos el orden de reacción aparente. Los modelos matemáticos que incorporen el efecto de la actividad de agua como un parámetro adicional pueden ser usados para predicciones de vida de anaquel de alimentos sensibles a la humedad. También la vida de anaquel acelerada puede ser usada para predecir la vida de anaquel a condiciones normales, basada en datos recolectados a altas temperaturas y altas condiciones de humedad relativa; o por medio de una

ecuación que involucre la energía de activación, como es el caso de la relación de Arrhenius:

$$t_s = t_0 e^{\frac{-E_a}{R} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_s} \right)} \quad (19)$$

Dónde:  $t_s$  es el tiempo de vida de anaquel a la temperatura  $T_s$ ,  $t_0$  es el tiempo a la temperatura  $T_0$ ,  $R$  es la constante de los gases ideales y  $E_a$  es la energía de activación para la reacción de deterioro (CHICA y OSORIO, 2003).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo se llevó a cabo en la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) ubicada en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco; a una altitud de 660 m.s.n.m. a  $09^{\circ} 17' 08''$  de Latitud Sur, a  $75^{\circ} 59' 52''$ , con temperatura promedio anual de  $24^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa de 83,5%. Los análisis se realizaron en los siguientes laboratorios: Análisis de alimentos, Ingeniería de alimentos y en el Centro de Investigación para el Desarrollo Biotecnológico de la Amazonía (CIDBAM).

#### 3.2. Materia prima

Se usó camu camu (*Myrciaria dubia* Mc Vaugh) en estado maduro proveniente de la ciudad de Pucallpa, distrito de Yarinacocha, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali en parcelas cultivadas del caserío San Juan, ubicado a orillas del río Yarinacocha cuya ubicación geográfica está definida por las coordenadas de  $8^{\circ}19'19,89''$  latitud Sur y a  $74^{\circ}36'7,61''$  latitud O este, se cosechó durante los meses de diciembre a febrero.

### **3.3. Materiales, equipos y reactivos**

#### **3.3.1. Materiales**

Tubo de ensayo (10 y 15 mL) Pirex USA. Vaso precipitado (20, 50, 100, 1000 mL) KIMAX USA. Fiolas (10, 100 y 500 mL) FORTUNA GERMANY. Probetas (50, 100 mL) BRAND GERMANY. Mortero de porcelana HALDENWANGER ITALY. Crisol de porcelana HALDENWANGER ITALY. Pipeta (10 mL) Pirex USA. Micropipeta de 10 a 200  $\mu$ L LASANY USA. Micropipeta 100 a 1000  $\mu$ L TOPSCIEN GERMANY. Micropipeta de 1000 a 5000  $\mu$ L DRAGONLAB GERMANY. Tubos falcom (50 mL) BIOLOGIX MEXICO. Cubetas de polietileno para espectrofotómetro de 1,5 mL ISOLAB GERMANY. Tubos Eppendorf (1,5 a 2 mL) ISOLAB GERMANY. Porta cubetas de 1,5 a 3 mL. tips para micropipeta de (10-100  $\mu$ L, 100-1000  $\mu$ L, 1000-5000  $\mu$ L) ISOLAB GERMANY. Porta tips AXYGEN MEXICO. Microtubos de 2 mL. Porta microtubos de 2 mL. Gradilla. Tabla de picar. Cuchillo. Tijera. Mesa de acero inoxidable. Bolsas de polipropileno de 4 x 8 cm. Papel filtro WAHTMAN N°1.

#### **3.3.2. Equipos**

Espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS (Thermo Scientific) USA. Estufa TOMOS ODHG-9076<sup>a</sup> Heating Drying Oven GERMANY. Balanza analítica ABK210 capacidad de 210 g USA. Centrifuga MIKRO 22R (Hettich Zentrifugen) y velocidad de 10000 rpm GERMANY. Selladora de bolsa GOLDEN, Vortex MAXI MIX II USA, molinillo BOCHS GERMANY agitador magnético 625 standard (VWR™ hotplate/stirrer), refrigeradora marca coldex PERÚ, agitador orbital de bandeja BAMSTEAD. Modelo max Q2000. USA.

### 3.3.3. Reactivos

Ácido oxálico ( $C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$ ) pureza 99,5%, ácido ascórbico ( $C_6H_8O_6$ ) pureza 99,5%, 2,4 diclorofenol-indofenol, folin & Ciocalteu's phenol reagent, HI-LR 1,9 – 2,1 N, carbonato de sodio ( $Na_2CO_3$ ) scharlau pureza 99,5%, DPPH 1mM (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), ácido gálico ( $C_7H_6O_5 \cdot H_2O$ ) pureza 99,5%, 6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethyl-chromane-2-carboxylic acid, agua destilada ( $H_2O$ ), alcohol etanol 96° ALKOFARMA E.I.R.

### 3.4. Metodos de análisis

**-Cuantificación de ácido ascórbico:** método espectrofotométrico descrito por MONTEIRO(2014).

**-Cuantificación de polifenoles totales:** método reportado por CAISAHUANA (2012).

**-Cuantificación de antioxidantes:** metodo descrito por HUNG y YEN (2012).

**-Determinación del orden de reacción (n) y constante de velocidad de reacción (k):** por el modelo de integración de pérdida de calidad planteado por GONZALES (2016).

### 3.5. Metodología experimental

#### 3.5.1. Preparación de soluciones

**-Solución de ácido oxálico al 0,4%:** se pesa 0,4 gramos de ácido oxálico y se diluye con agua destilada en una fiola hasta enazarla en 100 mL, luego se agita para que se diluya.

**-Solución de 2,4 diclorofenol al 0,048%:** se pesa 0,048 g de 2,4 diclorofenol y se diluye con agua destilada en una fiola hasta enazarla a 1000 mL, luego se calienta para diluir la muestra por completo y se guarda en frasco ambar para evitar la luz.

**-Solución de carbonato de sodio 7,5%:** se pesa 7,5 g de carbonato de sodio y se diluye con agua destilada en una fiola hasta enazarla a 100 mL, luego se agita constantemente para diluir la muestra por completo, se guarda en un frasco ambar y en refrigeración.

**-Solución de Folin-Ciocalteu:** se toma 10 mL de folin y se diluye con agua destilada en una fiola hasta enazarla a 100 mL, luego se agita constantemente hasta homogenizar la muestra por completo, se guarda en un frasco ámbar y en refrigeración.

**-Solución de ácido ascórbico:** se pesa 0,01 g de ácido ascórbico en 10 mL de ácido oxálico al 0,4 %.

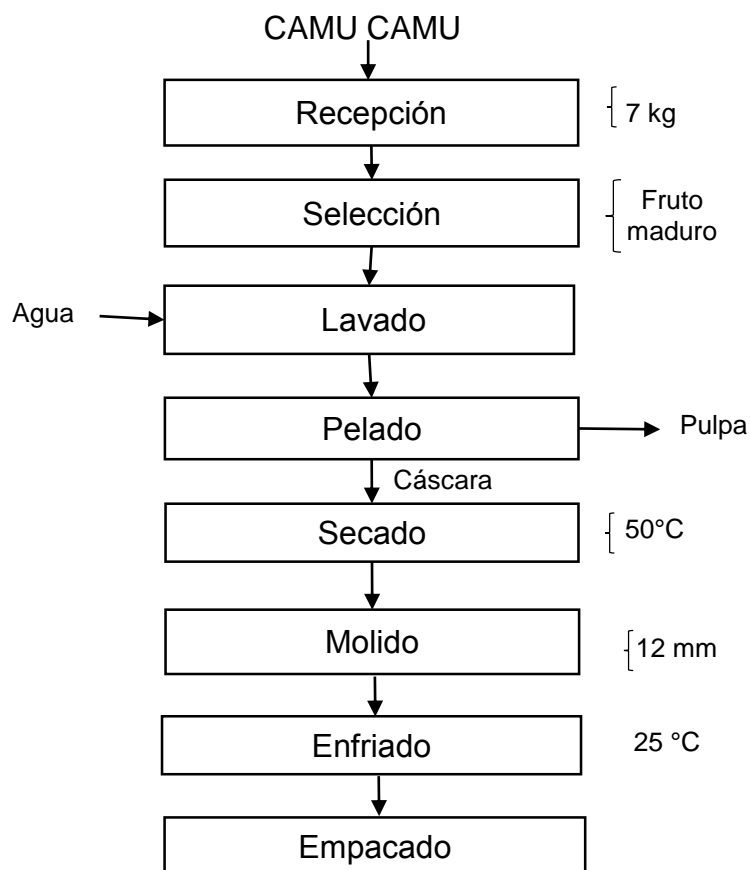
**- Obtención del extracto para análisis de polifenoles totales y capacidad antioxidante.**

Se pesa  $0,5 \pm 0,00$  g de cáscara de camu camu, se lleva a un tubo y se enraza a 20 mL con solución etanol/agua (20/10 v/v) y se somete a agitación constante por 24 horas en ausencia de luz. Se filtra con papel filtro N°40 separando la fracción líquida se somete a centrifugación (10000 rpm / 10 minutos a 4 °C), se toma 5 mL del sobrenadante (extracto) con la cual se procede a realizar los análisis.



### 3.5.2. Obtención de la cáscara de camu camu.

En la Figura 2 se muestran las operaciones para la obtención de cáscara de camu camu seca.



**Figura 2.** Diagrama de la obtención de la cáscara de camu camu

**Recepción:** se utilizaron 7 kg de camu camu para la presente investigación. **Selección:** los frutos con residuos extraños y con daño mecánico fueron separados, luego seleccionados los de mejor apariencia. **Lavado:** se lava el camu en una bandeja, conteniendo 10 L de agua para eliminar las partículas extrañas. **Pelado:** las frutas fueron peladas de forma manual para la obtención de la cáscara y pulpa, la cáscara fue puesta en mallas metálicas de 5 mm<sup>2</sup> de área. **Secado:** en un secador de bandejas por aire caliente, a 50 °C, 2,5 m/s de

velocidad de aire por aproximadamente 6 horas hasta peso constante (GARAY y VILLANUEVA, 2015). **Molido:** la cáscara de camu camu fue molido por el equipo BOSCH MKM6003, luego fue pasada por un tramiz, siendo el diámetro de la partícula 12 mm. **Enfriado:** a temperatura ambiente por un tiempo de 1 h para que no varíe el peso. **Empacado:** en bolsas de polipropileno de baja densidad con espesor 0,03 mm.

### 3.5.3. Evaluaciones durante el almacenamiento

La cáscara de camu camu en empaques de 5 gramos fueron puesto en estufa a temperaturas de 40, 50 y 60 °C, con una variación promedio de  $\pm 2$  °C. Se evaluó el contenido de vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante. El tiempo de almacenamiento, así como los intervalos de tiempo para cada análisis fueron determinados en 5 días para todos los análisis que se realizaron por triplicado y para cada temperatura de trabajo, los resultados se expresaron como valores promedios con su respectiva desviación estándar.

#### 3.5.3.1. Evaluación de Vitamina C

##### - Elaboración de la curva estándar de ácido ascórbico

Se elaboró la curva estándar de ácido ascórbico con el colorante 2,6 diclorofenolindolfenol a una concentración de 0,048 g/L con agua destilada 1000 mL y como agente reductor se empleó ácido ascórbico al 0,1% con una solución de ácido oxálico 0,4%, las concentraciones para la curva estandar estuvieron comprendidos entre 10 a 50 mg A.A./100 mL, tal como se muestra en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Concentraciones para la curva estándar de ácido ascórbico.

<b>Tubos</b>	<b>Ácido ascórbico (0,1%)</b>	<b>Ácido Oxálico al 0,4%</b>	<b>mg / 100 mL</b>
E1	10 µL de ácido ascórbico	990 µL de ácido Oxálico	1
E2	20 µL de ácido ascórbico	980 µL de ácido Oxálico	2
E3	30 µL de ácido ascórbico	970 µL de ácido Oxálico	3
E4	40 µL de ácido ascórbico	960 µL de ácido Oxálico	4
E5	50 µL de ácido ascórbico	950 µL de ácido Oxálico	5

En el Cuadro 4 se indica las muestras contenidas en los tubos Eppendorf. Con el tubo I se ajusta la absorbancia a cero, con el tubo II se obtiene la absorbancia (L1), nuevamente se ajusta a cero la absorbancia con el tubo III y con el tubo IV se obtiene la absorbancia (L2), procediéndose de igual forma en todos los estandares de trabajo, todas las lecturas se hicieron con tres repeticiones. Con los resultados obtenidos L1 - L2, se lleva a las ejes de las ordenadas vs concentraciones (mg A.A/100 mL) (Anexo A-I), en el eje de las abscisas se procedió a realizar la regresión lineal y a obtener el coeficiente de correlación.

**Cuadro 4.** Contenido de los tubos para la lectura en el espectrofotómetro

<b>Tubo</b>	<b>Contenido</b>
I	1000 µL de agua destilada
II	100 µL de ácido oxálico al 0,4% + 900 µL de colorante
III	100 µL de estándar de trabajo (E1-E5) + 900 µL de agua destilada
IV	100µL de estándar de trabajo (E1-E5) + 900 µL de colorante

### - Evaluación de la vitamina C

Se pesó  $0,3 \pm 000$  g de cáscara de camu camu. En un mortero se agrega 10 mL de ácido oxálico al 0,4 % y se mezcla la muestra hasta que se disuelve por completo, se coloca en un tubo de ensayo por 30 minutos para que sedimente bajo sombra y se toma 5 mL del sobrenadante para ponerlo en unos tubos de Eppendorf de 1,5 mL. Se lleva a la centrifuga con 10000 rpm por 10 minutos a 4 °C y se toma 1 mL del sobrenadante para el análisis. Se prepara la solución de la muestra diluida 1:40 (tomando como muestra 40  $\mu$ L + 1560  $\mu$ L ácido oxálico al 0,4% obteniendo un volumen de 1,600  $\mu$ L). Se coloca en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 515 nm en una cubeta conteniendo 1000 mL de agua destilada y en la otra 100  $\mu$ L de ácido oxálico al 0,4 % + 900  $\mu$ L de colorante siendo nuestra (L1) .Igualmente se hace para (L2) con la adición de 100  $\mu$ L la muestra diluida. Todas las lecturas se hicieron por triplicado.

Se calculó el contenido de vitamina C utilizando la siguiente formula:

$$A_{515\text{ nm}} = A_{\text{control}}(L1) - A_{\text{muestra}}(L2) \quad (20)$$

Donde:

A= Concentración de vitamina C

L1 = Absorbancia del colorante o control

L2 = Absorbancia de la muestra

Con el valor obtenido se reemplaza en la ecuación dada por la curva estándar (A-I) esta concentración se multiplica por el factor de dilución 1/40 y se obtiene la concentración de la vitamina C en mg/mL.

### **3.5.3.2. Polifenoles totales**

#### **- Elaboración de la curva estándar y obtención de polifenoles**

Se preparó una solución stock de 5 mL de ácido gálico a una concentración de 1 mg/mL a partir del cual se prepararon concentraciones de: 10, 25, 50, 75 y 100 ug/mL, luego se toma 500 µL de reactivo de Folin Ciocalteu y 400 µL de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) 7,5 %, para cada tratamiento. Se dejan en la oscuridad por 2 h a temperatura ambiente y se procede a leer en el espectrofotómetro UV/VIS a una longitud de onda de 740 nm, con los resultados se prepara la curva estandar (A-III). Se tomó 100 µL del extracto (20/10 v/v) con el procedimiento similar a la curva estandar, todas las lecturas se hicieron por triplicado. Los resultados se expresan como equivalente de ácido gálico (mg EAG/100 g de muestra).

### **3.5.3.3. Capacidad antioxidante**

#### **- Elaboración de la curva estándar**

La curva estandar de Trolox se preparó a una concentración de 2 mM (0,05 g de Trolox en 100 mL de etanol al 96%), a partir del cual se prepararon las concentraciones (0,25 a 1,5 mM), que se muestra en el Cuadro 5. Se toma 25 µL de etanol al 96% + 975 µL de estandar (1, 2, 3 y 4) en una cubeta y en otra cubeta (blanco) etanol al 96%, midiendo la absorbancia en el espectrofotómetro a 515 nm tomando el valor a los 10 minutos o cuando el valor es constante.

Con los resultados obtenidos se grafica la concentración vs absorbancia.

**Cuadro 5.** Concentraciones para la curva estándar de capacidad antioxidante.

<b>Estándar</b>	<b>Stock de trolox (<math>\mu\text{L}</math>)</b>	<b>Agua (mL)</b>	<b>Concentración Trolox (mM)</b>
Estándar 1	750	250	1,5
Estándar 2	500	500	1
Estándar 3	250	750	0,5
Estándar 4	125	875	0,25

#### **- Evaluación de la capacidad antioxidante (DPPH).**

Se tomó 5 mL de solución stock de DPPH a 1 mM (0,0394 g de DPPH en 100 mL de etanol al 96%) y se enrasa a 50 mL de etanol, luego es puesto en frasco ambar y conservado a 4 °C protegido de la luz. Se tomó 25  $\mu\text{L}$  del extracto de la muestra + 975  $\mu\text{L}$  solución de DPPH a 0,1 mM, midiendo la absorbancia en el espectrofotómetro tomando el valor a los 10 minutos o hasta que se observe un valor de absorbancia constante, todos los análisis se hicieron por triplicado. El valor de absorbancia sirve para calcular la curva de Trolox, los resultados se expresaron en capacidad antioxidante equivalente a Trolox ( $\mu\text{M}$  TEAC /g).

### **3.6. Determinación de los parámetros cinéticos**

#### **3.6.1. Orden de reacción (n) y constante de velocidad de reacción (k)**

Para determinar el orden de reacción, fueron evaluados los contenidos de las vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante, se eligió un orden de reacción (n) igual a cero, primer orden y segundo orden, para luego integrar la ecuación:

$$\pm \frac{dA}{dT} = kA^n \quad (22)$$

Para  $n = 0$  se tiene :  $A = A_0 + kt$

Para  $n = 1$  se tiene :  $\ln A = \ln A_0 + kt$

Para  $n = 2$  se tiene :  $\frac{1}{A} = \frac{1}{A_0} + kt$

En las ecuaciones se reemplaza los resultados promedio experimentales de A (vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante) y t que es el tiempo de almacenamiento a las temperaturas de 40, 50 y 60°C), k es la constante de velocidad de reacción (valor de la pendiente de dicha regresión y n es el orden de reacción). Se regresionó linealmente para escoger la ecuación (n=0, n=1 y n=2) que mejor se ajusta a los datos experimentales, en base al coeficiente de correlación ( $R^2$ ). Se determinó el orden de reacción para cada factor de calidad medido, también se determinaron los valores de las constantes de velocidad de reacción (k) que es igual al valor de la pendiente de dicha regresión para cada temperatura de estudio.

### 3.6.2. Energía de activación ( $E_a$ ) usando el modelo Arrhenius.

Para la evaluación de la energía de activación se usó la ecuación de Arrhenius relacionando la constante de velocidad de reacción (k) con la temperatura.

$$K = K_0 e^{\frac{E_a}{RT}} \quad (23)$$

Al aplicar logaritmo a ambos lados de la ecuación toma una forma lineal, donde al graficar  $\ln k$  contra  $1/T$  daría una línea recta cuya pendiente sería igual a  $(- E_a/R)$ , la que nos servirá para determinar la vida útil del alimento.

$$\ln K = \ln K_0 - \frac{Ea}{R(T)} \quad (24)$$

Los valores de las constantes de velocidad de reacción obtenidos experimentalmente a sus respectivos temperaturas en grados kelvin (°K), se ajustan al modelo de Arrhenius por regresión.

Luego en la pendiente de la ecuación obtenida se reemplaza el valor de  $R = 1,98717 \text{ cal.mor}^{-1}\text{K}^{-1}$ , y se despeja la energía de activación  $Ea$ .

$$b = -\frac{Ea}{R} \quad (25)$$

Donde:

$b$  : Pendiente de la ecuación

$Ea$  : Energía de activación



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Evaluaciones en la cáscara de camu camu durante el almacenamiento.

#### 4.1.1. Vitamina C

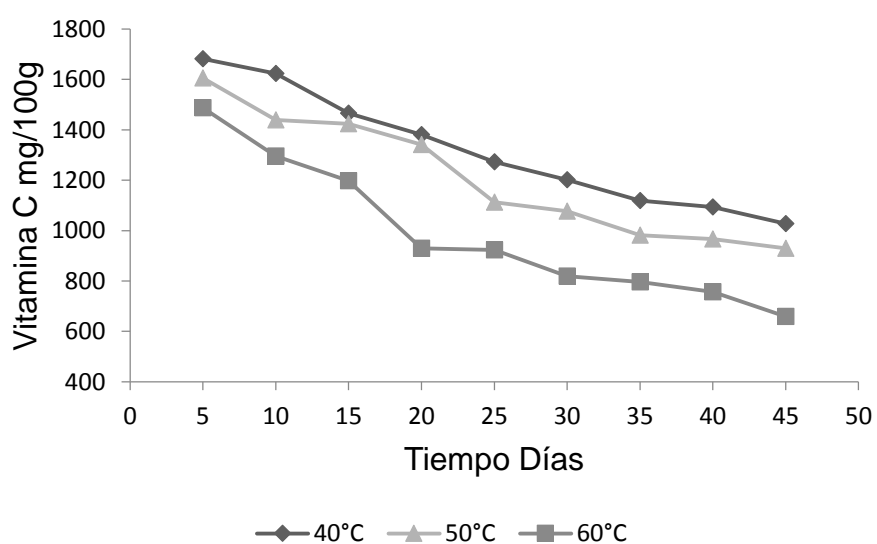
Para la curva estandar de la vitamina C se usó ácido ascórbico (A), según FRACASSETTI *et al.* (2013), el ácido ascórbico por su alta sensibilidad y exactitud, teniendo en cuenta que el analito es una vitamina sensible a la degradación por cambios de temperatura y radiación.

El valor  $R^2=0,9912$  obtenido, indica un buen ajuste, el  $R^2$  encontrado fue superior a lo citado por KLINAR *et al.* (2009), quienes obtuvieron un  $R^2$  de 0,983, también mencionan que los ácidos presentes en la fruta, facilitan la degradación del ácido ascórbico.

Los datos obtenidos de la evaluación de vitamina C durante el almacenamiento a diferentes temperaturas se muestran en el Anexo-II, y en el Cuadro 6 y la Figura 3, los resultados promedio. Al día cero la cáscara de camu camu presenta 1825,74 mg AA / 100 g de camu camu contenido menor a lo indicado por ARRELLANO *et al.* (2016), quienes reportan 2780 mg/100 g y SOTERO *et al.* (2009), encontró en el banco de Germoplasma INIA-Loreto 10506,37  $\mu\text{g}/100\text{ g}$ .

**Cuadro 6.** Vitamina C durante el almacenamiento a diferentes temperaturas.

Tiempo (días)	40 °C	50 °C	60 °C
5	1682,35	1605,15	1487,50
10	1622,88	1439,87	1296,08
15	1466,01	1423,53	1198,04
20	1381,05	1341,83	930,07
25	1273,20	1113,07	923,53
30	1201,31	1077,12	818,95
35	1119,61	982,35	796,08
40	1093,46	966,01	756,86
45	1028,10	930,07	658,82

**Figura 3.** Variación del contenido de vitamina C en cáscara de camu camu en almacenamiento a temperaturas de 40, 50 y 60 °C.

A los 5 y 10 días de almacenamiento se observa un efecto en el deterioro de la vitamina C en el almacenamiento a 60 °C, hubo una disminución considerable en el contenido de ácido ascórbico a los 45 días. ARELLANO *et al.* (2016), sostienen que el ácido ascórbico, es termosensible y en procesos que implican condiciones de calor puede causar disminución en su contenido. Asimismo, VILLAREAL *et al.* (2013), indican que el efecto se atribuye a que la vitamina C de la cáscara puede degradarse fácilmente por exposición a la temperatura y por oxidación.

A los 20 días de almacenamiento a 60 °C, fue donde más se perdió (50,94%), almacenadas a 50 y 40 °C conservaron mejor la vitamina C (73,49% y 75,64%, respectivamente). CUASTUMAL *et al.* (2016) mencionan que todos los tratamientos de temperatura (30, 40, 50, 60 y 70 °C), lograron reducir significativamente la vitamina C. MENDOZA-CORVIS *et al.* (2017) mencionan que el ácido dehidroascórbico se caracteriza por ser uno de los constituyentes más termosensibles en los alimentos y es por eso su disminución en el almacenamiento.

A 45 días de almacenamiento se observó un desenso considerable de vitamina C, donde la mayor pérdida es a 60 °C es 36,08 % y a 40, 50 °C son las temperaturas a las que se conservó la vitamina (56,31 y 50,94 % respectivamente). De acuerdo con CASTAÑEDA *et al.* (2010), las pérdidas en vitamina C de la cáscara de camu camu pueden aducirse a que el ácido ascórbico es un componente muy sensible a la temperatura (calor) y oxidación.

#### 4.1.2. Polifenoles totales

La curva estándar realizada para la cuantificación de polifenoles totales presenta un  $R^2 = 0,992$  (A-III), mostrando un buen ajuste al modelo matemático. Se puede observar que existe relación con lo encontrado por CABRERA (2015) quién encontró un  $R^2 = 0,996$  utilizando ácido gálico para la curva estándar de los polifenoles.

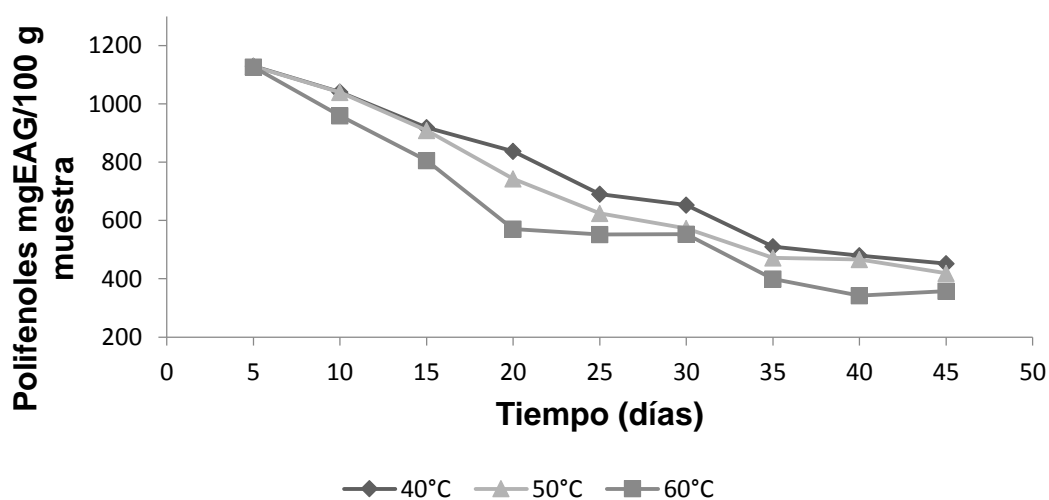
Los datos obtenidos de la evaluación de polifenoles totales durante el almacenamiento a diferentes temperaturas se muestran en el Anexo-IV, y los resultados promedio en el Cuadro 7 y la Figura 4.

En el día cero se obtuvo 1604,30 mg EAG / 100 g de muestra. RAMIREZ *et al.* (2012), encontraron el mayor contenido de polifenoles totales (utilizando el ácido gálico) en el microencapsulamiento. RAGA-CARREÑO *et al.* (2014) indican que por ser un frutal climatérico, con lleva a que aumente los polifenoles y exista un equilibrio.

A los 15 días de almacenamiento a 60 °C, la cáscara seca de camu camu conserva menos los polifenoles con un 50,24%, en cambio a 50 y 40 °C de almacenamiento presentan mejor porcentaje (56,64 y 57,23% respectivamente). Según SOTO y BARRAZA (2014), esta fruta cuando es sometida a altas temperaturas sufre pérdida de peso, deterioro significativo y reducción de su vida útil por efecto del acelerado proceso de maduración, desmejorando su apariencia y calidad.

**Cuadro 7.** Polifenoles totales durante el almacenamiento a diferentes temperaturas.

Tiempo (días)	40 °C	50 °C	60 °C
5	1129,78	1128,98	1126,58
10	1041,13	1039,33	959,53
15	918,30	908,76	806,10
20	837,13	743,53	570,73
25	690,78	624,12	551,58
30	653,44	572,70	553,10
35	510,73	471,53	399,07
40	479,53	466,73	342,84
45	452,64	419,04	358,24



**Figura 4.** Variación de la concentración de polifenoles totales en la cáscara de camu camu en almacenamiento a temperaturas de 40 ,50 y 60 °C

A los 20 días de almacenamiento a 60 °C se observa un descenso de polifenoles de 35,57 %, a 40 y 50 °C (52,18 y 46,34 % respectivamente).

Según MUÑOZ *et al.* (2015), el incrementar la temperatura también puede contribuir a la activación de enzimas que participan en la descomposición de los compuestos complejos que crean puentes de hidrógeno con los compuestos fenólicos, facilitando la extracción de éstos.

A los 45 días de almacenamiento se diferencian los porcentaje de polifenoles, se puede observar que a 60 °C de almacenamiento perdió mayor cantidad (22,32 %) con respecto a los demás tratamientos. Según COFRE (2015), en el tratamiento de 45 y 55 minutos la concentración disminuyó considerablemente debido a la inestabilidad de los polifenoles totales a prolongados tiempos de exposición a altas temperaturas.

#### **4.1.3. Capacidad antioxidante (DPPH)**

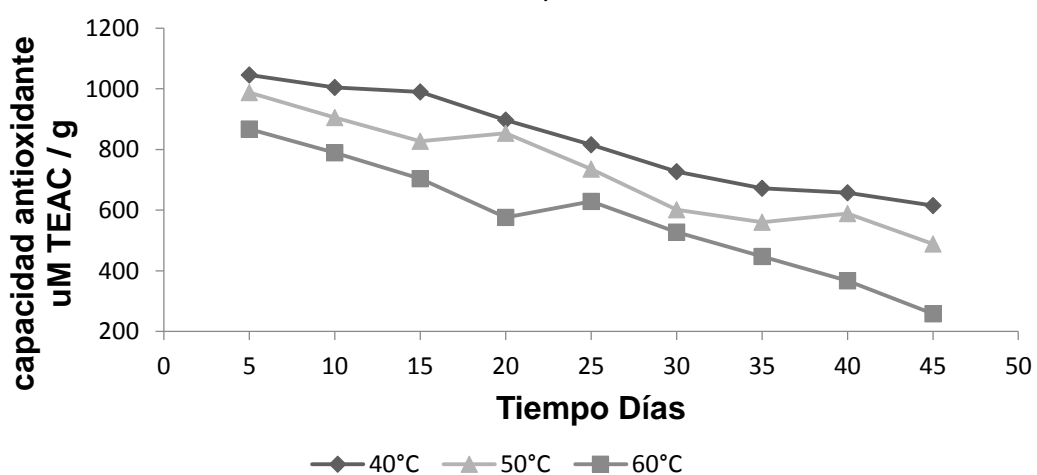
Realizada la regresión entre la absorbancia y la concentración a 2 mM se encontró un  $R^2 = 0,9987$  (A-V), este valor encontrado permite afirmar que la curva tuvo buen ajuste al modelo matemático. El  $R^2$  encontrado fue superior a lo citado por CEDEÑO (2017), quien reporta un  $R^2 = 0,9905$ , realizó utilizó la curva de calibración, usando el reactivo de Trolox a concentraciones de 250, 500, 750 y 1000  $\mu\text{mol Trolox}/\mu\text{L}$ .

Los datos obtenidos de la evaluación de la capacidad antioxidante durante el almacenamiento a diferentes temperaturas se muestran en el Anexo-VI, y los resultados promedio en el Cuadro 8 y la Figura 5.

**Cuadro 8.** Capacidad antioxidante durante el almacenamiento a diferentes temperaturas.

Tiempo (Días)	40 °C	50 °C	60 °C
5	1046,26	988,19	867,41
10	1004,46	905,24	788,98
15	989,73	826,96	703,72
20	897,12	853,84	576,10
25	816,11	735,50	628,53
30	726,48	601,43	527,54
35	672,36	559,97	447,44
40	657,24	589,03	366,83
45	615,39	488,28	258,54

**Figura 5.** Variación de la concentración de capacidad antioxidante en la cáscara de



camu camu en almacenamiento a temperaturas 40, 50 y 60 °C.

En el día cero se obtuvo 2208,92  $\mu\text{M TEAC / g}$  siendo lo encontrado, inferior a lo mencionado por NEVES *et al.* (2015), quienes realizando estudios similares para DPPH, detectaron la máxima actividad antioxidante de camu camu ( 5848,90  $\mu\text{mol Trolox mEq/100 g}$  de muestra de cáscara ).

A los 5 días se encontró diferencias en el almacenamiento a 60 °C con una capacidad antioxidante de 39,26% respecto al inicial, siendo inferior a los otras temperatura de 40 y 50 °C con 47,37 y 44,73 % respectivamente, constatando que la temperatura es un factor muy influyente en la capacidad antioxidante. Según ESTRADA *et al.* (2014), estas pérdidas pueden ocasionarse debido a que durante la deshidratación por secado, se establece una transferencia de masa de dos vías: el agua y algunas sustancias naturales solubles.

Al los 25 días se observa que a 60 °C hay una tendencia a descender la capacidad antioxidante con respeto a los 40 °C que tienden a mantenerse. ZAPATA *et al.* (2015) determinaron que la perdida de la actividad antioxidante era del 4% en secados por minien capsulamiento.

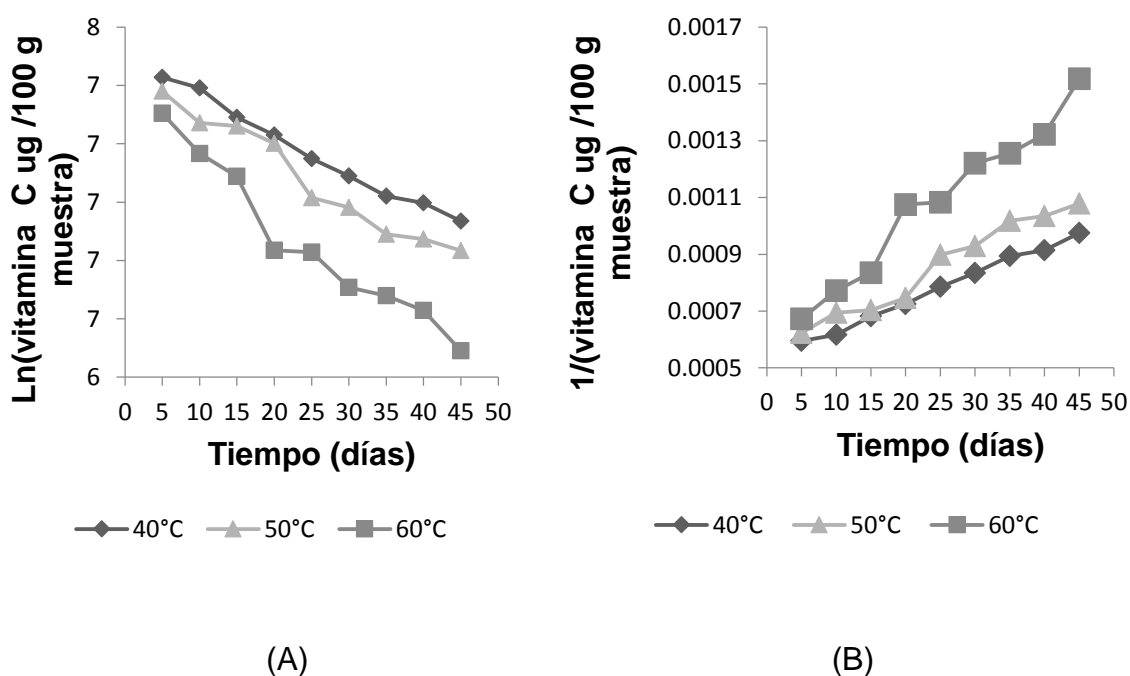
A los 45 días de almacenamiento se observa que hay variación entre las temparturas de 40°C con una capacidad antioxidante de 615,39  $\mu\text{M TEAC /g}$ , y a 60 °C con 258,54  $\mu\text{M TEAC / g}$  con una pérdida considerable de la capacidad antioxidante. BUSOS (2016) observó que cuando la capacidad antioxidate es sometia a bajas temperatura y a un tiempo de almacenamiento existe una relacion directa en el descenso de los polifenoles.



## 4.2. Parámetros cinéticos en el almacenamiento

### 4.2.1. Orden de reacción (n) y constante de velocidad de reacción (k) para el deterioro de la vitamina C.

El orden de reacción en un alimento se puede calcular en función a la concentración de los reactantes o de los productos. Se evalúa la velocidad o rapidez de las reacciones de deterioro, expresados como cambios de concentración por unidad de tiempo.



**Figura 6.** Ajuste de los valores experimentales de degradación de vitamina C a los modelos de cinética orden 1(A) y orden 2(B).

Para cada grupo de datos de concentraciones de vitamina C se elaboran gráficos, que incluyen la concentración de vitamina C vs tiempo (orden 0) tal como se muestra en la Figura 3, otra figura de logaritmo natural de concentración de vitamina C vs tiempo en orden 1 como se puede observar en las Figuras 6(A). Finalmente un gráfico de 1/ concentración de vitamina C vs

tiempo en orden 2 como se muestra en la Figura 6(B). El criterio para determinar el orden de reacción será el que mas se ajuste al modelo, cuantificado por el coeficiente de correlación ( $R^2$ ). GONZALES *et al.* (2016), indica que el olor extraño, brillo, sabor característico, consistencia y jugosidad del camu camu, se ajustan mejor a cinética de primer orden, mientras que el resto de atributos siguieron una cinética de orden cero.

Los valores de la constante de velocidad de reacción K de la concentración de vitamina C en el almacenamiento ajustado a los modelos de la cinética de orden cero, primer orden y segundo orden, se muestra en el Cuadro 9.

**Cuadro 9.** Constante de velocidad de reacción (K) de la concentración de vitamina C de la cáscara de camu camu.

T° C	Orden 0		Orden 1		Orden 2	
	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>
40	-16,926	0,974	-0,013	0,988	0,000010	0,994
50	-17,563	0,947	-0,014	0,959	0,000012	0,966
60	-19,491	0,914	-0,019	0,953	0,000020	0,971

De acuerdo al factor de correlación ( $R^2$ ) los datos experimentales se ajustan mejor a un modelo de cinética de primer orden con un valor de  $R^2$  promedio de 0,967. GONZALES *et al.* (2016), obtuvieron en cinética de orden 1, un valor de 0,988, estos resultados muestran un comportamiento similar al dato obtenido.

### - Energía de activación para la degradación de la vitamina C.

Las constantes de velocidad de reacción (K) de orden cero, uno y dos fueron acondicionadas para el ajuste del modelo de Arrhenius que se muestra en el Cuadro 10.

**Cuadro 10.** Constante de velocidad de reacción (K) de vitamina C para orden 0, 1 y 2.

Temperatura		Constante de velocidad de reacción k			
T °C	°K	1/°K	Orden 0	Orden 1	Orden 2
40	313	0,0032	16,926	0,0128	0,000010
50	323	0,0031	17,563	0,0145	0,000012
60	333	0,0030	19,491	0,0194	0,000020

Con los valores de regresión al modelo de Arrhenius se determinó la energía de activación (Ea) el cual se detalla a continuación, para orden cero:

$$\text{Modelo de Arrhenius} \quad : K = K_0 \cdot e^{-Ea/RT}$$

$$\text{Ecuación regresionada} \quad : Y = 173,24^{-731,6x}$$

$$\frac{Ea}{R} = \frac{Ea}{8,3145 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \text{K}^{-1}} = 731,6$$

$$Ea = 731,6 \times 8,3145 = 6082,89 \text{ J/mol}$$

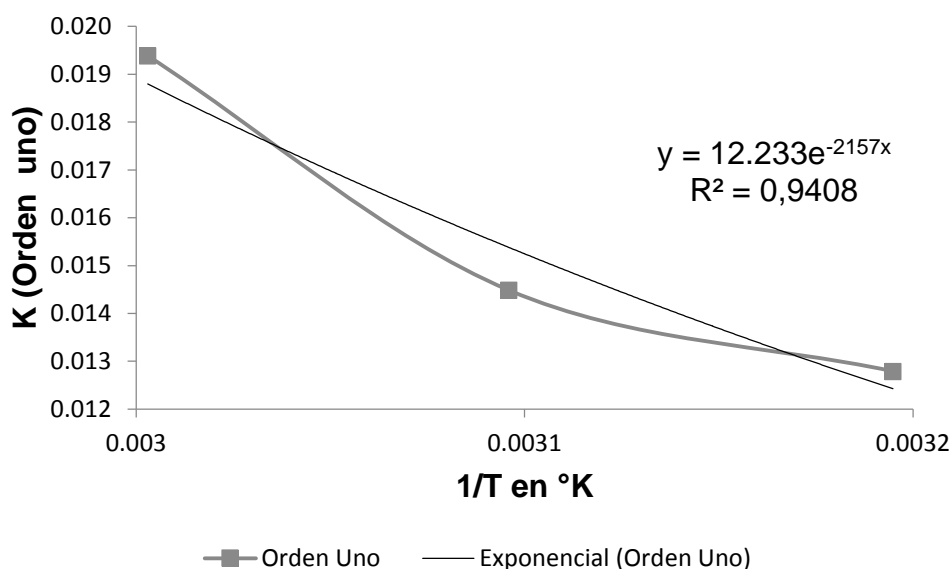
$$Ea_{(\text{orden cero})} = 6,08289 \text{ KJ/mol y } K_{0(\text{orden cero})} = 173,24 \text{ mg/g.}$$

De esta forma, se obtuvo la energía de activación (Ea) para orden uno y dos. Los parametros de Arrhenius para la degradación de vitamina C en la cáscara de camu camu se muestra en el Cuadro 11.

**Cuadro 11.** Parametros de Arrhenius para la degradación de vitamina C en la cáscara de camu camu.

Orden de reacción (n)	K <sub>0</sub>	Ea(KJ/mol)	R <sup>2</sup>
Orden cero	173,24	6,08289	0,9203
Orden uno	12,233	17,9343765	0,9408
Orden dos	1,3053	30,830166	0,9419

**Figura7.** Constante de velocidad de reacción (K) de concentración de vitamina C en



ecuación de orden uno, ajustada a la ecuación de Arrhenius.

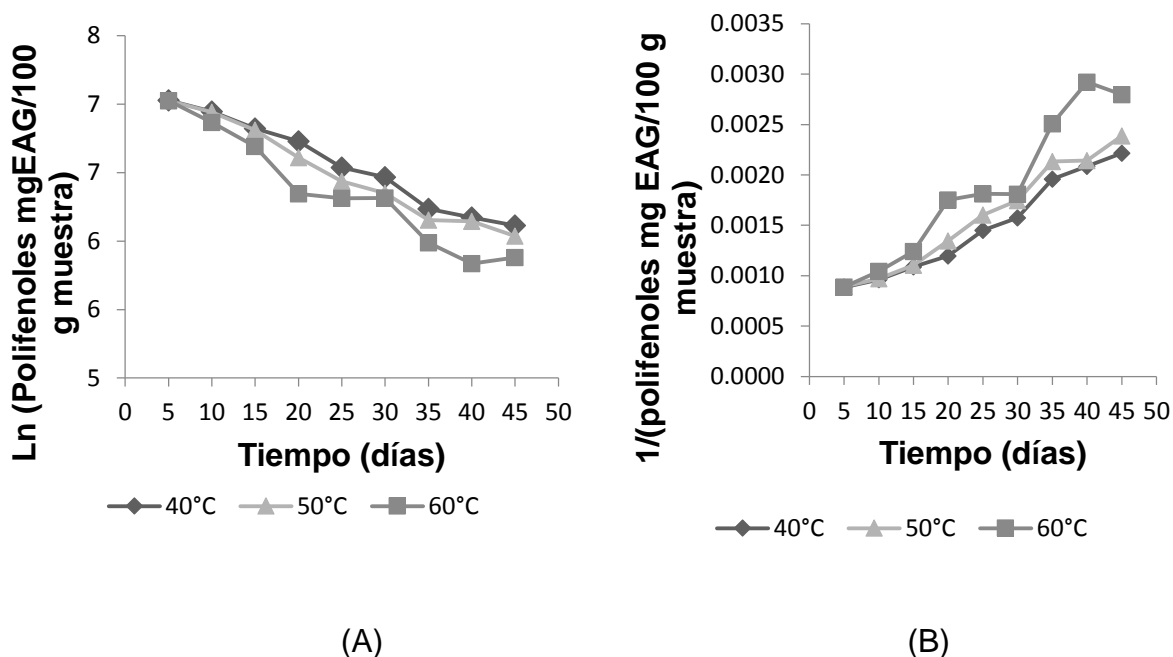
Los valores de constante de velocidad de degradación de vitamina C (k) que mejor se ajusta al modelo de Arrhenius es el de orden uno (Cuadro 10) con un R<sup>2</sup> de 0,9408. Según TERRY (2015), el deterioro de vitamina C a 20 y 50 °C presenta un factor de correlación de 0,9128 y 0,9723 aplicando un análisis de regresión exponencial primer orden.

Finalmente el modelo matemático que representa el comportamiento del deterioro de vitamina C, a la temperatura de 20 °C es:

$$\ln \text{vitamina C} = \ln \text{vitamina C}_{\text{inicial}} - 0,0078 t_{\text{días}}$$

#### 4.2.2. Orden de reacción (n) y constante de velocidad de reacción (k) para el deterioro de polifenoles totales.

Para cada grupo de datos de concentración de polifenoles totales se elaboraron gráficos, concentración de polifenoles totales vs tiempo en orden 0, (Figura 4), logaritmo natural de concentración de polifenoles totales vs tiempo en orden 1, Figura 8 (A). Finalmente 1/concentración de polifenoles totales vs tiempo en orden 2 como se muestra en la Figura 8(B). El criterio para determinar el orden de reacción será el que más se ajuste al modelo, cuantificado por el coeficiente de correlación ( $R^2$ ).



**Figura 8.** Ajuste de los valores experimentales de degradación de polifenoles totales a los modelos de cinética Orden 1 (A) y orden 2 (B).

Los valores de la concentración de polifenoles totales fueron ajustados a los modelos de la cinética de orden cero, uno y dos, el resultado de estos ajustes se muestra en el Cuadro 12.

TORRES y VIDAURRE (2015), obtuvieron como resultado de polifenoles una cinética de orden uno dando una energía de activación de 13,4571 Kcal/mol. De acuerdo a los resultados obtenidos, el deterioro de la polifenoles totales corresponde a la cinética de orden uno.

**Cuadro 12.** Constante de velocidad de reacción (K) de la concentración de polifenoles totales de la cáscara de camu camu

T° C	Orden 0		Orden 1		Orden 2	
	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>
40	-17,974	0,976	-0,0247	0,9858	0,000036	0,973
50	-18,676	0,949	-0,0264	0,9794	0,000040	0,982
60	-19,184	0,903	-0,0304	0,9497	0,000053	0,945

**- Energía de activación para la degradación de los polifenoles.**

La constante de velocidad de reacción (K) a orden cero, primero y segundo a diferentes temperaturas acondicionadas para el ajuste del modelo de Arrhenius se muestra en el Cuadro 13.

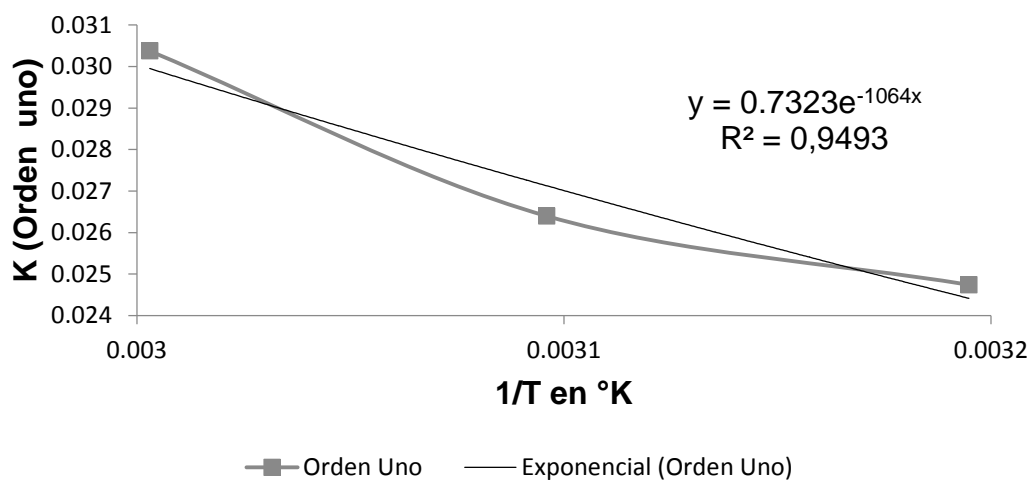
En el Cuadro 14, se presenta los parametros de Arrhenius para la degradación de polifenoles totales en la cáscara de camu camu.

**Cuadro 13.** Constante de velocidad de reacción (K) de polifenoles totales para orden 0, 1 y 2.

Temperatura		Constante de velocidad de reacción k			
T °C	°K	1/°K	Orden 0	Orden 1	Orden 2
40	313	0,0032	17,974	0,0247	- 0,000036
50	323	0,0031	18,676	0,0264	- 0,000040
60	333	0,0030	19,184	0,0304	- 0,000053

**Cuadro 14.** Parametros de Arrhenius para la degradación de polifenoles totales en la cáscara de camu camu.

Orden de reacción (n)	K <sub>0</sub>	Ea(KJ/mol)	R <sup>2</sup>
Orden cero	53,33	2,82609855	0,993
Orden uno	0,7323	8,846628	0,9493
Orden dos	0,0873	0,00000025	0,9003

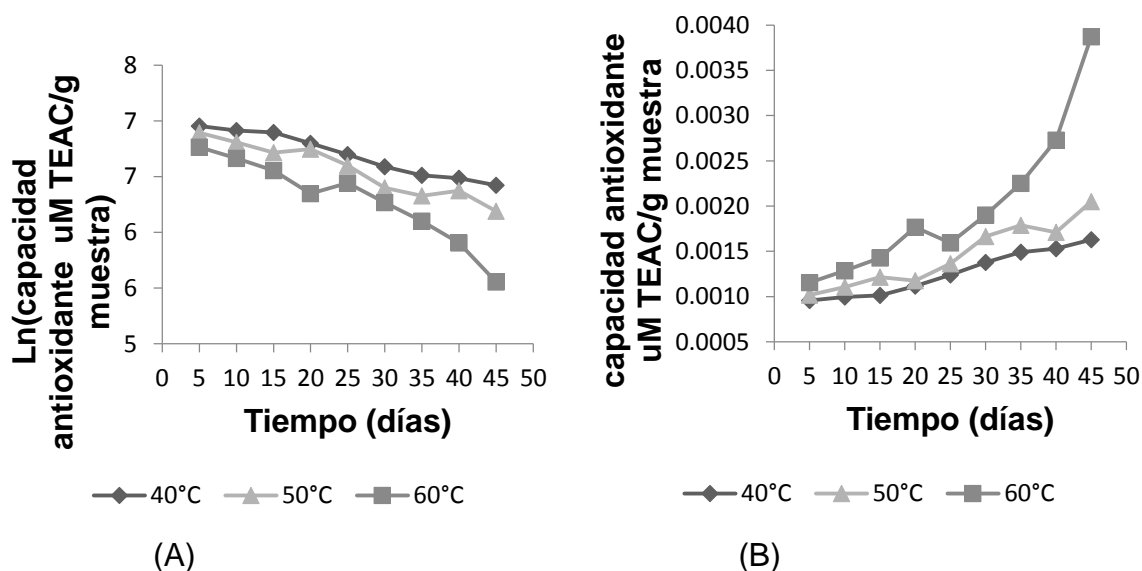


**Figura 9.** Constante de velocidad de reacción (K) de concentración de polifenoles totales en ecuación de orden uno, ajustada a la ecuación de Arrhenius.

Del Cuadro 14 se puede afirmar que el valor de  $k$  que mejor se ajusta al modelo de Arrhenius es el de orden uno. VALDEZ-HERNANDEZ *et al.* (2015), obtuvieron una energía de activación de 11,47 kJ/mol en cinética de de orden uno para los polifenoles totales.

#### 4.2.3. Orden de reacción ( $n$ ) y constante de velocidad de reacción ( $k$ ) para el deterioro de la capacidad antioxidantes.

Se elaboraron gráficos, concentración de capacidad antioxidante vs tiempo en orden 0 (Figura 5), logaritmo natural de concentración de capacidad antioxidante vs tiempo en orden 1, Figura 10(A),  $1/\text{concentración de capacidad antioxidante}$  vs tiempo en orden 2, Figura 10(B). El criterio para determinar el orden de reacción que más se ajuste al modelo, será por el coeficiente de correlación ( $R^2$ ).



**Figura 10.** Ajuste de los valores experimentales de degradación de capacidad antioxidantes a los modelos de cinética Orden 1(A) y orden 2(B)



El resultado del ajuste se muestra en el Cuadro 15. COFRE (2015) obtuvo un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,72$  a un nivel de confianza de 95% mientras que el valor de  $R^2$  obtenido es de 0,9357.

**Cuadro 15.** Constante de velocidad de reacción (K) de la concentración de capacidad antioxidante de la cáscara de camu camu.

T° C	Orden 0		Orden 1		Orden 2	
	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>
40	-11,902	0,972	-0,015	0,975	0,000018	0,973
50	-12,449	0,946	-0,017	0,944	0,000025	0,929
60	-14,210	0,969	-0,027	0,923	0,000057	0,817

**- Energía de activación para la degradación de los antioxidante.**

La constante de velocidad de reacción (K) a orden cero, uno y dos acondicionadas para el ajuste del modelo de Arrhenius se muestra en el Cuadro 16.

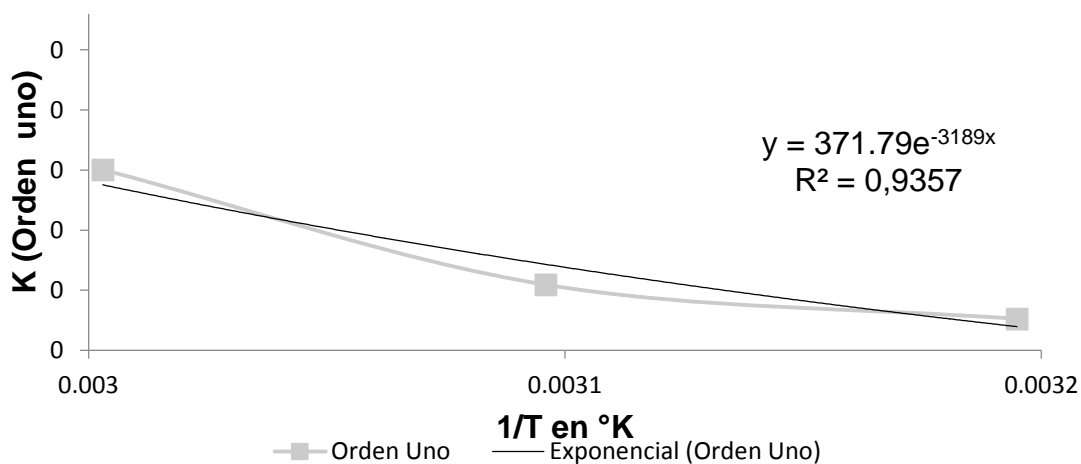
**Cuadro 16.** Constante de velocidad de reacción (K) de la capacidad antioxidante para orden 0, 1 y 2.

T° C	Temperatura		Constante de velocidad de reacción k		
	°K	1/°K	Orden 0	Orden 1	Orden 2
40	313	0,0032	11,902	0,0146	- 0,000018
50	323	0,0031	12,449	0,0175	- 0,000025
60	333	0,0030	14,210	0,0270	- 0,000057

El ajuste de los valores de velocidad de reacción ( $k$ ) de diferentes ordenes de reacciones al modelo de Arrhenius y la energía de activación se muestra en el Cuadro 17. Según SANCHEZ *et al.* (2015), los datos obtenidos se ajustan a la velocidad de reacción de orden uno, con un  $K$  igual a 0,0675 para 90 °C de almacenamiento.

**Cuadro 17.** Parámetros de Arrhenius para la degradación de la capacidad antioxidante en la cáscara de camu camu.

Orden de reacción (n)	$K_0$	$E_a$ (KJ/mol)	$R^2$
Orden cero	0,0000009	0,023729583	0,9204
Orden uno	371,79	26,5149405	0,9357
Orden dos	0,1981	0,00000049	0,8696



**Figura 11.** Constante de velocidad de reacción ( $K$ ) de concentración de la capacidad antioxidante en ecuación de orden uno, ajustada al modelo de Arrhenius.

Del Cuadro 17 se puede afirmar que los valores de  $k$  que mejor se ajusta al modelo de Arrhenius son de orden uno. Según Liu *et al.* (2014), generalmente, los cambios en la calidad de los alimentos son reportados en la literatura mediante modelos cinéticos de degradación de orden cero y de orden uno.

### 4.3. Vida útil

#### 4.3.1. Vida útil media de la cáscara de camu camu.

Se define el tiempo de vida media como el tiempo necesario para que reaccione la mitad de su concentración inicial, suele representarse como  $t_{1/2}$ .

$$t_{1/2} \gg A = \frac{A_0}{2} \quad (25)$$

Utilizando la ecuación integrada para una reacción de orden cero:

$$kt = A_0 - A \quad (26)$$

$$kt = A_0 - \frac{A_0}{2}$$

$$kt = \frac{A_0}{2}$$

$$t_{1/2} = \frac{A_0}{2k}$$

Utilizando la ecuación integrada para una reacción de primer orden:

$$kt = \ln A_0 - \ln A \quad (27)$$

$$kt = \ln A_0 - \ln \frac{A_0}{2}$$

$$kt = \ln \frac{\frac{A_0}{2}}{A_0}$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

La vida útil media de un alimento es el periodo de tiempo durante el cual mantiene una calidad adecuada siempre que se garanticen las condiciones de conservación. De esta manera se hace para vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante.

Se observa la descomposición química no enzimática por oxidación de la vitamina C, utilizando la ecuación integrada de primer orden.

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} \quad (28)$$

Reemplazamos el valor k:

Para 40 °C

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{0,0128} = 54,15 = 54 \text{ dias}$$

Para 50 °C

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{0,0145} = 47,80 = 47 \text{ dias}$$

Para 60 °C

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{0,0194} = 35,73 = 35 \text{ dias}$$

El análisis de la vitamina C es de los más utilizados como indicador de la calidad nutricional, ya que ésta es altamente vulnerable a la oxidación química, enzimática y muy soluble en agua, por lo que es un indicador sensible y apropiado para evaluar los cambios en la calidad durante el transporte, procesado y almacenaje de hortalizas y frutas. Según BADUI (2013), la vitamina c es la más termolábil e inestable, usada como índice de retención de nutrientes, es decir que si aquella resiste a los tratamientos térmicos durante el procesamiento de alimentos, todos los demás nutrimentos serán poco afectados.

Para polifenoles totales

Para 40 °C

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{0,0247} = 28,06 = 28 \text{ dias}$$

Para 50 °C

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{0,0264} = 26,25 = 26 \text{ dias}$$

Para 60 °C

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{0,0304} = 22,80 = 22 \text{ dias}$$

Los polifenoles pueden ser afectados por la temperatura a que son sometidos. VALENCIA y GUEVARA (2013) indican que los polifenoles totales son afectadas en su disminución de contenido por el proceso sometido, por la temperatura al cual es sometida, por los métodos de preparación de muestras, por técnica analíticas utilizadas las cuales pueden influenciar en los resultados obtenidos.

Para los antioxidante

Para 40 °C

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{0,0146} = 47,47 = 47 \text{ dias}$$

Para 50 °C

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{0,0175} = 39,60 = 39 \text{ dias}$$

Para 60 °C

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{0,0270} = 25,67 = 25 \text{ dias}$$

Los antioxidantes son sustancias que tienen propiedades capaces de minimizar los efectos dañinos de los radicales libres. Según BASTIAS y CEPERO (2016) es muy sensible a la luz, temperatura y oxígeno degradándose

fácilmente durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos. La pérdida de aceptabilidad de un producto por parte del consumidor no necesariamente significa que el producto no sea apto para el consumo, sino que el estándar de calidad establecido ha sido sobrepasado.

## V. CONCLUSIONES

- El porcentaje de retención de los compuestos bioactivos de la cáscara de camu camu almacenada a 40°C por 45 días fueron: 59,89 % para vitamina C, 27.59 % para polifenoles totales y 27.58 % capacidad antioxidante.
- La energía de activación ( $E_a$ ) requerida para la degradación de los compuestos bioactivos fue:  $E_{a(\text{vitamina C})} = 30,83 \text{ KJ/mol}$ ,  $E_{a(\text{polifenoles totales})} = 2,83 \text{ KJ/mol}$ ,  $E_{a(\text{capacidad antioxidante})} = 26,52 \text{ KJ/mol}$ . La constante de velocidad de reacción ( $K$ ) para orden de reacción 1 fue: vitamina C: 0,0128; 0,0145 y 0,194, polifenoles totales: 0,0247, 0,0264 y 0,0304, capacidad antioxidante: 0,0146, 0,0175 y 0,027. Los parametros de Arrhenius para la degradación ( $K_0$ ) fueron:  $K_{\text{vitamina C}} = 12,23 \text{ mg/g}$ ,  $K_{\text{polifenoles totales}} = 0,7323 \text{ mg/g}$ ,  $K_{\text{capacidad antioxidante}} = 371,79 \text{ mg/g}$ .
- La vida util media de la cáscara de camu camu, medida en función de vitamina fue 40°C = 54 días, 50 °C = 47 días, 60°C = 35 días

## VI. RECOMENDACIONES

- Almacenar la cáscara de camu camu secada por aire caliente a 40 °C que conserva por 54 días la vitamina C, polifenoles totales, 28 días y capacidad antioxidante, 47 días.
- Realizar la evaluación de antocianinas durante el almacenamiento de la cáscara de camu camu.
- Estudiar el compartamiento fisicoquímico (color, pH) que pueden ser afectadas por la luz durante todo el almacenamiento.
- Investigar la pérdida de los compuestos bioactivos de la pulpa de camu camu en el almacenamiento.
- Evaluar los diferentes sistemas de secado para comparar el contenido de los compuestos bioactivos de la cáscara de camu camu.
- Estudiar el cambio de color que es producido por los rayos solares como parametro de estudio.



## ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the stability of the bioactive compounds of camu camu skin when dried with hot air at 50 °C with a velocity of 57.4 m/s. The camu camu skin was stored at 40, 50 and 60 °C during forty five days and every five days the vitamin C (VC in Spanish) content was evaluated using the spectrophotometric method, the total polyphenols (PT in Spanish) using the Folin-Ciocalteu method and the antioxidant capacity (CA in Spanish) using the DPPH method. The vitamin C was preserved at 59.89%, total polyphenols at 27.59% and antioxidant capacity at 27.58% during the storage time, resulting in a kinetic deterioration from the first order of reaction; with an  $R^2_{(VC)} = 0.9408$ ,  $R^2_{(PT)} = 0.9493$  and  $R^2_{(CA)} = 0.9357$  and for the energy for activation, it was  $E_{a(VC)} = 15.897$  KJ/mol,  $E_{a(PT)} = 25.907$  KJ/mol and  $E_{a(\text{antioxidant capacity})} = 0.9997$  KJ/mol, resulting in an average shelf life, as a function of the vitamin C, at 40 °C and 54 days, at 50 °C and 47 days, at 60 °C and 35 days; for the total polyphenols at 40 °C and 28 days, at 50 °C and 26 days, at 60 °C and 22 days and the antioxidant capacity at 40 °C and days, at 50°C and 39 days and at 60°C and 25 days.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, J. 2013. Principios de ingeniería aplicados a alimentos. Editor por Paul Alvarado. 2da. ed. Quito, Ecuador. 482p.
- ARELLANO, E.; ROJAS, I.; PAUCAR, L. 2016. Camu-camu (*MyrciariadubiaMcVaugh*): Fruta tropical de excelentes propiedades funcionales que ayudan a mejorar la calidad de vida. Scientia Agropecuaria. Trujillo 7(4): 433-443.
- BADUI, S., 2013. Química de los alimentos. Editor por Marisa de Anta. 5ta ed. Naucalpan de Juárez, México, Pearson educación. 744p.
- BAUTISTA, D.; VALDIVEISO, M. 2016. Contribucion al estudio de la extraccion de aceites esenciales y secado de cáscara de naranja(*Citrus sinensis, var. Valengia Late*). Tesis para Ing. De alimentos. Cañete. Perú. Universidad Nacional del Callao. 149p.
- BASTÍAS, J.; CEPERO, Y. 2016. La vitamina C como un eficaz micronutriente en la fortificación de alimentos. Revista Chilena de nutrición. Chile. 43(1): 81-86.
- BRAGA DOS SANTOS, R.; CARDOSO, P.; VIEIRA, J.; ALVES E.; PINEDO, M.; BARDALES, R.; ABANTO, C. 2018. Cadeia de produção do camu-camu (*Myrciariadubia Mc Vaugh*): o caso das regiões produtoras de loreto e ucayalinaAmazônia Peruana. Brazil. 43(4): 261-267.

- BUSSO, C. 2016. Estabilidad de polifenoles y caracterización físico-química y sensorial en pulpas de frutos rojos en relación a los procesos tecnológicos para la obtención de alimentos e ingredientes alimenticios. Dr. Farmacéutico. Buenos Aires. Argentina. Universidad de Buenos Aires Facultad de Farmacia y Bioquímica. 217p.
- CABRERA, M. 2015. Cambios en vitamina c, polifenoles totales y capacidad antioxidante en la naranja (*Citrus sinensis*) durante el almacenamiento. Tesis. Ing. En industrias alimentarias. Tingo María. Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 126p.
- CAISAHUANA, M. 2012. Evaluación de vitamina c, polifenoles totales y capacidad antioxidante en dos estados de madurez del camucamu (*MyrciariaDubiaMc Vaugh*) de mazamari - satipo. Tesis Ing. En industrias alimentarias. Satipo, Perú, Universidad Nacional del Centro del Perú. 82p.
- CASTAÑEDA, J.; ARTEAGA, H.; SICHE, R.; RODIRGUEZ, G. 2010 Comparative study of the loss of vitamin C in chalarina (*Casimiroa edulis*) by four methods of dehydration. Scientia Agropecuaria. Trujillo. 1(1): 75-80.
- CEDEÑO, S. 2017. Efecto de los diferentes procesos de secado en los compuestos bioactivos de murtilla (*UgnimolinaeTurcz*) y su bioaccesibilidad. Tesis de magister. Universidad Austral de Chile. 52p.
- COFRÉ, A. 2015. Determinación de polifenoles totales, actividad antioxidante y antocianinas de jugo de murtilla (*Ugnimolinaeturcz*) obtenido por condensación de vapor. Tesis Ing. en alimentos. Valdivia. Chile.

Universidad Austral de Chile. 45p.

CUASTUMAL, H.; VALENCIA, B.; ORDOÑEZ, L. 2016. Efectos de los tratamientos térmicos en la concentración de vitamina C y color superficial en tres frutas tropicales. 13(1): 85-93.

CHANG, A. 2013. El CamuCamu: Aspectos químicos, farmacológicos y tecnológicos. 1ra ed. Ica, Perú. E-ISSN. 155p.

CHICA, B.; OSORIO, S. 2003. Determinación de la vida de anaquel del chocolate de mesa sin azúcar en una película de polipropileno biorientado. Tesis Ing. Químico. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 89p.

ESTRADA, H.; RESTREPO, C.; SAUMETT, H.; PEREZ, L. 2014. Deshidratación osmótica y secado por aire caliente en mango, guayaba y limón para la obtención de ingredientes funcionales. Información tecnológica. 29(3): 197-204.

FENNEMA, O. 2010. Introducción a la química de alimentos. Tercera edición. Editorial Acribia S.A. Zaragoza. Impreso en España. 1166p.

FRACASSETTI, D.; COSTA, C.; MOULAY, L.; TOMÁS-BARBERÁN, F. 2013. Ellagic acid derivatives, ellagitannins, proanthocyanidins and other phenolic, vitamin C and antioxidant capacity of two powder products from camu-camu fruit (*Myrciariadubia* McVaugh). FoodChemistry. 139(1-4): 578–588.

GARAY, N.; VILLAFUERTE, E. 2015. Evaluación de diferentes temperaturas de secado en la concentración de antioxidantes y las características organolépticas de la bebida funcional elaborado a partir de la cáscara

de camucamu (*Myrciariadubia* Mc Vaugh). Tesis Ing. Agroindustrial. Pucallpa, Perú. Universidad Nacional Intercultural De La Amazonía. 108 p.

- GONZALES, G.; PIROVANI, M.; PIAGENTINI, A.; ULÍN-MONTEJO, F.; MIRANDA, E.; OSORIO, R.; MALDONADO, E.; SALINAS, R. 2016. Cinética de cambios sensoriales y vida de anaquel de carambola mínimamente procesada. Rev. Fitotec. Mex. 39(4): 393 – 402.
- HUNG, CH-Y; YEN, G-CH. 2002. Antioxidant activity of phenolic compounds isolated from *Mesonaprocumbens* Hemsl, J. Agric. Foodchem 50(10): 2993-2997.
- KLINAR, S.; CHANG, A.; CHANLLIO, J. 2009. Evaluación comparativa de contenido de vitamina C en diferentes estados de maduración del fruto de camucamu (*Myrciariadubia* Mc Vaugh) SEGÚN NTP 011:030:2007. Rev. Cienc. FITOICA. 4(1): 23-32.
- LABUZA, T. 1993. Shelf life prediction: theory and application. Elsevier Journal of Food Science. 4(3): 125-133.
- LIU F, LI R, WANG Y, BI X, LIAO X. 2014. Effects of high hydrostatic pressure and high-temperature short-time on mango nectars: changes in microorganisms, acid invertase, 5-hydroxymethylfurfural, sugars, viscosity, and cloud. Innov Food Sci Emerg Technol. 22(1): 22-30.
- MENDOZA-CORVIS, F.; ARTEAGA-MÁRQUEZ, M.; PÉREZ-SIERRA, O. 2017. Degradación de la vitamina C en un producto de mango (*Mangifera indica* L.) y lactosuero. Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 18(1): 125-137.

- MONTEIRO U. 2014. Validación del método de determinación del ácido ascórbico y tratamientos con extractos enzimáticos en pulpa de (*MyrciariadubiaMcVaugh*) camu. Tesis Ing. Industrias alimentarias. Iquitos. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. 90p.
- MUÑOZ, W.; CHAVEZ, W.; PABÓN, C.; RENDÓN, M.; PATRICIA-CHAPARRO, M.; OTÁLVARO-ÁLVAREZ, Á. 2015. Extracción de compuestos fenólicos con actividad antioxidante a partir de Champa (*Campomanesialineatifolia*). Rev. Cenic. Ciencias Quím. La Habana. Cuba. 46: 38-46.
- NEVES, L.; XAVIER, V.; ALVES, E.; BARCELAR, C.; RUFFO, S. 2015. Determining the harvest time of camu-camu (*Myrciariadubia* Mc Vaugh) using measured pre-harvest attributes. ScientiaHorticulturae 186: 15–23.
- PAUCAR, C. 2012. Caracterización y evaluación antioxidante de la pulpa de camucamu (*MyrciariaDubia* Mc vaugh) fresca, concentrada al vacío y almacenada en congelación. Tesis Ing. En industria alimentarias. Tingo María. Perú. Universidad Nacional Agraria de la selva. 101p.
- RAGA-CARREÑO, J.; ETTIENE, G.; PÉREZ-PÉREZ, E.; SANDOVAL, L.; CASAS, J. 2014. Efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la capacidad antioxidante del mesocarpio homogeneizado y troceado de lechosa (*Carica papaya* L.). Rev. Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. Hermosillo. México. 15(2): 135-144.
- RAMÍREZ, M.; SALGADO, N.; ORREGO, C. 2012. Conservación de polifenoles en un jugo de fruta modelo secado por Aspersión y

- lío-filización. Rev. Cienc. De las América Latina. 19(1):87-89.
- SÁNCHEZ, L.; CHÁVEZ, J.; RÍOS, L.; CARDONA, S. 2015. Evaluación de un antioxidante natural extraído del marañón (*Anacardium occidentale L.*) para mejorar la estabilidad oxidativa del biodiesel de jatropha. Rev. Información tecnológica. 26(6):19-30.
- SOTERO, V.; SILVA, L.; GARCÍA, D.; IMÁN, S. 2009. Evaluación de la actividad antioxidante de la pulpa, cáscara y semilla del fruto del camucamu (*Myrciaria dubia* Mc vaugh). Rev. Soc. Quím. Perú Lima. 75(1): 3.
- SOTO, E.; BARRAZA, G. 2014. Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento en las características fisicoquímicas y capacidad antioxidante de pulpa de guayaba (*Psidium guajava L.*) variedad criolla roja. Rev. Científica. 2(2): 44-55.
- TERRY, V. 2015. Deterioro de vitamina c en la pulpa de camucamu (*Myrciaria dubia* Mc Vaugh) pasteurizada almacenada en función del tiempo y la temperatura de almacenamiento. Rev. Investig. Uni. Le CordonBleu. 2(2): 39-49.
- TORRES, Y i VIDAURRE, J. 2015. Cinética de degradación de compuestos fenoles y antiocianinas en una bebida funcional a base de arandano azul (*Vaccinium corymbosum* L. ). Rev. Ingeniería. Ciencia. Tecnología y innovación. 2(2): 7-13.
- VALCARCEL, J. 2014. Obtención de los parámetros de secado de la cascara de camucamu (*Myrciaria dubia* Mc Vaugh) en un lecho fluidizado. Tesis. Ing en industrias alimentarias. Iquitos. Perú. Universidad Nacional de la

Amazonia Peruana. 105p.

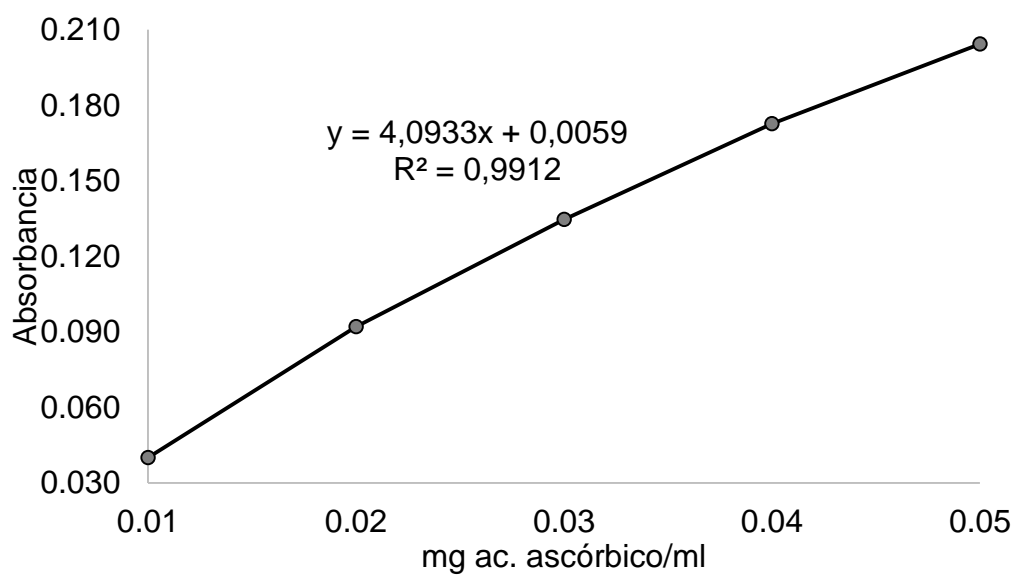
- VALDÉS-HERNÁNDEZ, G.; CRUZ-VIERA, L.; COMET-RODRÍGUEZ, R. 2015. Influencia de las condiciones de operación en la extracción de polifenoles a partir de hojas de *Moringa oleifera* Lam. Revista CENIC. Ciencias Químicas. 46(1):135-145.
- VALENCIA, C.; GUEVARA, A. 2013. Variación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos durante el procesamiento del néctar de zarzamora (*Rubusfruticosus* L.). Revista de la Sociedad Química del Perú 79 (2): 116-125.
- VALLE, D. 2014. Evaluación de la estabilidad por pruebas aceleradas, de pulpa de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f) liofilizado variedad amarillo. Tesis. Ing. en industrias alimentarias. Tingo María. Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 94p
- VILLAREAL, Y.; FERNANDO, D.; OSORIO, O.; FELIPE, A. 2013. Efecto de pasteurización sobre características sensoriales y contenido de vitamina C en jugos de frutas. 11(2); 66-75.
- ZAPATA, K.; ROJANO, B.; CORTES, F. 2015. Efecto térmico del secado por aspersion sobre los metabolitos antioxidantes de la curuba larga (*Passifloramollisimabaley*). 26(1): 77-84.



**ANEXO**

**A-I.** Datos para la curva estándar de ácido ascórbico para la determinación de vitamina C.

	Concentraciones ( mg AA / ml)				
	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050
1	0,04	0,093	0,134	0,171	0,205
2	0,03	0,091	0,137	0,173	0,204
3	0,05	0,092	0,133	0,174	0,204
Promedio	0,040	0,092	0,135	0,173	0,204



**A-II. Concentración de vitamina C evaluados a 515 nm****Almacenado a 40 °C**

<b>Tiempo (días)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
5	1667,65	1711,76	1667,65	1682,35
10	1629,41	1609,80	1629,41	1622,88
15	1452,94	1501,96	1443,14	1466,01
20	1403,92	1384,31	1354,90	1381,05
25	1305,88	1286,27	1227,45	1273,20
30	1266,67	1207,84	1129,41	1201,31
35	1109,80	1109,80	1139,22	1119,61
40	1090,20	1080,39	1109,80	1093,46
45	1031,37	1080,39	972,55	1028,10

**Almacenado a 50 °C**

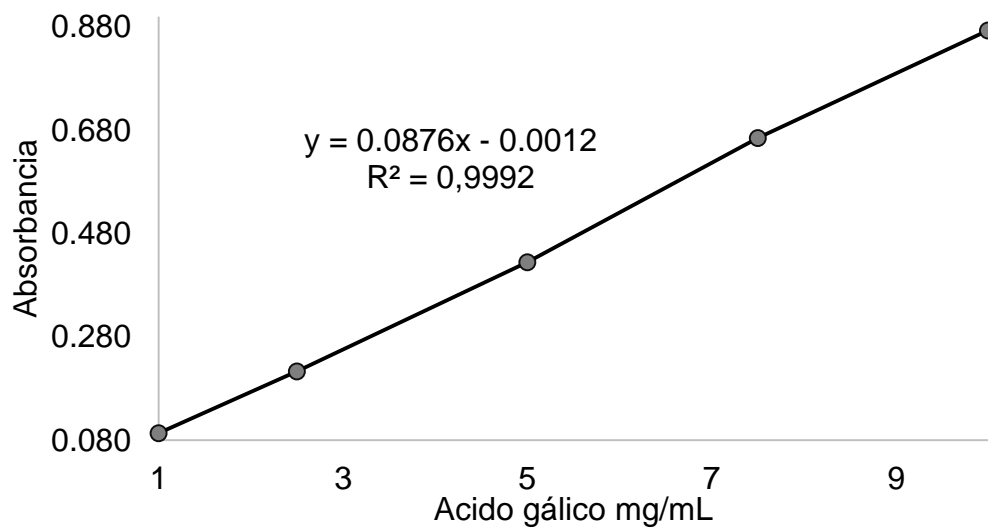
<b>Tiempo (días)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
5	1601,47	1667,65	1546,32	1605,15
10	1433,33	1452,94	1433,33	1439,87
15	1394,12	1462,75	1413,73	1423,53
20	1286,27	1374,51	1364,71	1341,83
25	1109,80	1129,41	1100,00	1113,07
30	1080,39	1090,20	1060,78	1077,12
35	992,16	972,55	982,35	982,35
40	952,94	972,55	972,55	966,01
45	992,16	864,71	933,33	930,07

**Almacenado a 60 °C**

<b>Tiempo (días)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
5	1546,32	1469,12	1447,06	1487,50
10	1315,69	1296,08	1276,47	1296,08
15	1198,04	1217,65	1178,43	1198,04
20	952,94	923,53	913,73	930,07
25	913,73	943,14	913,73	923,53
30	805,88	835,29	815,69	818,95
35	805,88	796,08	786,27	796,08
40	786,27	727,45	756,86	756,86
45	658,82	649,02	668,63	658,82

**A-III.** Determinación de la curva estándar de ácido gálico para la cuantificación de polifenoles.

Concentraciones (mg EAG/mL)	Absorbancia a 740 nm			Promedio
	R1	R2	R3	
1	0,094	0,094	0,093	0,094
2,5	0,214	0,213	0,214	0,214
5	0,425	0,421	0,428	0,425
7,5	0,666	0,662	0,668	0,665
10	0,872	0,874	0,874	0,873



**A-IV. Concentración de polifenoles totales evaluados a 740 nm a diferentes temperaturas.**

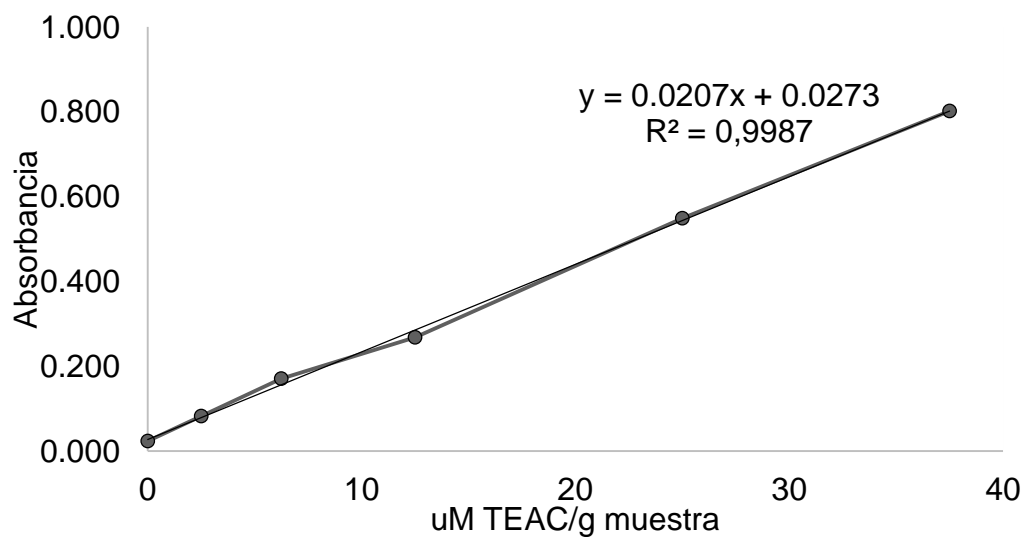
<b>Almacenado a 40°C</b>				
<b>Tiempo (días)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
5	1101,78	1178,58	1108,98	1129,78
10	1031,53	1074,73	1017,13	1041,13
15	913,16	906,56	935,16	918,30
20	793,93	833,53	883,93	837,13
25	664,12	734,52	673,72	690,78
30	819,10	576,90	564,30	653,44
35	520,86	502,46	508,86	510,73
40	486,46	466,46	485,66	479,53
45	483,04	445,24	429,64	452,64
<b>Almacenado a 50 °C</b>				
<b>Tiempo (días)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
5	1060,98	1087,38	1238,58	1128,98
10	1080,13	901,93	1135,93	1039,33
15	937,36	838,36	950,56	908,76
20	729,13	765,13	736,33	743,53
25	616,12	636,92	619,32	624,12
30	572,70	568,50	576,90	572,70
35	446,46	444,06	524,06	471,53
40	461,66	454,46	484,06	466,73
45	420,04	423,04	414,04	419,04

**Almacenado a 60°C**

<b>Tiempo (días)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
5	1104,18	1173,78	1101,78	1126,58
10	961,33	936,13	981,13	959,53
15	778,96	807,56	831,76	806,10
20	559,93	561,73	590,53	570,73
25	550,52	547,32	556,92	551,58
30	547,50	562,90	548,90	553,10
35	384,07	405,07	408,07	399,07
40	361,24	336,64	330,64	342,84
45	334,24	371,44	369,04	358,24

**A.V.** Determinación de la curva estándar de DPPH a 1 (nM) para cuantificación de antioxidantes.

Concentraciones (mg EAG/mL)	Absorbancia a 740 nm			Promedio
	R1	R2	R3	
37,5	0,8	0,802	0,803	0,802
25	0,549	0,550	0,548	0,549
12,5	0,267	0,269	0,267	0,268
6,25	0,17	0,17	0,171	0,170
2,5	0,082	0,083	0,081	0,082
0	0,023	0,022	0,024	0,023





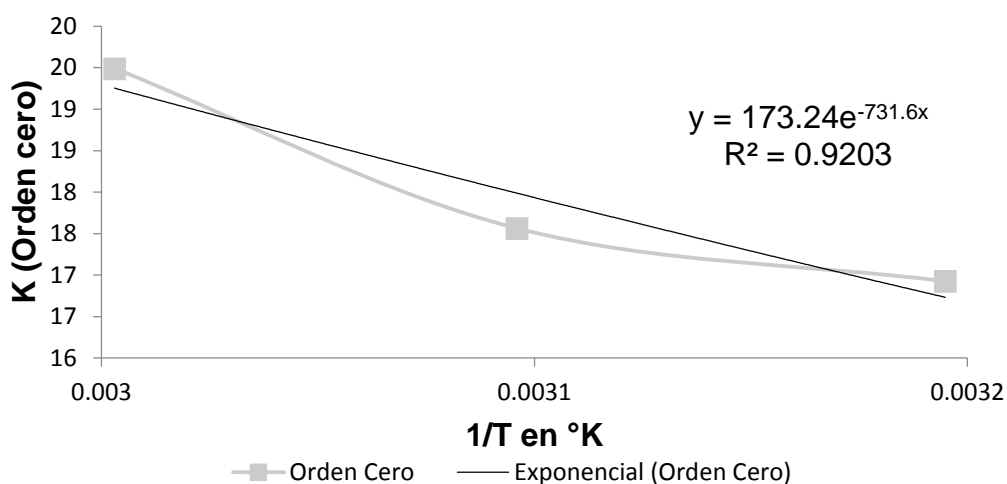
**A-VI. Concentración de capacidad antioxidantes evaluados a 515 nm a diferentes temperaturas.**

<b>Almacenado a 40°C</b>				
<b>Tiempo (días)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
5	1095,35	1048,84	994,59	1046,26
10	1003,68	1019,96	989,73	1004,46
15	940,90	1059,49	968,80	989,73
20	902,29	851,90	937,17	897,12
25	880,44	871,14	696,74	816,11
30	729,58	748,18	701,68	726,48
35	683,22	642,52	691,35	672,36
40	652,07	604,01	715,63	657,24
45	606,48	646,01	593,69	615,39
<b>Almacenado a 50°C</b>				
<b>Tiempo (días)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
5	894,54	1053,43	1016,61	988,19
10	896,72	885,09	933,92	905,24
15	857,19	752,55	871,14	826,96
20	877,10	782,15	902,29	853,84
25	675,81	768,83	761,85	735,50
30	588,51	605,56	610,21	601,43
35	553,00	565,79	561,14	559,97
40	524,95	653,62	588,51	589,03
45	463,47	508,82	492,54	488,28

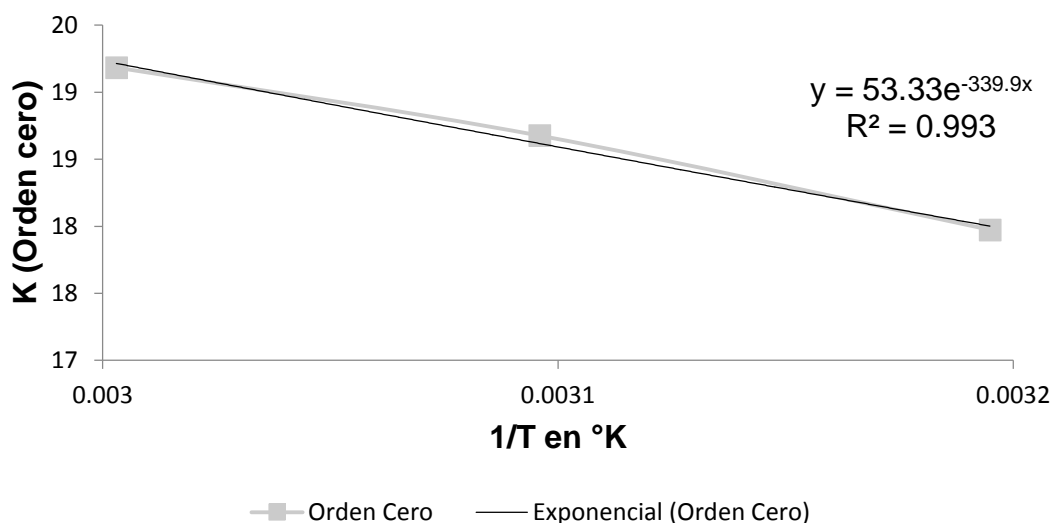
**Almacenado a 60°C**

<b>Tiempo (dias)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
5	836,40	875,16	890,66	867,41
10	664,19	861,84	840,91	788,98
15	738,60	633,96	738,60	703,72
20	520,55	689,13	518,61	576,10
25	594,43	622,33	668,84	628,53
30	560,61	486,20	535,80	527,54
35	487,75	400,94	453,64	447,44
40	365,28	359,08	376,13	366,83
45	268,47	255,44	251,72	258,54

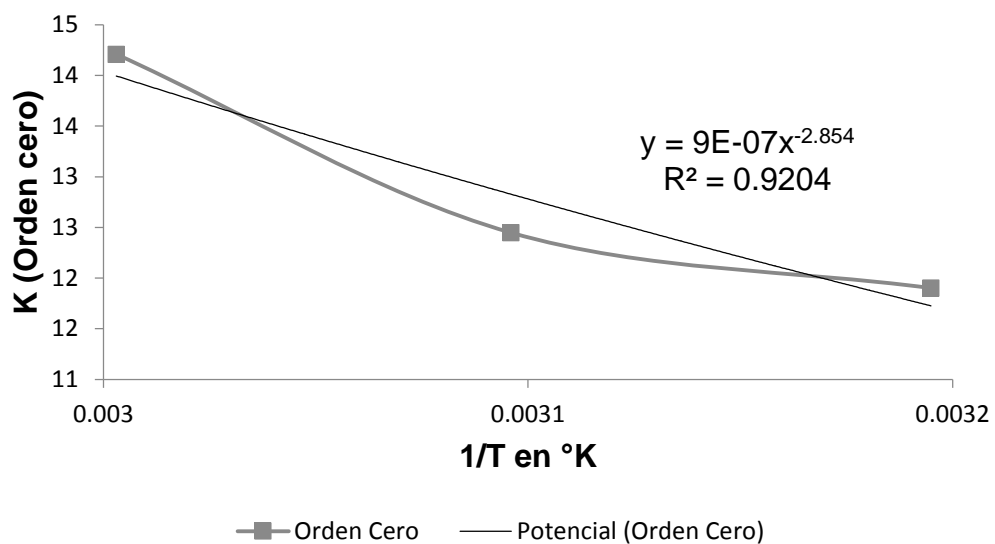
**A.VII.** Graficos de la constante de velocidad de reacción (K) de concentración de vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante en almacenamiento de orden uno, orden dos ajustada a la ecuación de Arrhenius.



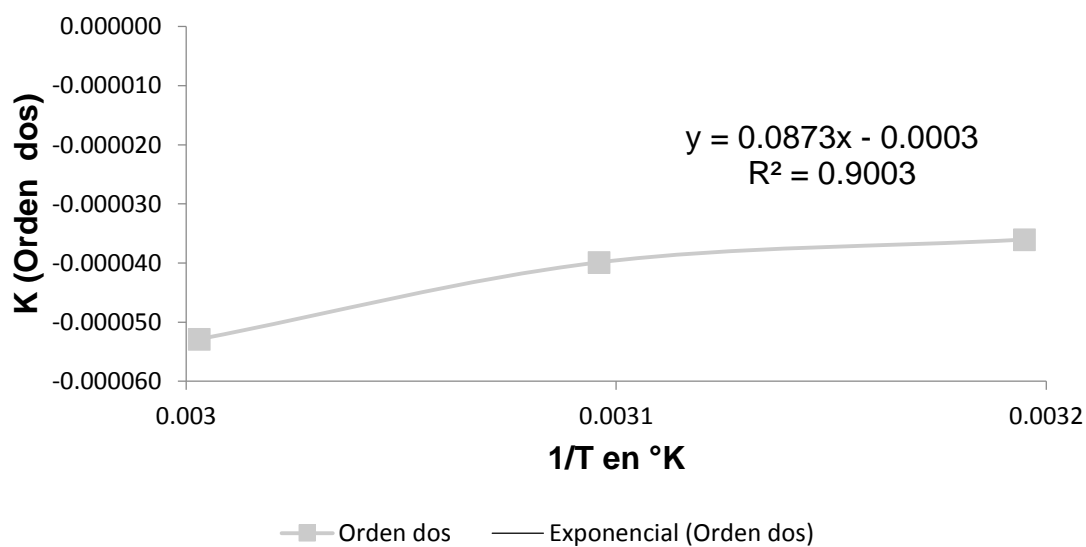
Constante de velocidad de reacción K de orden cero de vitamina C.



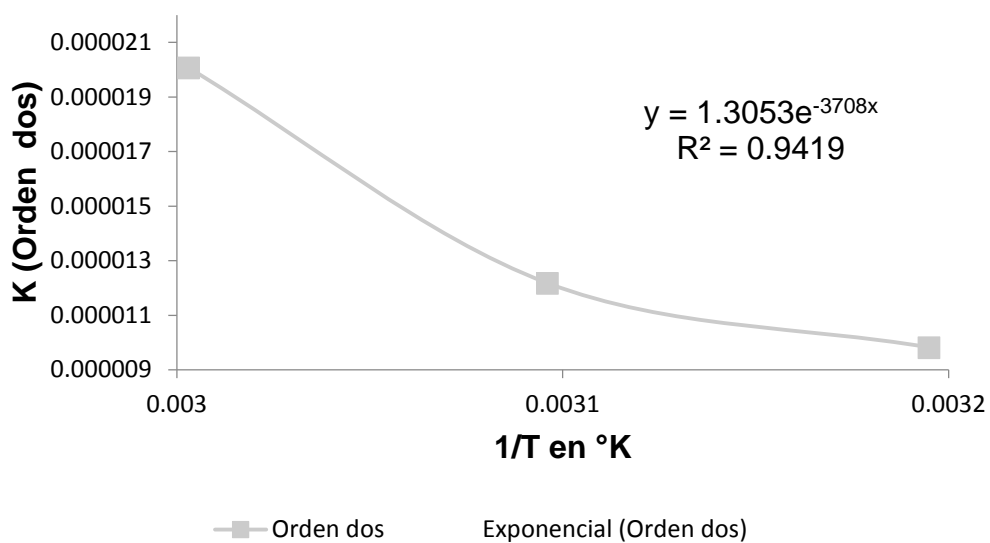
Constante de velocidad de reacción K de orden cero de polifenoles totales.



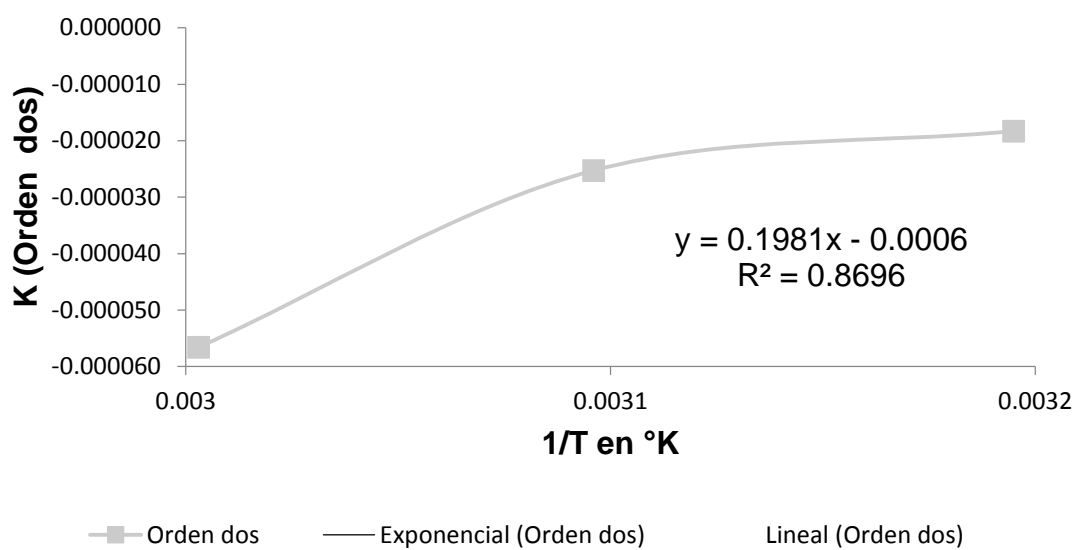
Constante de velocidad de reacción  $K$  de orden cero de actividad antioxidante.



Constante de velocidad de reacción  $K$  de orden dos de vitamina C.



Constante de velocidad de reacción  $K$  de orden dos de polifenoles totales.



Constante de velocidad de reacción  $K$  de orden dos de capacidad antioxidante.