

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**“EFECTO DEL ESCALDADO EN EL COLOR Y CINÉTICA
DE DEGRADACIÓN TÉRMICA DE LA VITAMINA C DEL
JUGO DE CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia*)”**

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

Presentado por:

Bach. Sandra DIAZ HUAMÁN

AYACUCHO – PERÚ

2018

DEDICATORIA

A DIOS fuente de vida y sabiduría.

A mi querida Madre Pastora por su paciencia y sacrificio día a día durante mi formación académica y también a mi querido hermano Rubén por su apoyo, por siempre impulsarme hacia adelante para alcanzar mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

- *A mi alma mater Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a mis docentes de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, de manera especial a los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Agroindustrial por su empeño y esfuerzo que me brindaron durante mis estudios.*
- *Al M.Cs. Ing^o Saúl R. Chuqui Diestra asesor de la tesis por su apoyo invaluable para la culminación de este trabajo.*
- *A mi madre y hermano, amigos y a todos quienes contribuyeron de una u otra forma en mi formación profesional.*

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE TABLAS	9
I. INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVOS	12
II. REVISION BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 El Camu-Camu (<i>Myrciaria dubia</i>)	13
2.1.1 Aspectos generales.....	13
2.1.2 Taxonomía	14
2.1.3 Composición fisicoquímica.....	15
2.1.4 Uso y aplicaciones del camu-camu	16
2.1.5 Poder antioxidante del Camu-Camu	16
2.1.6 Factores de calidad de los frutos de Camu-Camu	17
2.2 Pardeamiento No Enzimático	19
2.2.1 Generalidades.....	19
2.2.2 Sustratos en la reacción de pardeamiento no enzimático	20
2.2.3 Efectos que ocasiona el pardeamiento no enzimático	20
2.2.4 Reacciones de pardeamiento no enzimático.....	21

2.2.5	Incidencia de la reacción de Maillard en la tecnología agroindustrial alimentaria.....	23
2.2.6	Cinética del pardeamiento no enzimático.....	25
2.2.7	Factores que afectan la estabilidad.....	28
2.3	Vitamina C.....	33
2.3.1	Degradación de la vitamina C.	34
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1	Materiales.....	37
3.1.1	Materia prima y otros.....	37
3.1.2	Reactivos.....	38
3.1.3	Materiales de laboratorio y otros	38
3.2	Equipos e Instrumentos.....	39
3.3	Metodología Experimental.....	39
3.3.1	Muestreo de la materia prima.....	39
3.3.2	Caracterización fisicoquímica de las muestras de Camu-Camu	40
3.3.3	Diseño metodológico para evaluar los tratamientos.....	42
3.3.4	Determinación de los valores de vitamina C y parámetros colorimétricos a evaluar durante el estudio	46
3.4	Diseño Estadístico	46

IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1	Características físicas del Camu-Camu (<i>Myrciaria dubia</i>).....	48
4.2	Características fisicoquímicas del Camu-Camu.....	49
4.3	Evaluación del deterioro de vitamina C en jugo de camu-camu..	50
4.3.1	Degradación de la vitamina C en jugo de camu-camu	50
4.3.2	Parámetros cinéticos de la degradación térmica de vitamina C en jugo de Camu-Camu	54
4.3.3	Ecuación de Arrhenius en la degradación térmica de vitamina C	57
4.4	Evaluación de los parámetros colorimétricos (L*, a* y b*)	59
4.4.1	Evolución de la luminosidad (L*)	60
4.4.2	Evolución del parámetro (a*) en jugo de Camu-Camu con 25°brix a temperaturas de 60°C, 70°C y 80°C.....	63
4.4.3	Evolución del parámetro (b*)	67
V.	CONCLUSIONES	71
VI.	RECOMENDACIONES.....	73
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
	ANEXOS.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fruto del Camu-Camu	14
Figura 2: Fruto del Camu-Camu.	38
Figura 3: Operación de selección del Camu-Camu	40
Figura 4: La determinación de sólidos solubles totales del fruto del Camu-Camu.	41
Figura 5: Titulación de la muestra de Camu-Camu.....	42
Figura 6: Proceso de concentración de jugo con un rotavapor de la muestra de Camu-Camu.....	43
Figura 7: Diagrama de flujo del efecto del escaldado en el color y cinética de degradación térmica de la vitamina c del jugo de Camu-Camu (<i>Myrciaria dubia</i>)	45
Figura 8: Fruto del Camu-Camu seleccionadas.....	48
Figura 9: Evolución de Ln C (Vitamina C) en el tiempo en jugo de Camu-Camu a 25° Brix a las temperaturas en estudio.....	51
Figura 10: Valores D para jugo de Camu-Camu a 25°brix.....	55
Figura 11: Ecuación de Arrhenius de la degradación térmica de vitamina C en jugo de Camu-Camu a 25° Brix.	58
Figura 12: Efecto de la interacción entre la concentración y temperatura sobre la variación de luminosidad en jugo de Camu-Camu a 25°brix.....	61
Figura 13: Superficie de respuesta de la variación de luminosidad (L*) en jugo de Camu-Camu a 25°brix.....	62
Figura 14: Variación de los efectos principales del parámetro L* en jugo de Camu-Camu con 25 °brix.....	62
Figura 15: Efecto de la interacción entre la temperatura y el tiempo sobre el parámetro a* en jugo de Camu-Camu a 25°brix.	65
Figura 16: Superficie de respuesta de la evolución del parámetro a* en jugo de Camu-Camu con 25 °brix.....	66

Figura 17: Variación de los efectos principales del parámetro a^* en jugo de Camu-Camu con 25 °brix.....	66
Figura 18: Efecto de la interacción entre la temperatura y el tiempo sobre el parámetro b^* en jugo de Camu-Camu a 25°brix.	68
Figura 19: Superficie de respuesta de la variación del parámetro b^* en jugo de Camu-Camu con 25 °brix.....	69
Figura 20: Variación de los efectos principales del parámetro b^* en jugo de Camu-Camu con 25 °brix.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación taxonómica.....	14
Tabla 2: Composición fisicoquímica de la pulpa de Camu-Camu (<i>Myrciaria dubia</i>) en 100 gramos.	15
Tabla 3: Variación en las principales características de la pulpa de Camu-Camu en relación al estado de maduración.	18
Tabla 4: Rendimiento de pulpa refinada en 100 gramos de fruta de camu-camu.	19
Tabla 5: Ecuaciones para los parámetros de calidad en función del tiempo para diferentes órdenes de reacción.	32
Tabla 6: Ecuaciones para los parámetros de calidad en función del tiempo para diferentes órdenes de reacción.	44
Tabla 7: Características físicas de los frutos de camu-camu.	49
Tabla 8: Características fisicoquímicas de los Frutos de Camu-Camu.	50
Tabla 9: Degradación de vitamina C (mg) de jugo de Camu-Camu a 25° brix, a diferentes temperaturas.	51
Tabla 10: Constantes de degradación de vitamina C de jugo de Camu-Camu a 25°Brix.....	52
Tabla 11: Parámetros cinéticos de degradación térmica de vitamina C en jugo de Camu-Camu a 25°brix.	55
Tabla 12: Cinética de degradación térmica de la vitamina C de jugo de Camu-Camu según Arrhenius a 25°brix.....	58
Tabla 13: Análisis de Varianza (ANOVA) para luminosidad (L*).	60
Tabla 14: Análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro (a*).	64
Tabla 15: Análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro (b*).	67

I. INTRODUCCIÓN

En la selva peruana existe una gran variedad de productos de gran valor nutricional entre los cuales se encuentra el Camu-Camu (*Myrciaria dubia*), que es un árbol frutal nativo de la Amazonía peruana que ha motivado el interés de productores y consumidores por su alto contenido de vitamina C, hasta 7355,20 mg de ácido ascórbico / 100 g de pulpa en la Amazonia brasileña. (Chagas et al., 2015)

Esta fruta amazónica es una fuente importante de antioxidantes nutricionales, vitaminas C y β -caroteno (Chirinos et al., 2010). Además de poseer propiedades antimicrobianas, de protección y de regeneración celular, se han detectado compuestos fenólicos como: elagitaninos, ácido elálgico, quercetina glucósidos, ácido siríngico y miricetina, dentro de su composición. (Fujita et al., 2015)

Esta fruta a la vez ha demostrado potencial para aplicaciones alimentarias debido a su alto contenido de ácido ascórbico, los derivados de Camu-Camu, talvez como pulpa, extracto y jugo son ampliamente exportados a Japón y mercados de la unión europea. Esto se ha evidenciado por su alto auge en el mercado nacional e internacional, despertando gran interés, Japón, Francia y Estados Unidos son los principales importadores. (Akter et al., 2011)

El jugo de Camu-Camu, de gran valor nutritivo, sufre deterioro por efecto de la temperatura, luz, agua, pH, metales (Cu y Fe), principalmente pérdida en el valor nutricional, debido a la degradación de vitamina C o ácido L-ascórbico

generando cambios de color, disminuyendo así su atributo de calidad. (Chang, 2013)

El procesamiento térmico de alimentos a elevadas temperaturas si bien elimina la posibilidad de daño microbiológico y reduce la actividad enzimática, afecta la calidad del producto, produciendo pérdida de componentes termolábiles y termosensibles responsables de las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos. La vitamina C, es una de las vitaminas hidrosolubles menos inestables. En especial es lábil al calentamiento en presencia de oligometales como el cobre y el hierro. Además, el ácido ascórbico se oxida fácilmente en presencia de oxígeno y la rapidez de oxidación aumenta cuando se eleva la temperatura. Por lo que se usa como indicador químico para evaluar el procesamiento de frutas y verduras. (Greenfield y Southgate, 2006)

En este trabajo se pretende estudiar el efecto del escaldado en los parámetros colorimétricos y la cinética de degradación térmica de la vitamina C del jugo de Camu-Camu y así evaluar su calidad final.

OBJETIVOS

Objetivo general

- ❖ Evaluar el efecto del escaldado en el color y la cinética de degradación térmica de la vitamina C del jugo de camu camu (*Myrciaria dubia*).

Objetivos específicos

- ❖ Caracterizar fisicoquímicamente el jugo de camu camu (*Myrciaria dubia*).
- ❖ Evaluar el efecto de la temperatura sobre la cinética de degradación térmica de la vitamina C y el color del jugo de camu camu (*Myrciaria dubia*).
- ❖ Evaluar cómo influye el tiempo de tratamiento sobre la cinética de degradación térmica de la vitamina C y el color del jugo de camu camu (*Myrciaria dubia*).
- ❖ Determinar los valores de la cinética de degradación térmica de la vitamina C del jugo de camu camu (*Myrciaria dubia*).

II. REVISION BIBLIOGRÁFICA

2.1 El Camu-Camu (*Myrciaria dubia*)

2.1.1 Aspectos generales

El Camu-Camu es una fruta de la región amazónica; su principal característica es el alto contenido de vitamina C en la pulpa comestible. Se considera como la fruta de más alto contenido de Vitamina C en el mundo, aunque existen publicaciones en donde esta posición se le atribuye al kakadú (*Terminalia ferdinandiana la web Exell*) en base a reportes de concentraciones de vitamina C hasta 5,5%; en el Camu-Camu se reportan concentraciones hasta de 6,112% de Vitamina C. En realidad, como veremos en los aspectos químicos, en ambos frutos, los reportes del contenido de Vitamina C son muy variables; en todo caso, son las frutas con mayor contenido de vitamina C. El organismo de los humanos no es capaz de producir Vitamina C (casi todos los organismos animales y vegetales, si lo hacen) por lo que debemos ingerirla desde fuentes externas. La vitamina C o ácido ascórbico, es también llamada la vitamina antiescorbútica debido a que su descubrimiento estuvo ligado a esta acción; investigaciones posteriores han demostrado que también actúa como antioxidante, además, se le atribuye actividades tales como inmunomodulador, antiinflamatorio, anticancerígeno, antioxidante y antiviral. (Chang, 2013)



Figura 1: Fruto del Camu-Camu

Fuente: <http://myrciariadubia-camucamu.blogspot.com/p/potencial-economico.html>

Fecha:15/10/2017

2.1.2 Taxonomía

La clasificación taxonómica del Camu-Camu se presenta en la tabla 1.

Tabla 1: Clasificación taxonómica

Reyno	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Myrtales
Familia	Myrtaceae
Subfamilia	Myrtoideae
Tribu	Myrteae
Género	Myrciaria
Especie	M. dubia

Fuente: <http://fundamentosdemarketingcamucamu.blogspot.com/2012/05/taxonomia.html>

Fecha:11/05/2017

2.1.3 Composición fisicoquímica

La composición fisicoquímica en 100 g de pulpa de Camu-Camu que se presenta como mayor componente es el ácido ascórbico, 2,994 mg por 100 g de pulpa (2,780 mg como ácido ascórbico reducido). El contenido de proteínas está en 0,5 mg/100 g, el de carbohidratos en 4,7 mg/100 g, mientras que los demás constituyentes se encuentran en cantidades similares a los que se observan en otras frutas tropicales (Justi et al., 2000)

Distintos autores clasificaron la composición fisicoquímica del Camu-Camu en 100 gramos de parte comestible esta se observa en la tabla 2.

Tabla 2: Composición fisicoquímica de la pulpa de Camu-Camu (*Myrciaria dubia*) en 100 gramos.

COMPONENTE	SIICEX -2016	Reyes et al., -2009	Justi et al., -2000
Energía (kcal)	16,00	24,00	-
Humedad (g)	93,2	93,30	94,10
Proteína (g)	0,50	0,50	0,40
Carbohidratos (g)	4,00	5,90	3,50
Fibra (g)	0,50	0,40	0,10
Ceniza (g)	0,20	0,20	0,30
Calcio (mg)	28,00	28,00	15,73
Fósforo (mg)	15,00	15,00	-
Hierro (mg)	0,50	0,50	0,53
Tiamina (mg)	0,01	0,01	-
Riboflavina (mg)	0,04	0,04	-
Niacina (mg)	0,61	0,61	-
Ácido ascórbico (mg)	2089,00	2780,00	1410,00

Fuente: Arellano et al., 2016

2.1.4 Uso y aplicaciones del camu-camu

En el 2014 se logró demostrar la reducción de triglicéridos, colesterol total y la peroxidación lipídica en el plasma de ratas de laboratorio tras el consumo de extracto de Camu-Camu, siendo esta fruta considerada un excelente antioxidante y que además ayuda a combatir este tipo de enfermedades. Según últimos estudios experimentales se ha descubierto el efecto del Camu-Camu en la hiperlipidemia y la peroxidación lipídica. El consumo de esta fruta también sirve para tratar la obesidad y enfermedades asociadas con ella. Así mismo, es útil en reducir y mejorar la migraña, dolores de cabeza, diabetes, artritis, especialmente, resfrío y gripes severas. (Arellano et al., 2016)

En la agroindustria se han desarrollado estudios para generar evidencia tecnológica con el objeto de desarrollar y/o mejorar productos a partir del fruto del Camu-Camu, tales como néctares, paletas congeladas, bebidas alcohólicas, bebida nutracéutica barras comestibles, producto galénico para quemaduras y el uso en cosmética. El mercado de bebidas nutracéuticas y de productos biológicos tiene en el Camu-Camu una verdadera alternativa, sustentada en su excepcional capacidad antioxidante y agradable sabor. (Chang, 2013)

2.1.5 Poder antioxidante del Camu-Camu

Los antioxidantes son moléculas capaces de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas, han sido ampliamente utilizados en numerosas áreas de la medicina, desde su aporte al neutralizar los radicales libres presentes en la

sangre que son causantes del cáncer, enfermedades cardiovasculares y la diabetes. (Lemus et al., 2012)

El Camu-Camu, ha mostrado potencial para aplicaciones alimentarias y de salud humana debido a sus propiedades funcionales ricas bioactivos vinculados con alta actividad antioxidante. (Fujita et al., 2015)

Al analizar la actividad antioxidante de los taninos (C-elagitaninos glucosídicos grandinina, vescalagin, castalagina, methylvescalagin, stachyurin y casuarina) encontrados en semillas y pieles del Camu-Camu, mediante los ensayos DPPH ((2, 2- Difenil-1-picrilhidrazilo)), ABTS ((ácido 2, 2'-azino-bis -3- etilbenzotiazolin-6-sulfónico)) y ORAC ((capacidad de absorción de radicales oxígeno)) teniendo como patrón el ácido gálico y ascórbico, que las actividades antioxidantes de los taninos son dos veces más potentes que el ácido gálico y diez veces más potente que el ácido ascórbico. (Kaneshima et al., 2016)

2.1.6 Factores de calidad de los frutos de Camu-Camu

El estado de maduración más conveniente para el aprovechamiento industrial de la fruta es el semimaduro, debido a que en dicho estado posee el mayor contenido de ácido ascórbico. (Ramos et al., 2002)

La fruta que está verde o la que está completamente madura tiene 17 y 9% menos de ácido ascórbico que la fruta semimadura (75% madura), respectivamente, mientras que la fruta sobremadura tiene 20% menos. Esto se debe a que al igual que en otras frutas ácidas, conforme avanza la madurez del Camu-Camu, el porcentaje de sólidos solubles aumenta y disminuye la acidez cítrica ver Tabla 3.

Tabla 3: Variación en las principales características de la pulpa de Camu-Camu en relación al estado de maduración.

Estado de maduración	Vitamina C (mg/100 g de parte comestible)	Sólidos solubles (° Brix)	pH
100% verde	1700	5,60	2,60
25% maduro	1827	6,10	2,60
50% maduro	1849	6,50	2,50
75% maduro	2052	6,50	2,50
100% maduro	1870	6,20	2,50
Sobremaduro	1650	5,50	2,60

Fuente: Ramos et al., 2002

La pulpa del fruto debe estar en buenas condiciones para industrializar. La descomposición o su contaminación por agentes externos (hongos, bacterias) reducen su calidad. Asimismo, será conveniente la selección de clones con mayor contenido de ácido ascórbico y mayor porcentaje de pulpa. La pulpa refinada representa entre 50 y 55% del peso de la fruta (Tabla 4). Evidentemente que cuanto mayor sea el porcentaje de pulpa refinada mayor será el rendimiento con la industrialización. (Ramos et al., 2002)

Tabla 4: Rendimiento de pulpa refinada en 100 gramos de fruta de camu-camu.

COMPONENTE	PESO (g)
Fruta fresca	100,0
Cáscara y semilla	38,0 a 40,0
Pulpa total	60,0 a 62,0
Pulpa refinada	50,0 a 55,0
Fibra y pérdidas	7,0 a 10,0

Fuente: Ramos et al., 2002

2.2 Pardeamiento No Enzimático

2.2.1 Generalidades

Es un conjunto de reacciones muy complejas que conducen, en diversos alimentos, a la formación de pigmentos pardos y negros (melanoidinas) y a modificaciones favorables o no del olor y sabor (Badui, 2013).

Las proteínas interaccionan con azúcares reductores como glucosa, xilosa, maltosa, lactosa, etc. Formando pigmentos a través de las reacciones de oscurecimiento (Badui, 2013).

El pardeamiento no enzimático se presenta durante los procesos tecnológicos o en el almacenamiento de diversos alimentos; se acelera por el calor y por tanto se observa especialmente durante las operaciones de cocción, pasteurización y deshidratación (Badui, 2013).

2.2.2 Sustratos en la reacción de pardeamiento no enzimático

(Belitz et al., 2012) refiere que los aminoácidos y proteínas participan en algunas de estas a través de sus grupos amino libres (-NH₂), conjuntamente con compuestos carbonilos, en los que están presentes los grupos carbonilos



. Estas son las denominadas reacciones de condensación de Maillard.

Los diferentes sustratos que participan en una reacción no enzimática son:

Compuestos carbonilos:

- Azúcares reductores (polihidroxicarbonilos)
- Vitamina C
- Vitamina K
- Ortofenoles
- Aromas naturales (vainillina y aldehído cinámico)
- Productos de oxidación de lípidos

Compuestos aminos y derivados:

- Aminoácidos
- Proteínas
- Grupos -NH₂

2.2.3 Efectos que ocasiona el pardeamiento no enzimático

a) Favorables

- Formación de la corteza del pan
- Papas fritas
- Hojuelas de cereales

- Caramelos
- Chocolates
- Dulce de leche

b) Desfavorables

- Se produce durante la elaboración y el almacenamiento de: Leche, jugos de frutas, jarabes, alimentos deshidratados, etc.
- Disminuye la disponibilidad nutricional de aminoácidos.
- Se libera CO₂ con la pérdida de Vitamina C.
- Produce color y aromas desagradables.
- Pérdida de valor nutricional del alimento (Belitz et al., 2012)

2.2.4 Reacciones de pardeamiento no enzimático.

a) Reacción de caramelización

Ocurre cuando los azúcares se calientan por encima de su punto de fusión. A partir de 180°C empieza la aparición de sustancias amargas como consecuencia del comienzo de la carbonización. Se efectúa tanto a pH ácidos como alcalinos y se acelera con la adición de ácidos carboxílicos y de algunas sales (Gerrard y Fayle, 2005)

Como consecuencia de la desestabilización térmica de los azúcares aparecen dos grupos diferentes de compuestos:

Compuestos de bajo peso molecular: Representan el 5-10 % del total y se forman por deshidratación y ciclación. Entre ellos se encuentran carboxílicos y piranonas, muchos de ellos volátiles y responsables del olor y sabor típicos

del caramelo. También aparecen 5-hidroximetil-furfural e hidroxiacetil-furano que al polimerizar dan los colorantes característicos (Belitz et al., 2012).

Polímeros de azúcares de tipo muy variado y complejo:

Forman entre el 90-95 % del total y en su mayoría son polidextrosas. Sin embargo, los productos más típicos de la caramelización son los dianhídridos de fructosa (DAF) o mixtos de fructosa y glucosa. (Belitz et al., 2012).

De acuerdo al medio de pH se presenta la:

Caramelización en medio ácido: Se produce por la deshidratación de los azúcares y posterior polimerización. Se forman principalmente compuestos de alto PM con dobles enlaces conjugados. El caramelo obtenido es oscuro y tiene poco aroma.

Caramelización en medio alcalino: Se producen isomerizaciones de los azúcares y fragmentaciones de las cadenas, generándose compuestos volátiles de bajo PM. El caramelo obtenido en este caso es más claro que el anterior, pero tiene más aroma (Gerrard y Fayle, 2005).

b) Reacción de Maillard

Las reacciones a temperaturas muy altas juegan un papel importantísimo en la preparación de los alimentos. Mediante asado, tostado, fritura y horneado se desarrollan en los alimentos calentados aromas típicos en los que los aminoácidos participan como precursores. De hecho, las operaciones culinarias y su respectivo correlato a nivel de la tecnología industrial: el horneado o asado (terminología que se prefiere según se trate de panes o carnes, respectivamente) y la cocción al microondas, modifican la cantidad

final de ciertos elementos químicos denominados compuestos de Maillard, en alimentos tales como las carnes rojas y las aves rostizadas. Este tipo de compuestos son en general de tono oscuro y están asociados al conocido proceso de “pardeamiento no enzimático” (browning) de los alimentos (Gerrard y Fayle, 2005).

La reacción de Maillard ocurre cuando las proteínas y ciertos lípidos de la superficie se combinan con los azúcares en los alimentos. Estas reacciones químicas de pardeamiento no enzimático son un grupo de transformaciones que dan origen a los colores y algunos sabores típicos de muchos alimentos cuando se someten a un tratamiento térmico; dependiendo de la intensidad, la coloración puede variar desde un ligero amarillo hasta el café intenso. Muchas veces se confunden las reacciones de caramelización con las de Maillard. Ambas son reacciones de pardeamiento, pero las primeras corresponden simplemente a la transformación de los azúcares sometidos a alta temperatura. En cambio, las segundas exigen la participación adicional de grupos amino primario libres. (Badui, 2013)

2.2.5 Incidencia de la reacción de Maillard en la tecnología agroindustrial alimentaria

Las tres propiedades principales de los productos formados en el transcurso de la reacción de Maillard a destacar son: color, aroma, sabor y poder reductor.

a) Color

Las 1-amino-1-desoxi-2-cetosos (compuestos de Amadori) son incoloros, pero se consideran los precursores del color. En efecto, independientemente de la

vía tomada por la reacción de Maillard, se produce finalmente una fuerte polimerización de las sustancias formadas hasta el punto de originar moléculas insolubles, negruzcas y carbonosas, denominadas melanoidinas, que constituyen la última etapa de la reacción de Maillard. Por el contrario, se denominan globalmente como “premelanoidinas” al conjunto de moléculas solubles formadas durante el desarrollo de la reacción (Bandoni, 2000).

Debe precisarse que la degradación térmica de los glúcidos (caramelización) puede desarrollarse simultáneamente con la reacción de Maillard y es susceptible de dar lugar a productos como aldoles, aldiminas, cetiminas que son las formas de melanoidinas insolubles (Bandoni, 2000).

b) Aroma y sabor

La reacción de Maillard provoca la formación de dos tipos de sustancias aromáticas: los furfurales y las reductonas, así como los aldehídos derivados de la descomposición de los aminoácidos en la degradación de Strecker. Estos últimos son específicos de este tipo de reacción de pardeamiento no enzimático.

La formación de aromas depende tanto de la naturaleza de los aminoácidos implicados en la reacción de Maillard como de la etapa exacta alcanzada por la misma; cada aminoácido es susceptible de formar numerosos “flavors”, favorables o perjudiciales desde el punto de vista sensorial. Contribuyen, por ejemplo, en gran parte al “flavor” de la corteza del pan fresco, del cacahuate tostado, del cacao y de ciertos quesos entre otros (Bandoni, 2000).

c) Poder Reductor de las Premelanoidinas

El poder reductor aparece en el transcurso de la reacción de Maillard bastante antes que el color. Se ha demostrado que para grados de humedad bajos y antes de la aparición del pardeamiento, el poder reductor se debe exclusivamente a los compuestos de Amadori.

Se ha puesto en evidencia el poder antioxidante de la reacción de Maillard frente a las grasas vegetales, en particular al ácido linoleico. Los aminoácidos más eficaces al respecto son la alanina y la prolina.

La reacción de Maillard produce también una variedad importante de sustancias ácidas que disminuyen el pH.

Finalmente, las premelanoidinas ejercen un efecto catalítico sobre la degradación de Strecker, ya sea provocando directamente la descarboxilación del aminoácido, o bien acelerando la formación de las reductonas, desencadenándose así más rápidamente la degradación (Belitz et al., 2012)

2.2.6 Cinética del pardeamiento no enzimático.

Cualquier tipo de reacción química se puede describir mediante modelos cinéticos, que permiten predecir la calidad del producto en función del tiempo. Los modelos cinéticos se pueden aplicar para estudiar los cambios químicos que experimenta un alimento. Los estudios realizados para establecer un modelo cinético que describa de forma satisfactoria los mecanismos de la reacción del pardeamiento no enzimático casi siempre se han realizado en soluciones modelos, preparadas a partir de una mezcla de diferentes proporciones de hexosas y de algún aminoácido concreto. Los trabajos

publicados coinciden en que la formación de melanoidinas no es el producto de una reacción simple, sino que se produce después de que en el medio se desarrollen un conjunto de reacciones muy complejas y que al día de hoy todavía no son conocidas completamente, y que además dependen de la temperatura, pH del medio, tipo de sustrato y su concentración inicial en el producto (Ibarz y Naves, 1995).

Debido a la complejidad de las reacciones que se presentan en el proceso de pardeamiento no enzimático de reacción y obtener un modelo cinético que pueda describir de forma adecuada el proceso global de pardeamiento. La evolución del pardeamiento no enzimático se puede evaluar mediante la variación de ciertos parámetros colorimétricos que pueda presentar el producto que se estudia. La variación del parámetro de color se puede describir mediante una ecuación cinética de la forma:

$$\frac{dP}{d\Theta} = k_i P^n$$

En la que P es la variable de color que se desea estudiar, Θ es el tiempo, K_i la constante cinética y n el orden de reacción. La variación del parámetro de color se puede describir tanto con modelos cinéticos de orden cero y de primer orden. Con el fin de obtener la ecuación que da la variación del parámetro de color con el tiempo, es necesario integrar la ecuación arriba mencionado, aplicando la condición límite inicial, en la que para $\Theta = 0$, $P = P_0$.

- Cinética de orden cero ($n = 0$):

$$P = P_0 + K_0 \Theta$$

➤ Cinética de primer orden ($n = 1$):

$$P = P_0 \exp(k_1 \Theta)$$

En estas ecuaciones P y P_0 representan el valor de la variable de color para un tiempo cualquiera y el inicial, respectivamente, mientras que K_0 y K_1 son las constantes cinéticas de orden cero y primer orden, respectivamente, siendo Θ el tiempo de reacción. Existen casos en que no es posible describir el pardeamiento enzimático mediante las sencillas cinéticas de primer y orden cero, siendo necesario buscar otros mecanismos de reacción que describan de un modo satisfactorio la evolución de las variables estudiadas. Así, se ha descrito un modelo cinético combinado, en la que aparecen dos etapas, una primera de formación de productos que dan color, y una segunda de destrucción de estos compuestos coloreados.

Durante los tratamientos térmicos, estos cambios pueden considerarse debidos a las reacciones de pardeamiento no enzimático entre azúcares reductores y aminoácidos, que para zumos y derivados de frutas se supone que siguen una cinética de orden cero. Además, existe una destrucción de los pigmentos naturales de las frutas, que se degradan según una cinética de primer orden. Para este modelo, la ecuación cinética que describe la variación de la variable estudiada se puede expresar como:

$$P = K - (K - P_0) \exp(-K_1 \Theta)$$

Siendo P la variable de color; P_0 su valor inicial; K un parámetro que es el cociente entre las constantes de la primera y segunda etapa ($K = k_0/K_1$); K_0

es la constante cinética de la etapa de aparición de la variable de color, mientras que K_1 la constante cinética de desaparición de dicha variable (Ibarz y Naves, 1995).

2.2.7 Factores que afectan la estabilidad

La reacción de condensación Maillard se puede inhibir a pH bajos, siendo el valor óptimo entre 6 a 8. Existen diferentes factores que influyen el pardeamiento no enzimático como la naturaleza de los azúcares reductores, temperatura, actividad de agua y pH (Cheftel y Cheftel, 1998)

a) Potencial de hidrógeno (pH)

Según Cheftel y Cheftel, 1998, el pH de un alimento es uno de los principales factores que determinan la supervivencia y el crecimiento de microorganismos durante su procesamiento, almacenaje y distribución.

Para el caso de frutas que son la principal fuente de elaboración de pulpas, tenemos que para la papaya es de 3.8, para la manzana de 3.6 y para la fresa 3.35, mientras que para el melocotón varía de 3.5 a 4.3. Estos valores de pH están en el margen de las que poseen los concentrados de frutas. En zumos de cítricos de frutas ácidas; pH normal = 2,5–3,5.

Por otro lado, (Fennema, 2010), afirma que existe correlación entre el pH y la estabilidad de las pulpas concentradas, ya que este parámetro ejerce una influencia significativa sobre el crecimiento microbiano limitando el posible desarrollo de numerosos gérmenes patógenos.

Su efecto es complejo porque cada una de las reacciones que intervienen en el pardeamiento tiene lugar a un pH óptimo:

- Condensación de Maillard: 6–8
- Reestructuración de Amadori: 7
- Degradación del ác. ascórbico: < 5
- Degradación de cetosaminas: 5,5
- Caramelización: 8

b) Actividad de agua (Aw)

La actividad de agua (aw) está íntimamente relacionada con las propiedades físicas, químicas y biológicas de los alimentos y juega papel importante en su estabilidad, ya que influye notablemente en la velocidad de alteración de alimentos. Alteraciones en el color, aroma, sabor y textura y en la aceptabilidad de un alimento; han sido asociadas a rangos de variaciones pequeña de actividades de agua.

La actividad de agua de los zumos de frutas viene determinada en función de los sólidos solubles, principalmente azúcares. Dichos niveles de azúcar pueden oscilar entre el 5 y 15% en peso, es decir, entre 5 y 15 ° Brix, lo que implica a que los valores de actividades de agua tome valores altos, por encima de 0,98, que favorece el desarrollo microbiano, ya que, aún cada microorganismo tiene una actividad de agua crítica por debajo de la cual no puede desarrollarse, el valor óptimo para el crecimiento de la mayoría de los microorganismos se sitúa entre 0,92 y 0,99. Así las bacterias, entre las que se incluyen las patógenas, prácticamente no pueden crecer cuando los valores de actividad de agua están por debajo de 0,85 a 0,90. Los mohos y levaduras,

en cambio, son más tolerantes, pudiendo crecer a valores de actividad de agua muchos más bajos de hasta 0,6.

La velocidad de pardeamiento se favorece con A_w entre 5,5 y 7,5.

Gráficamente: Si añado glicerol al alimento deshidratado produzco difusión de las sustancias reactivas presentes en el alimento y que estaban inmobilizadas; la curva comienza a crecer, la velocidad de pardeamiento llega a un máximo. A partir de aquí la curva disminuye debido a que hay un efecto de dilución. Se ve que el A_w es menor al añadir glicerol al alimento deshidratado que en el alimento deshidratado solamente. A menor a_w más compuestos reactivos tengo retenidos. (Fennema, 2010)

c) Temperatura

La temperatura es una de las variables que más influye en el proceso de pardeamiento no enzimático. Con el fin de cuantificar el efecto que la temperatura ejerce sobre el pardeamiento se puede utilizar la ecuación de Arrhenius, que relaciona las constantes cinéticas con la temperatura. Un aumento de temperatura hace que la constante cinética de cualquier reacción química también aumente. (Fennema, 2010)

Por otra parte (Labuza, 2000), manifiesta que, independientemente de su efecto sobre los microorganismos, el frío y el calor no controlados pueden causar deterioro de los alimentos. Dentro de la escala moderada de temperatura, en la que se manejan los alimentos, (10 a 38°C), para cada aumento de 10°C, se duplica aproximadamente la velocidad de las reacciones químicas, incluyendo tanto las reacciones enzimáticas y no enzimáticas. El

calor excesivo desnaturaliza las proteínas, rompe las emulsiones, destruye las vitaminas y reseca los alimentos al eliminar la humedad.

Según (Labuza, 1999) y (Labuza y Riboh, 1982), la interrelación entre la tasa de reacción y la temperatura fue cuantificada por la reacción de Arrhenius:

$$K = K_0 e^{(-Ea/RT)}$$

donde E_a es la energía de activación de la reacción (J/mol), R es la constante universal de los gases, T es la temperatura absoluta (°K) y k_0 (1/día) es la constante preexponencial o factor de (Labuza, 1999), donde menciona que es sumamente complejo la de reconocer un sistema alimentario con respecto a las pérdidas de calidad que es representada por la pérdida de un factor deseable de calidad A (ejemplo, el sabor) o el aumento de un factor indeseable B (ejemplo, valor de peróxido).

Las velocidades de pérdida de A , r_A y de formación de B , r_B , es dado por las ecuaciones siguientes:

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

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

El factor $[A]$ y $[B]$ pueden medirse como un parámetro químico, físico, microbiológico o sensorial. k y k' son las constantes de velocidad de reacción y n y n' las órdenes de la reacción. Las ecuaciones de velocidad que permiten

resolver analíticamente la expresión de la concentración de A o B están en función del tiempo.

La forma de estas funciones para diferentes órdenes de reacción se muestra en la tabla 5.

Tabla 5: Ecuaciones para los parámetros de calidad en función del tiempo para diferentes órdenes de reacción.

Orden de Reacción "n"	Ecuación para A	Ecuación para B
0	$A_0 - A = kt$	$B - B_0 = kt$
1	$\ln(A_0 / A) = kt$	$\ln(B / B_0) = kt$
$n \neq 1$	$1/A^{n-1} - 1/A_0^{n-1} = (n-1) kt$	$1/B_0^{n-1} - 1/B^{n-1} = (n-1) kt$

Fuente: (Taoukis et al., 1997)

Según (Fennema, 2010), la mayoría de las reacciones estudiadas en los alimentos, se han caracterizado como de orden pseudo cero o de pseudo de primer orden. Algunos ejemplos de reacciones de pérdida de calidad que siguen de orden cero tenemos: Calidad global de alimentos congelados y pardeamiento no enzimático y los que siguen reacciones de primer orden: pérdida de vitaminas, muerte/desarrollo microbiano, pérdida de color por oxidación y pérdida de textura en tratamientos térmicos, entre otros.

Al aumentar la temperatura, aumenta la velocidad del pardeamiento, ya que nos acercamos más a las energías de activación necesarias para que se inicien las reacciones de pardeamiento:

- Condensación de Maillard: 26 Kcal /mol
- Formación de glicosilamina: 3–9 Kcal /mol
- Descomposición de cetosaminas: 24 Kcal /mol
- Formación de pigmentos: 20–46 Kcal /mol

Un incremento de temperatura de 70°C hace que se incremente el pardeamiento 20.000 veces. Alimentos que sufren temperaturas elevadas en el procesado pardean durante el almacenamiento con más facilidad que los tratados a temperaturas moderadas.

2.3 Vitamina C

La vitamina C es un micronutriente esencial necesario para el normal funcionamiento metabólico del cuerpo. Es una de las vitaminas de estructura más sencilla, pues se trata de la lactona de un azúcar-ácido. El ácido ascórbico sólo se precisa en la dieta de unos pocos vertebrados: el hombre, los monos, el cobaya, el murciélago frugívoro de la India y en algunos peces. Es hidrosoluble, termolábil y sensible frente a la oxidación y a los álcalis e iones metálicos (Fennema, 2010).

La vitamina C es un antioxidante soluble en agua e importante en los fluidos biológicos, la reserva total en el organismo es de 1500 a 2500 mg. El ácido ascórbico es un potente reductor, pierde con facilidad átomos de hidrógeno y se transforma en ácido dehidroascórbico, que también posee actividad de

vitamina C. Sin embargo, la actividad vitamínica se pierde cuando el anillo lactónico del ácido dehidroascórbico se hidroliza para formar ácido dicetogulónico (Fennema, 2010).

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

2.3.1 Degradación de la vitamina C.

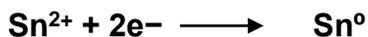
Las pérdidas de vitaminas disminuyen la calidad nutricional de los alimentos, no así su calidad organoléptica. La vitamina más sensible o lábil es el ácido ascórbico o vitamina C, que se pierde fácilmente por parámetros tales como oxidación, interacción con otros metales, temperatura, etc. Por esta razón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

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

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

Condiciones aerobias: El ácido dehidroascórbico tiene un 80% de actividad vitamina C y se oxida por la luz y en presencia de metales como Fe³⁺ (ión férrico) y Cu²⁺ (ión cúprico).

Condiciones anaerobias: En condiciones anaerobias la vitamina C está en equilibrio con la segunda molécula que aparece. Ocurre en zumos ya envasados. El CO₂ desprendido es el responsable del abombamiento de los envases de zumos. Se gasta primero el O₂ de cabeza de bote y luego el del zumo. La estabilidad de los zumos es mayor en latas de hojalata; se debe a que el O₂ reacciona con la hojalata (la cual tiene Sn y compite con el ácido ascórbico). (Bineesh et al., 2005)



Se puede aumentar la estabilidad de los zumos si los hacemos pasar por resinas que retengan los grupos amina libres. En zumos siempre tenemos que evitar la presencia de -NH₂.

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

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

a) Factores que afectan la oxidación del ácido ascórbico

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

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

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

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación fue realizado en el Laboratorio de Biotecnología Agroindustrial y Laboratorio de Procesos Agroindustriales de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Este trabajo se desarrolló entre marzo y agosto de 2017.

3.1 Materiales

3.1.1 Materia prima y otros

La materia prima el Camu-Camu procedente de la Selva Central del Perú fue adquirida del mercado Nery García Zárate de la ciudad de Ayacucho.



Figura 2: Fruto del Camu-Camu.

3.1.2 Reactivos

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

3.1.3 Materiales de laboratorio y otros

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

- Tubos de ensayo de con gradilla.

3.2 Equipos e Instrumentos

Los equipos e instrumentos utilizados para los diferentes análisis fueron:

- Balanza analítica, Marca AND HR 200
- Rotavapor, marca BUCHI
- Potenciómetro digital, marca THERMO SCIENTIFIC.
- Refractómetro de 0 a 32 °Brix, Marca RELES
- Colorímetro Marca SPECTROSCAN
- Licuadora doméstica, marca OSTER.
- Espectrofotómetro, marca LABOMED

3.3 Metodología Experimental

3.3.1 Muestreo de la materia prima

Se utilizó un plan de muestreo completamente aleatorizado de frutos, cada muestra conformada por 8 unidades se empleó para realizar la caracterización fisicoquímica por tres repeticiones. Para conformar este plan de muestreo, previamente se realizará un proceso de selección a partir de la adquisición de un lote de Camu-Camu, con la finalidad de obtener una muestra homogénea, basada en el criterio del descarte de frutos con daños por insectos plagas, físicos y con daños por hongos o bacterias (pudriciones).



Figura 3: Operación de selección del Camu-Camu

3.3.2 Caracterización fisicoquímica de las muestras de Camu-Camu

Se obtuvo el jugo de Camu-Camu de acuerdo con la metodología mostrada más adelante. Las determinaciones analíticas de las muestras que se realizaron en el jugo fueron las siguientes:

- **Contenido en sólidos solubles.** - La determinación de sólidos solubles totales se realizó por refractometría expresándose los resultados en °brix, contenido en sólidos solubles existentes en 100 gramos de jugo. (Nielsen, 2008)



Figura 4: La determinación de sólidos solubles totales del fruto del Camu-Camu.

- **Potencial de hidrógeno (pH).** - Se determinó directamente con un Potenciómetro, según la temperatura de referencia del instrumento. (Nielsen, 2008)
- **Acidez titulable.** - Se realizaron mediciones de acidez mediante una valoración potenciométrica con hidróxido de sodio hasta cuando aparece una coloración rosada en el jugo a valorar, utilizando fenolftaleína. El resultado se expresó en gramos de ácido cítrico por cada 100 gramos de pulpa. (AOAC, 2016).



Figura 5: Titulación de la muestra de Camu-Camu.

- **Vitamina C.** - Para la determinación de la vitamina C, se empleó el método espectrofotométrico propuesto por el departamento de Agricultura de Canadá, basado en la reducción del colorante 2-6 Diclorofenolindofenol por efecto de la solución del ácido ascórbico en ácido oxálico. (Nielsen, 2008) y observar (anexo 1).
- **Parámetros colorimétricos.** - Para la determinación del color del jugo de Camu-Camu se utilizó un colorímetro siguiendo el sistema CIElab, determinándose los valores de L^* luminosidad (Negro 0/Blanco100), a^* (verde-/rojo+) y b^* (azul-/amarillo+), estos parámetros fueron calculados según Minolta (1993).

3.3.3 Diseño metodológico para evaluar los tratamientos

Las muestras de Camu-Camu adquiridas se seleccionaron en base a criterios de homogeneidad y a los parámetros de calidad, eliminándose aquellas que presentan daños mecánicos, sobremadurez y con algún síntoma de

contaminación microbiana, luego serán lavadas empleando un desinfectante comercial, quedando lista para el proceso de extracción del jugo los cuales se obtendrán manualmente con la ayuda de una licuadora doméstica para la extracción del jugo y que después se refinará, a fin de separar los sólidos groseros de la fruta. Luego se concentrará el jugo con un Rotavapor hasta 25° Brix. La pulpa concentrada se tratará a diferentes temperaturas de escaldado (60°C, 70°C, y 80°C) por tiempos de 3, 6 y 9 minutos. (Figura 7).

En la Tabla 6 se muestra el esquema experimental empleado en el trabajo de investigación.

A partir de estas muestras tratadas a diferentes temperaturas por tiempos diferentes, se utilizarán alícuotas a fin de realizar los análisis respectivos de vitamina C y evaluación del color.



Figura 6: Proceso de concentración de jugo con un rotavapor de la muestra de Camu-Camu.

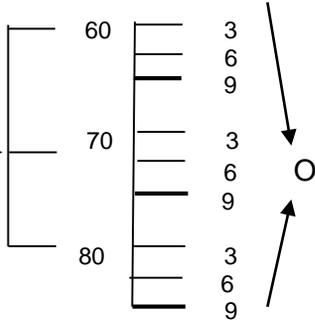
OPERACION	MATERIA PRIMA (Camu-Camu)	LAVADO Y DESINFECCIÓN	EXTRACCIÓN DE JUEGO	CONCENTRACIÓN DE PULPA	ESCALDADO	EVALUACIÓN
OPERACION	SELECCIÓN Y CLASIFICACION	Agua Clorada 30 ppm Inmersión	Licuadora Refinado	Presión de vacío Hasta 25° Brix	<p>Temp.(°C) tiempo (min)</p> 	
	CONTROLES	<ul style="list-style-type: none"> * °Brix * vitamina C * Actividad de agua * pH * Acidez titulable * Color (L, a*, b*) 	* Visual	* Visual	*Control de los sólidos solubles de la pulpa concentrada	<ul style="list-style-type: none"> * Control de la temperatura * Control del tiempo de escaldado

Tabla 6: Ecuaciones para los parámetros de calidad en función del tiempo para diferentes órdenes de reacción.

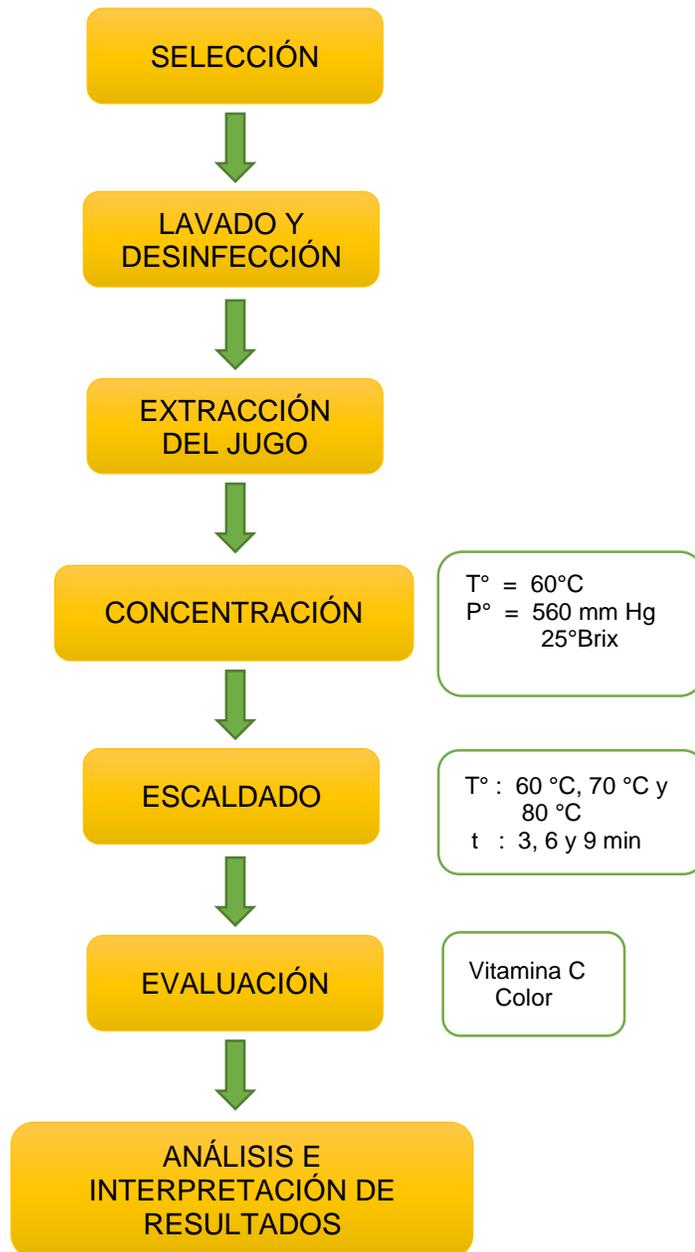


Figura 7: Diagrama de flujo del efecto del escaldado en el color y cinética de degradación térmica de la vitamina c del jugo de Camu-Camu (*Myrciaria dubia*)

Fuente: Elaboración Propia (2017).

3.3.4 Determinación de los valores de vitamina C y parámetros colorimétricos a evaluar durante el estudio

Se preparó dos tubos con 20 gramos de jugo de Camu-Camu, para cada relación temperatura-tiempo (60 °C, 70 °C y 80 °C durante 3, 6 y 9 minutos).

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

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

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

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

$$\text{Tiempo de vida media } t_{0.5} = \ln 2 / K_1 \quad (3)$$

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

$$\text{Ecuación de Arrhenius } K = K_0 e^{-E_a/RT} \quad (5)$$

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

3.4 Diseño Estadístico

El diseño estadístico a utilizarse es el completamente randomizado con arreglo factorial de dos variables (temperatura de escaldado y tiempo de tratamiento), para evaluar los dos factores de manera simultánea con tres repeticiones, permitiendo hacer comparaciones entre los niveles de cada factor

mencionado; cuyos resultados se evaluarán mediante el modelo estadístico siguiente:

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

Donde:

- Y_{ij} = Observación Individual
- U = Media General
- C_i = temperatura
- θ_j = tiempo de tratamiento
- E_{ij} = Efecto del error experimental

El análisis de varianza (ANVA) se realizó para estudiar las diferencias de los tratamientos utilizados, posteriormente se efectuó la prueba de comparación de Tukey. Se utilizará un nivel de significación de 5%.

Para el análisis estadístico de la vitamina C y el color con respecto al tiempo y temperatura de proceso, se empleará el software Desing expert v7.0.

Teniendo como variables las siguientes:

- **Variables Independientes** : Temperatura (60°C, 70°C y 80°C) y tiempos de tratamiento (3, 6 y 9 minutos)
- **Variables Respuestas** : Vitamina C y parámetros colorimétricos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Características físicas del Camu-Camu (*Myrciaria dubia*)

Se evaluaron 8 unidades de los frutos de Camu-Camu debidamente seleccionados en base a tamaño, forma, color e índice de madurez; presentando características físicas homogéneas, mediante rangos de pesos, pesos específicos y diámetros las que son mostrados en la tabla 7.



Figura 8: Fruto del Camu-Camu seleccionadas.

Tabla 7: Características físicas de los frutos de camu-camu.

Característica	Media	Rango
Peso (g)	10,48	10,15 – 10,78
Peso específico (g/cm ³)	0,94	0,88 – 0,97
Diámetro polar (cm)	2,54	2,44 – 2,62
Diámetro ecuatorial (cm)	2,74	2,62 – 2,84
Color		
L	38,58	37,19 – 39,21
a	58,43	57,74 – 60,38
b	22,17	21,05 – 23,82
Fracción de pulpa (%)	68,69	67,14 – 69,08

Como se observa en la tabla anterior, el promedio de los pesos de Camu-Camu fue de 10,48 g; con respecto a su peso específico el promedio fue de 0,94 g/cm³; del mismo modo en base a sus diámetros polares y ecuatoriales promedio fue de 2,54 cm y 2,74 cm respectivamente, con un color guindo-rojizo representado por valores promedio de luminosidad L de 38,58, el valor a* con 58,43 y el valor de b* de 22,17. El rendimiento de pulpa fue de 68,69%.

4.2 Características fisicoquímicas del Camu-Camu

Con relación a las características fisicoquímicas (Tabla 8) se encontró que el contenido de sólidos solubles (6,2) y acidez (2,76), indicativo de un fruto ácido-poco dulce, lo cual representa su principal característica por la amplia aceptación del fruto para darle valor agregado.

Tabla 8: Características fisicoquímicas de los Frutos de Camu-Camu.

Característica fisicoquímica	Valor
Sólidos solubles (°Brix)	6,2
Acidez titulable (ácido cítrico) (%)	2,76
Índice de madurez	2,25
pH	2,87
Vitamina C (mg)/ 100 g	2739,83

El índice de madurez de 2,25 es considerado como adecuado para definir el momento de la cosecha, por coincidir con el aroma, sabor y color típico del cultivar de Camu-Camu.

Por otro lado, el contenido de vitamina C de 2739,83 mg/ 100 g de jugo calculado experimentalmente, coincide lo determinado por Reyes et al (2009), en el caso del valor de pH característico de esta fruta es similar a lo reportado por (Salas, 2009).

De acuerdo a las cualidades químicas y al promedio de la fracción de la pulpa (mesocarpio) de 68,69% (Tabla 7), el fruto se consideró ideal para la obtención de jugo a nivel agroindustrial. Estas características determinaron la calidad global del Camu-Camu.

4.3 Evaluación del deterioro de vitamina C en jugo de camu-camu

4.3.1 Degradación de la vitamina C en jugo de camu-camu

En la tabla 9 se muestra la degradación de vitamina C de jugo de Camu-Camu a 25°brix a las diferentes temperaturas de estudio y tiempos aplicados.

Se ha analizado por espectrofotometría los contenidos de vitamina C durante la investigación. (ver anexo 2).

Tabla 9: Degradación de vitamina C (mg) de jugo de Camu-Camu a 25° brix, a diferentes temperaturas.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)		
	60	70	80
0	2743,62	2739,44	2737,09
3	2715,86	2701,62	2651,13
6	2686,28	2642,43	2612,09
9	2639,74	2603,28	2567,58

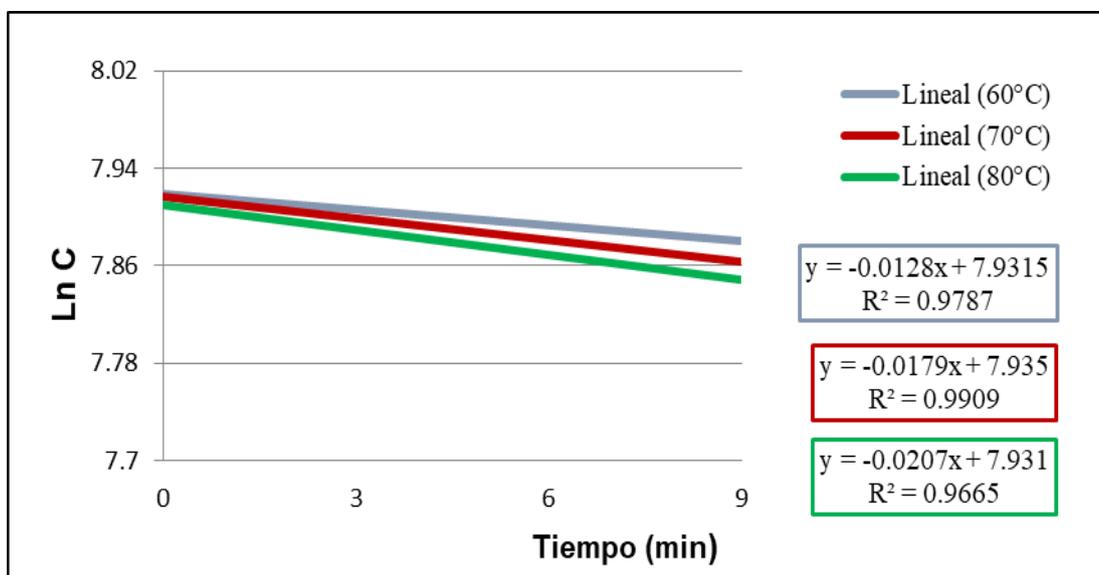


Figura 9: Evolución de Ln C (Vitamina C) en el tiempo en jugo de Camu-Camu a 25° Brix a las temperaturas en estudio.

Tabla 10: Constantes de degradación de vitamina C de jugo de Camu-Camu a 25°Brix.

VARIABLE	Temperatura (°C)		
	60 °C	70 °C	80 °C
Co (mg/100 g)	2743,62	2739,44	2737,09
K (min ⁻¹)	0,0128	0,0179	0,0207
r ²	0,9787	0,9909	0,9665

En la tabla 9 y en el Figura 9 se muestran los resultados de vitamina C y el comportamiento de la cinética de degradación térmica de la vitamina C/100 g en jugo de Camu-Camu a 25°brix, que se degrada de acuerdo con las temperaturas de tratamiento de 60°C, 70°C y 80°C, de los cuales se observa que 80°C es más rápida la degradación de vitamina C.

Según (Matos et al., 2010) el ácido ascórbico es una vitamina termosensible que puede verse afectada por diversos factores como la luz, el oxígeno y actividad de agua.

En el Figura 9 se observa que la cinética de degradación del ácido ascórbico es mayor conforme se incrementa la temperatura, para ello se ajustaron los datos a un modelo lineal para cada temperatura, las variables para cada modelo se presentan en la 9, de los cuales: Co es la cantidad de Vitamina C, K es la constante de cinética de degradación y r² es el coeficiente de correlación exponencial.

Es decir, que la velocidad con que reacciona el ácido sigue el modelo de la ecuación $C_t = C_0 * e^{-kt}$, donde el ácido ascórbico se convierte en ácido dehidroascórbico.

Asimismo, modelando cinéticamente los efectos del tratamiento térmico, a las temperaturas en estudio de 60°C, 70°C y 80°C, sobre jugo concentrado de Camu-Camu a 25 °Bx, se determina que sigue una cinética de primer orden.

En la tabla 10 se observa como la constante cinética de velocidad de reacción de degradación de la vitamina C aumentan al aumentar la temperatura de tratamiento y esta es más pronunciada a 80°C; de este modo, en el modelo de primer orden, la constante de velocidad pasa de 0,0128 min⁻¹ a 60°C, a 0.0207 min⁻¹ a 80°C.

Se comprueba que la constante de velocidad de reacción (k) aumenta conforme se incrementa la temperatura, lo que confirma y muestra el aumento en la velocidad de degradación de la vitamina C al elevar la temperatura aplicada.

(Hiwilepo et al., 2012) estudiaron la evolución de la reacción de degradación de vitamina C en función de la temperatura para zumos de marula, la cinética de primer orden fue la que mejor describió la reacción de degradación esta vitamina.

(Matos y Chuquilín, 2010) al estudiar la degradación térmica de vitamina C en jugo de carambola comprobó también el aumento de la constante de degradación k conforme aumentó la temperatura de trabajo.

Resultados similares también encontró (Sapei y Hwa, 2014) en estudios de jugo de fresa.

4.3.2 Parámetros cinéticos de la degradación térmica de vitamina C en jugo de Camu-Camu

La degradación térmica de la vitamina C en el jugo de Camu-Camu a 25°brix responden a una cinética de degradación de primer orden, tal como se observa en los coeficientes de regresión mayores a 0,90 (Figura 9); los valores de Z y Ea fueron calculado en esta investigación.

En la tabla 11 se muestra los valores cinéticos de degradación térmica de la vitamina C del jugo de Camu-Camu a la concentración de 25°brix, tales como: la constante de cinética de degradación (k), el coeficiente de regresión (r), el tiempo de vida media (t0,5) y el tiempo de reducción decimal (D).

D se define como el tiempo necesario para reducir el contenido de vitamina C de la pulpa concentrada a la décima parte; cabe recalcar que cuanto mayor sea la temperatura de trabajo menor será el valor de D y t0.5 es el tiempo necesario para que la vitamina se degrade al 50%. (Ibarz et al., 2009.)

El valor t0.5 se calcula así: $t_{0.5} = 0,693/k$

El valor D se calcula así: $D = 2,303/k$

Dónde:

k es la constante hallada en la cinética.

Tabla 11: Parámetros cinéticos de degradación térmica de vitamina C en jugo de Camu-Camu a 25°brix.

T (°C)	k (min)	r ²	t _{0.5} (min)	D (min)
60	0,0128	0,9787	54,14	179,92
70	0,0179	0,9909	38.72	128,66
80	0,0207	0,9665	33,48	111,26

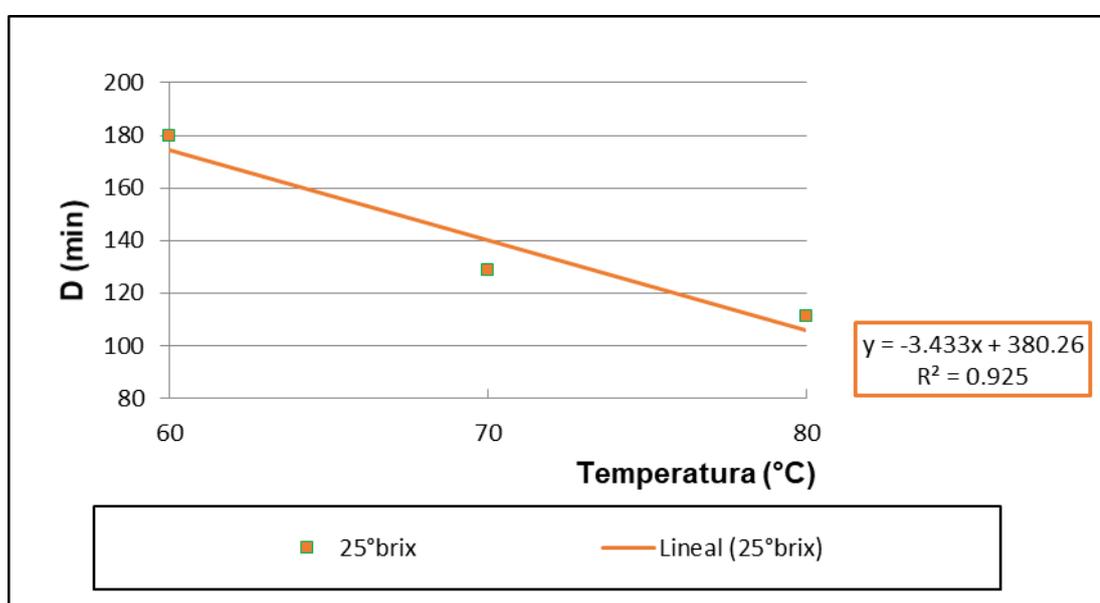


Figura 10: Valores D para jugo de Camu-Camu a 25°brix.

Al observar la tabla 11 se corrobora que cuando aumenta la temperatura de proceso el tiempo de reducción decimal del contenido de vitamina C disminuye en la pulpa a 25°brix.

Se comprueba que el tiempo de reducción decimal disminuye con el incremento de la temperatura, lo cual se debe a la sensibilidad térmica de la vitamina C; para D70 se determinó que la reducción de aproximante un 72% en la concentración inicial de esta vitamina que fue de 179,92 minutos, mientras que para D80 este tiempo se redujo a un 62% (111,26 min). Resultados similares reportaron en el jugo de carambola en el que el valor

de D disminuyó con el aumento de la temperatura hasta casi la mitad de su valor al incrementarse la temperatura de 60°C a 90°C. (Matos y Chuquilín, 2010)

En la Figura 10 se muestra los valores de D (min) frente a la temperatura de trabajo.

(Ordoñez et al., 2013) recomienda que al trabajar con pulpas que contengan vitamina C es mejor aplicar un tratamiento de altas temperaturas por cortos tiempos (HTST) para que la energía de activación de la vitamina C no sea afectada, evitando el punto de inicio de su degradación.

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

El valor D es el tiempo necesario a una temperatura constante para que el número de microorganismos (en este caso el contenido de vitamina C) viables disminuya diez veces, o lo que es lo mismo para destruir el 90% de las esporas o células vegetativas de un organismo o atributo dado.

(Hiwilepo et al., 2012) refiere que en los cálculos de los procesos de tratamiento térmico es importante tener un conocimiento de la variación de las velocidades de reacción específicas con la temperatura. Se han empleado diversas expresiones matemáticas para indicar este cambio en la velocidad de reacción con la Ecuación de Arrhenius.

4.3.3 Ecuación de Arrhenius en la degradación térmica de vitamina

C

Para cuantificar el efecto de la temperatura sobre la concentración evaluada y los tiempos empleados en el proceso se han ajustados las constantes de velocidad obtenidas en cada modelo cinético, a una ecuación tipo Arrhenius.

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

Dónde:

K: corresponde cada una de las distintas constantes de velocidad que en su momento se estudian.

K₀: factor de frecuencia.

E_a: energía de activación

R: constante de los gases

T: temperatura absoluta

Los resultados obtenidos de los ajustes realizados para la constante de velocidad de degradación de vitamina C se muestran a continuación:

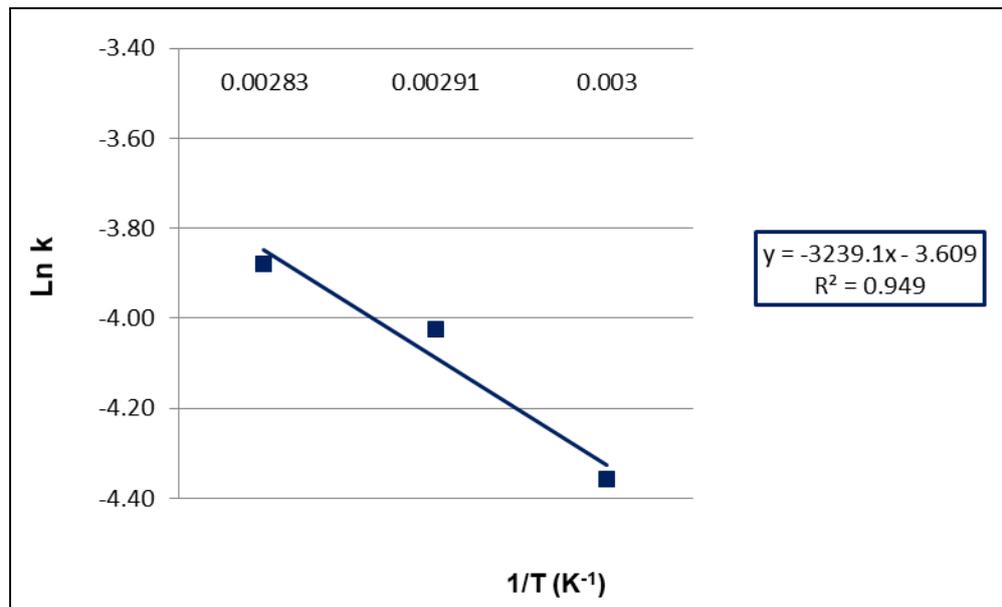


Figura 11: Ecuación de Arrhenius de la degradación térmica de vitamina C en jugo de Camu-Camu a 25° Brix.

Tabla 12: Cinética de degradación térmica de la vitamina C de jugo de Camu-Camu según Arrhenius a 25°brix.

Variable	Respuesta
Ea (Kcal/mol)	6,436
K₀	0,0271
r²	0,949

Analizando los resultados de la Figura 11 y tabla 12; se corrobora que los valores cinéticos representan un modelo cinético de primer orden, donde la energía de activación fue de 6,436 Kcal/mol para la concentración de jugo de Camu-Camu de 25°brix, este resultado fue menor con el obtenido por (Ordóñez y Yoshioka, 2012) al estudiar la degradación del ácido ascórbico durante el tratamiento térmico en pulpa de mango.

(Ordoñez et al., 2013) refieren que la degradación térmica de la vitamina C en frutos de guayaba puede ser explicada a través de una cinética de primer orden y la ecuación de Arrhenius y que el valor de la energía de activación fue menor a medida que la concentración de las muestras de guayaba era mayor (50-60%), y cuyo valor encontrado fue de 7,57 Kcal/mol.

Estos parámetros cinéticos de la vitamina C se difieren con respecto a otros trabajos de investigación y puede deberse a las temperaturas empleadas, la matriz biológica y su geometría, la concentración de oxígeno, pH y probablemente por las diferencias en el contenido de humedad de las muestras y las concentraciones del producto. (Hiwilepo et al., 2012)

Según (Ibarz et al., 2009.) comprobaron el efecto de la temperatura sobre las constantes cinéticas y que se puede cuantificar mediante la ecuación de Arrhenius, obteniendo que las energías de activación, para la evolución de A420 y L*, las cuales mostraron una tendencia a disminuir con el aumento de la concentración, en estudios del pardeamiento de zumos clarificados de limón tratados a altas temperaturas.

4.4 Evaluación de los parámetros colorimétricos (L*, a* y b*)

Con la finalidad de evaluar la variación del color en el jugo de Camu-Camu a 25°C, se ha estudiado la evolución que presentan la temperatura de proceso y el tiempo empleado. Esta variación de color puede deberse al pardeamiento no enzimático por la aparición de melanoidinas, con la correspondiente variación de la luminosidad (L*), el incremento de color o los parámetros colorimétricos a* y b*, varíen a medida que el contenido en melanoidinas formadas aumenta. Por tanto, estos parámetros

colorimétricos sirven para medir el progreso de la degradación del color del jugo de Camu-Camu a 25°C a lo largo del tratamiento térmico.

4.4.1 Evolución de la luminosidad (L*)

La luminosidad (L*) es un parámetro colorimétrico que también se utiliza para estudiar la evolución del pardeamiento de los jugos de frutas.

En la tabla 13 se muestra los valores del análisis de varianza para luminosidad en jugo de Camu-Camu a 25°brix, a temperaturas de 60°C, 70°C y 80°C y 3, 6 y 9 minutos de tiempo de tratamiento térmico.

Tabla 13: Análisis de Varianza (ANOVA) para luminosidad (L*).

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Temperatura	10.7736	1	10.7736	109.56	0.0019
B:Tiempo	9.15135	1	9.15135	93.06	0.0024
AA	0.381356	1	0.381356	3.88	0.1435
AB	0.0025	1	0.0025	0.03	0.8834
BB	0.0346722	1	0.0346722	0.35	0.5944
Error total	0.295011	3	0.098337		
Total (corr.)	20.6385	8			

Del ANOVA mostrado en la tabla 13, se observa que los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores principales (Temperatura y tiempo), puesto que son menores a 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre LUMINOSIDAD con un 95% de nivel de confianza; y la interacción no muestra diferencia significativa estadística sobre la luminosidad.

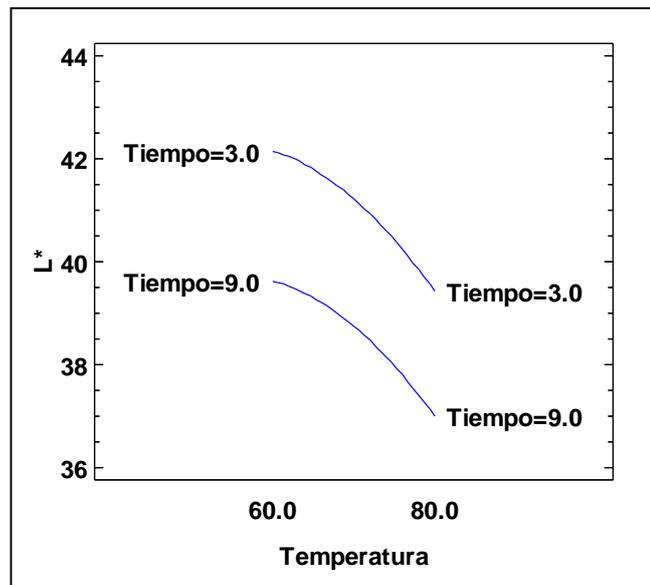


Figura 12: Efecto de la interacción entre la concentración y temperatura sobre la variación de luminosidad en jugo de Camu-Camu a 25°brix

Al observar la Figura 12 se corrobora que, si la temperatura aumenta y el tiempo también, los valores de luminosidad disminuyen, siendo más pronunciada a 80°C y a 9 minutos.

En la figura 13 se muestra la superficie de respuesta de la variación de luminosidad (L*) de jugo de Camu-Camu con 25°brix a las temperaturas de 60°C, 70°C y 80°C a los 3, 6 y 9 minutos de aplicación del tratamiento térmico.

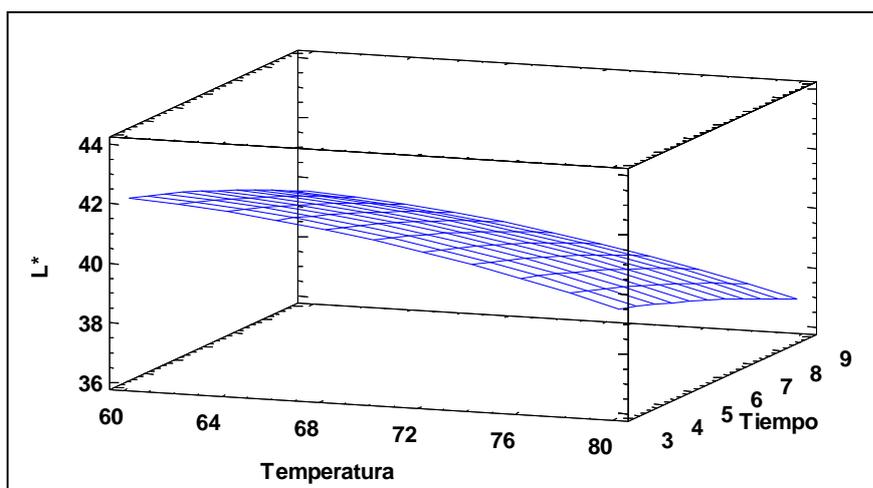


Figura 13: Superficie de respuesta de la variación de luminosidad (L^*) en jugo de Camu-Camu a 25° brix

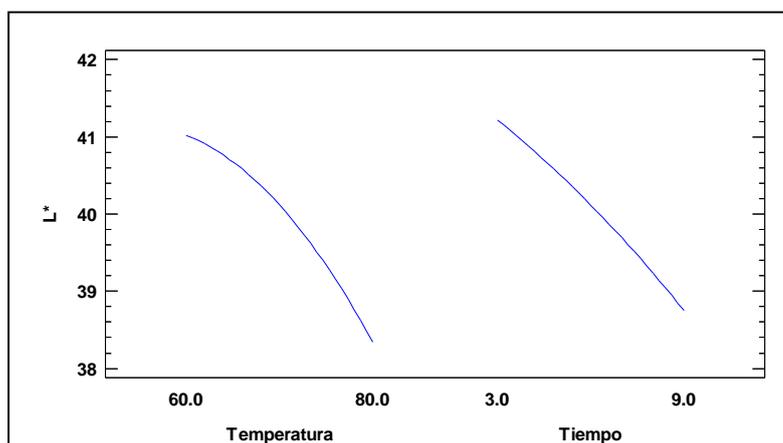


Figura 14: Variación de los efectos principales del parámetro L^* en jugo de Camu-Camu con 25 °brix.

La luminosidad (L^*) es un parámetro colorimétrico que también se utiliza para estudiar la evolución de la degradación del color de los jugos de frutas por efecto de las temperaturas altas, en este caso el jugo concentrado de Camu-Camu, notándose que la luminosidad disminuye a medida que aumenta la temperatura y el tiempo. Por tanto, al observar la figura 14, al representar la evolución de este parámetro frente al tiempo de tratamiento

se comprueba que las muestras van disminuyendo su valor de luminosidad por efecto de la temperatura aplicada.

(Ibarz y Naves, 1995), en sus estudios de zumo clarificado de manzana obtiene que en los zumos de 20 y 30 °brix, su valor de luminosidad disminuye a medida que las temperaturas son más elevadas.

Esto confirma los resultados obtenidos en los cuales un aumento de temperatura de tratamiento y un mayor tiempo del producto tratado tiende a favorecer el proceso de degradación térmica de pigmentos de coloración rojizo (carotenoides) por efecto de las temperaturas empleadas.

4.4.2 Evolución del parámetro (a^*) en jugo de Camu-Camu con 25°brix a temperaturas de 60°C, 70°C y 80°C

El CIEL^{*}a^{*}b^{*} (CIELAB) es el modelo cromático usado normalmente para describir todos los colores que puede percibir el ojo humano. Fue desarrollado específicamente con este propósito por la Commission Internationale d'Eclairage (Comisión Internacional de la Iluminación), razón por la cual se abrevia CIE. Los tres parámetros en el modelo representan la luminosidad de color (L^* , $L^*=0$ rendimientos negro y $L^*=100$ indica blanca), su posición entre magenta y verde (a^* , valores negativos indican verde mientras valores positivos indican magenta) y su posición entre amarillo y azul (b^* , valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo).

En la tabla 14 se muestra los valores del análisis de varianza para la el parámetro colorimétrico a^* en jugo de Camu-Camu a 25°brix, a

temperaturas de 60°C, 70°C y 80°C y 3, 6 y 9 minutos de tiempo de tratamiento térmico.

Tabla 14: Análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro (a*).

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	7.17227	1	7.17227	34.08	0.01
B: Tiempo	27.9504	1	27.9504	132.79	0.0014
AA	1.8432	1	1.8432	8.76	0.0596
AB	0.001225	1	0.001225	0.01	0.944
BB	1.49645	1	1.49645	7.11	0.0759
Error total	0.631442	3	0.210481		
Total (corr.)	39.095	8			

Del análisis estadístico mostrado en la tabla 14, se observa que los factores principales temperatura y tiempo los valores-P son menores que 0,05; estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el parámetro a* con un 95% de nivel de confianza; y la interacción temperatura-tiempo no presenta diferencias significativas estadísticas.

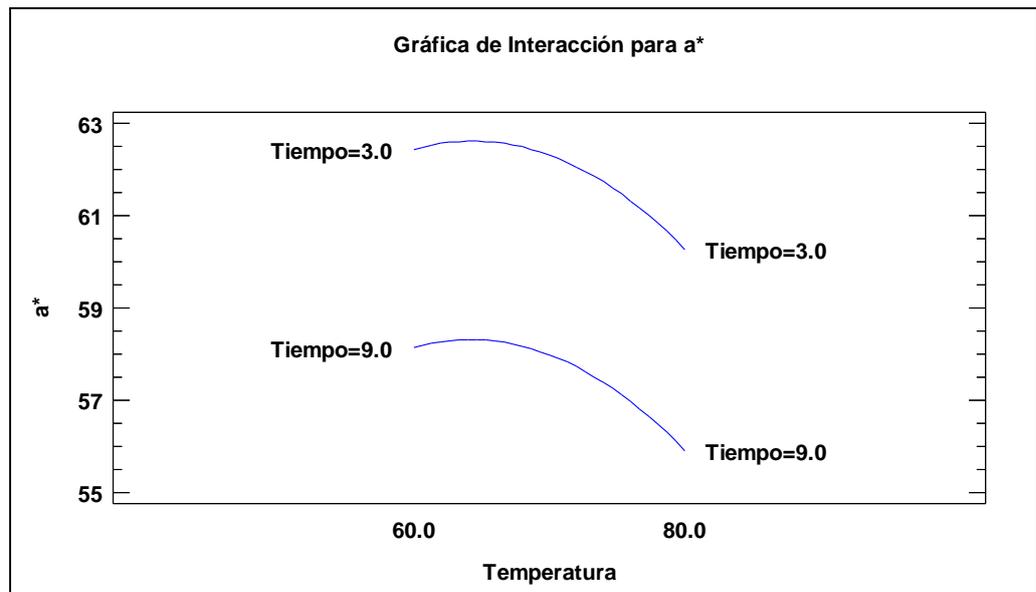


Figura 15: Efecto de la interacción entre la temperatura y el tiempo sobre el parámetro a^* en jugo de Camu-Camu a 25°brix.

En la figura 15 se observa que existe una clara relación entre la temperatura y el tiempo, por cuanto según como aumenta la temperatura de tratamiento y el tiempo, disminuye el parámetro a^* una temperatura de 80°C a 9 minutos, en estas condiciones este efecto es más pronunciado.

En la figura 16 se muestra la superficie de respuesta del parámetro colorimétrico (a^*) de jugo de Camu-Camu con 25°brix a las temperaturas de 60°C, 70°C y 80°C a los 3, 6 y 9 minutos de aplicación del tratamiento térmico.

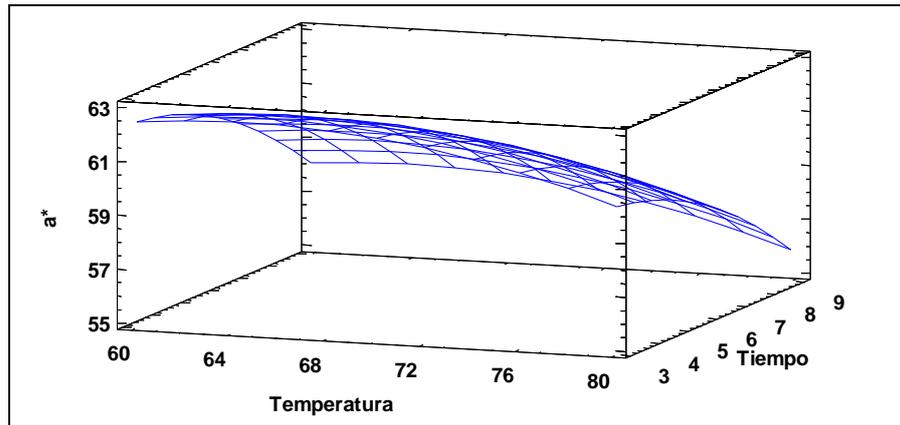


Figura 16: Superficie de respuesta de la evolución del parámetro a^* en jugo de Camu-Camu con 25 °brix.

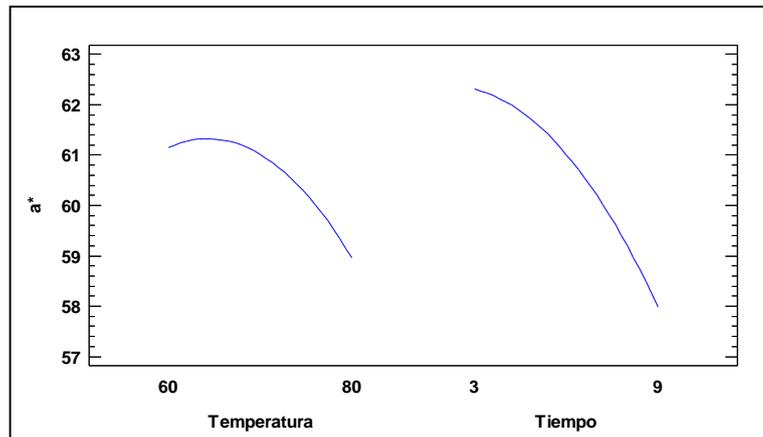


Figura 17: Variación de los efectos principales del parámetro a^* en jugo de Camu-Camu con 25 °brix.

Se hizo la comparación de la tendencia de cromaticidad teniendo en consideración las temperaturas empleadas en los tiempos de aplicación de jugo de Camu-Camu a 25°C para poder observar la evolución del parámetro a^* , como se observa en las figuras 7 y 8; que, a mayor temperatura y tiempo de tratamiento, la tendencia es la de evolucionar de tonalidades rojizas (donde se encuentra la coloración rojizas-guinda característico del jugo de Camu-Camu) a rojizas ligeramente oscuras por efecto de la degradación del color al aplicar temperaturas altas (80°C).

Al respecto (Manayay et al., 2013) reportaron la disminución relevante de los parámetros L^* , a^* y b^* con la temperatura y el tiempo de proceso en el mango variedad Haden, siendo relativamente más pronunciada dicha disminución a mayores temperaturas y tiempos. Resultados similares encontró Gonçalves et al., (2010) en zanahoria.

4.4.3 Evolución del parámetro (b^*)

En la tabla 15 se muestra los valores del análisis de varianza para la el parámetro b^* en jugo de Camu-Camu a 25°brix, a temperaturas de 60°C, 70°C y 80 °C y 3, 6 y 9 minutos de tiempo de tratamiento térmico.

Tabla 15: Análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro (b^*).

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Temperatura	10.14	1	10.14	6.93	0.0782
B:Tiempo	5.68427	1	5.68427	3.88	0.1433
AA	1.70509	1	1.70509	1.17	0.3595
AB	2.0164	1	2.0164	1.38	0.3252
BB	2.22E-05	1	2.22E-05	0	0.9971
Error total	4.39071	3	1.46357		
Total (corr.)	23.9365	8			

Del análisis estadístico que se muestra en la tabla 15, se observa los efectos principales, temperatura y tiempo; y la interacción temperatura-tiempo los valores-P son mayores que 0,05; es así que estos factores no tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el parámetro b^* con un 95% de nivel de confianza.

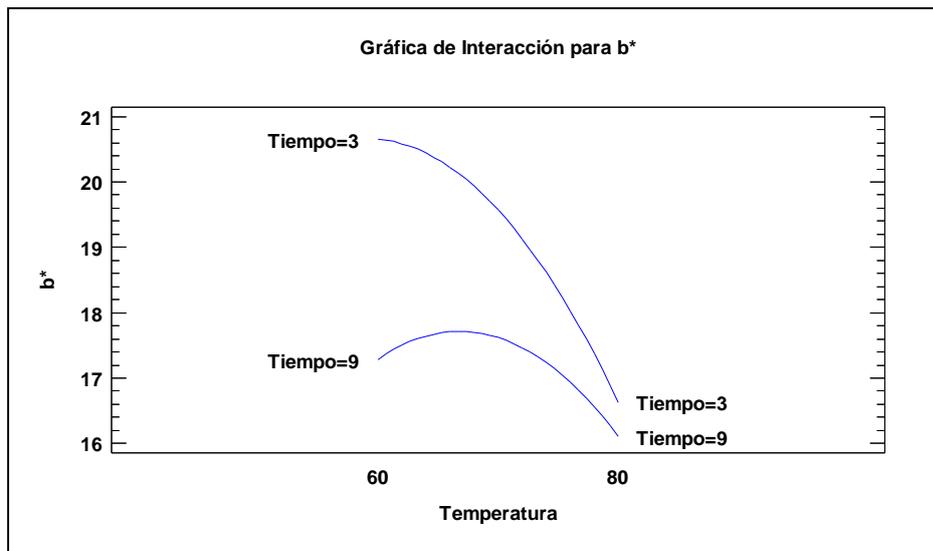


Figura 18: Efecto de la interacción entre la temperatura y el tiempo sobre el parámetro b^* en jugo de Camu-Camu a 25°brix.

En la figura 18 se observa que existe una clara relación entre la temperatura y el tiempo por cuanto según como aumenta la temperatura de tratamiento y la concentración, disminuye el parámetro de cromaticidad b^* a una elevada temperatura de tratamiento de 80°C y 9 minutos este efecto es más pronunciado.

En la figura 19 se muestra la superficie de respuesta del parámetro colorimétrico (b^*) de jugo de Camu-Camu con 25°brix a las temperaturas de 60°C, 70°C y 80°C a los 3, 6 y 9 minutos de aplicación del tratamiento térmico.

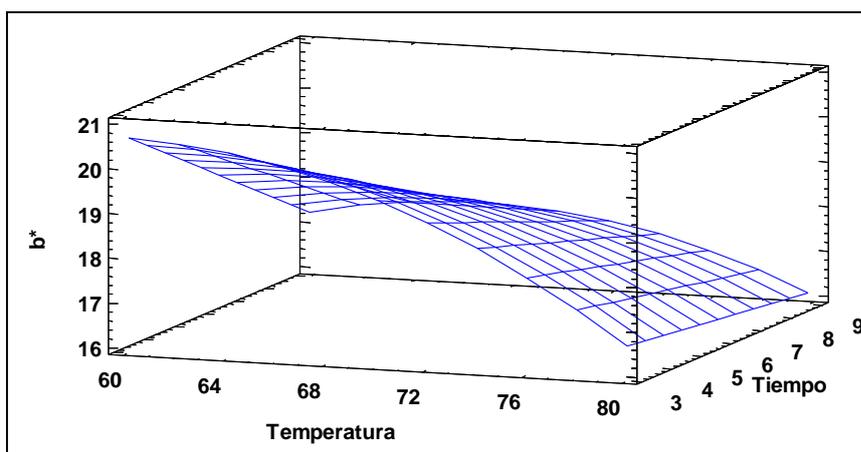


Figura 19: Superficie de respuesta de la variación del parámetro b^* en jugo de Camu-Camu con 25 °brix.

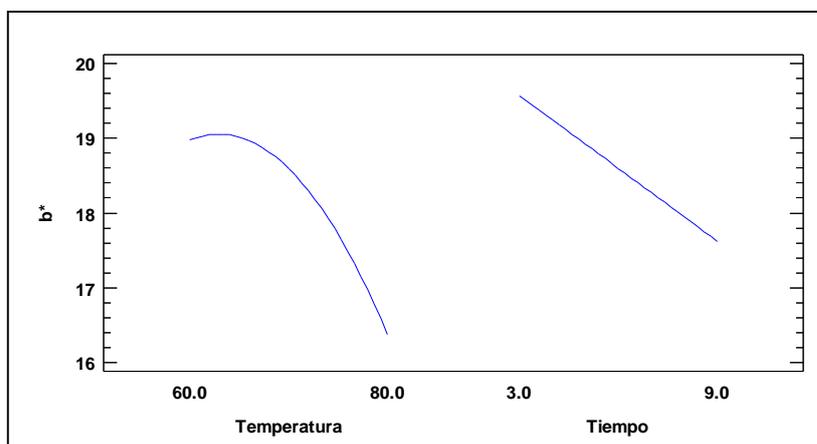


Figura 20: Variación de los efectos principales del parámetro b^* en jugo de Camu-Camu con 25 °brix.

Se hizo la comparación de la tendencia de cromaticidad teniendo en consideración las temperaturas empleadas en los tiempos de aplicación de jugo de Camu-Camu a 25°C para poder observar la evolución del parámetro b^* , como se observa en las figuras 10 y 11; que, a mayor temperatura y tiempo de tratamiento, la tendencia es la de variar de tonalidades rojizas (donde se encuentra la coloración rojizas-guinda característico del jugo de Camu-Camu) a rojizas ligeramente oscuras por efecto de la degradación del color al aplicar temperaturas altas (80°C).

Según (Manayay et al., 2013) refieren que los comportamientos de las disminuciones de los parámetros colorimétricos L^* , a^* y b^* , al aplicar temperaturas altas y tiempos prolongados, se puede deber al inicio de reacciones de pirolisis sobre las reacciones de degradación de carotenoides, generando a la caramelización de la sacarosa por efecto de la temperatura de proceso con la consecuente formación de pigmentos oscuros, para que finalmente predomine el efecto de la degradación térmica de los carotenoides provocando el inicio de la pérdida de calidad de los productos.

V. CONCLUSIONES

5.1 Al elevar la temperatura de tratamiento de 60°C, 70°C y 80°C en los tiempos 3, 6 y 9 minutos empleados, estos aceleran el cambio de color de las antocianinas y aumentan la cinética de degradación térmica de vitamina C en el jugo de Camu-Camu .

5.2 Los valores de las características fisicoquímicas del camu camu fueron óptimas y son los siguientes:

Característica fisicoquímica	Valor
Sólidos solubles (°Brix)	6,2
Acidez titulable (ácido cítrico) (%)	2,76
Índice de madurez	2,25
pH	2,87
Vitamina C (mg)/ 100 g	2739,83

5.3 Los valores cinéticos de degradación térmica de vitamina C del jugo de Camu-Camu a 25°brix fueron:

T (°C)	t_{0,5} (min)	D (min)
60	54,14	179,92
70	38,72	128,66
80	33,48	111,26

donde (D), tiempo de reducción decimal y t_{0,5} es el tiempo de vida media.

5.4 La energía de activación según Arrhenius fue de 6,436 kcal/mol para el jugo de Camu-Camu a 25°brix a las temperaturas de 60°C, 70°C y 80°C a 3, 6 y 9 minutos de tratamiento térmico.

En el plano colorimétrico determinado por a^* - b^* se observa que al aumentar el tiempo de tratamiento de las muestras la tendencia es la de disminuir el valor del parámetro a^* , lo que indica que el jugo de Camu-Camu varía hacia tonalidades más rojizas (color rojizo-guinda característico del jugo). Además, esta evolución es más pronunciada a medida que aumenta la temperatura de tratamiento.

5.5 La degradación térmica de vitamina C en jugo de Camu-Camu a 25 °brix. correspondieron a una cinética de primer orden, tal como se observa en los coeficientes de regresión mayores a 0.90.

T (°C)	k (min)	r²	t_{0.5} (min)	D (min)
60	0,0128	0,9787	54,14	179,92
70	0,0179	0,9909	38.72	128,66
80	0,0207	0,9665	33,48	111,26

VI. RECOMENDACIONES

- 6.1 Realizar trabajos de investigación de degradación térmica de vitamina C con temperaturas por debajo de 60°C.
- 6.2 Realizar estudios de investigación de degradación térmica del color y vitamina C con jugos de frutas de distintas concentraciones.
- 6.3 Realizar estudios de pruebas de almacenaje de productos que han sufrido tratamiento térmico para evaluar cómo varía el contenido de vitamina C en el tiempo de almacenaje.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, B., Montiel, M., Avanza, J. 2004. Estudio cinético de la degradación de la actividad antioxidante hidrosoluble de jugos cítricos por tratamiento térmico. *FACENA*, 20:91-95.
- Akter, S.; Oh, S.; Bang, J.; Ahmed, M. 2011. Nutritional compositions and health promoting phytochemicals of camu-camu (*Myrciaria dubia*) fruit: A review. *Food Research International* 44(7): 1728–1732.
- AOAC. 2016. Official Methods of Analysis of AOAC International. 20th edition. Washington D.C AOAC.
- Arellano-Acuña E; Rojas-Zavaleta I y Paucar-Menacho L. 2016. Camu-camu (*Myrciaria dubia*): Fruta tropical de excelentes propiedades funcionales que ayudan a mejorar la calidad de vida. *Scientia Agropecuaria* 7(4): 433 – 443.
- Badui S. 2013. Química de los alimentos. Quinta edición. México.
- Bandoni, A. 2000. Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica, su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores. Argentina: Red de Editoriales Universitarias. p.p. 29-43, 94-96, 149-171, 197-232.
- Belitz, H D. 2012. Química de los alimentos. Tercera edición. Editorial Acribia. Zaragoza. España.
- Bineesh, N.; Singhal, R. S. & Pandit A. 2005. A study on degradation kinetics of ascorbic acid in drumstick (*Moringa olifera*) leaves during cooking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 1953-1958.

- Carr, A. C. y Frei, B. (1999). Toward a new recommended dietary allowance for vitamin C based on antioxidant and health effects in humans. *American Journal of Clinical Nutrition* 69(6): 1086–107.
- Chagas, E.A.; Lozano, R.M.B.; Chagas, P.C.; Bacelar- Lima, C.G.; García, M.I.R.; Oliveira, J.V.; Souza, O.M.; Morais, B.S.; Araujo, M.C.R. 2015. Intraspecific variability of camu-camu fruit in native populations of northern Amazonia. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 15: 265-271.
- Chang A. 2013. *El Camu Camu, Aspectos Químicos, Farmacológicos y Tecnológicos*. Ica (PERU).
- Cheftel, C. y Cheftel, H.; 1998. *Introducción a la bioquímica y Tecnología de los alimentos*. España, Acribia; Vol 1
- Chirinos, R.; Galarza, J.; Betalleluz-Pallardel, I.; Pedreschi, R.; Campos, D. 2010. Antioxidant compounds and antioxidant capacity of Peruvian camu-camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. *McVaugh*) fruit at different maturity stages. *Food chemistry* 120(4): 1019–1024.
- Fennema O. 2010. *Química de los alimentos*. Tercera edición. Editorial Acribia. Zaragoza. España.
- Fujita, A.; Sarkar, D.; Wu, S.; Kennelly, E.; Shetty, K.; Genovese, M. 2015. Evaluation of phenolic-linked bioactives of camu-camu (*Myrciaria dubia* *Mc. Vaugh* (*Myrtaceae*)) for antihyperglycemia, antihypertension, antimicrobial properties and cellular rejuvenation. *Food Research International* 77(2): 194-203.
- Hiwilepo-van, P., Bosschaart, Ch., Twisk, Ch. V., Verkerk, R., Dekker, M. 2012. Kinetics of thermal degradation of vitamin C in marula fruit

(*Sclerocarya birrea* subsp. *caffra*) as compared to other selected tropical fruits. *LWT - Food Science and Technology*, 49:188-191.

- Hughes, K. 2005. Potencial del camu camu y sachá inchi en el mercado estadounidense. Prombex. Lima. Perú.
- Gerrard. 2005. La Reacción de Maillard. Editorial Acribia. Zaragoza. España.
- Gonçalves, E., Pinheiroa, J., Abreu, M., Brandão, T.R.S., Silva, C.L.M. Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. *Journal of Food Engineering*, 97(4):574-581 (2010)
- Ibarz, A.; Naves, J. 1995. Efecto de la temperatura y contenido en sólidos solubles sobre la cinética de pardeamiento no enzimático de zumos clarificados de manzana. *Food Science Technology International* 1: 29-34.
- Ibarz, R.; Falguera, V.; Garvín, A.; Garza, S.; Pagán, J.; Ibarz, A. 2009. Flow behaviour of clarified orange juice at low temperatures. *Journal of Texture Studies* 40: 445 – 456.
- Justí, K. C. et al., 2000. Nutritional composition and vitamin C stability in stored camu-camu (*Myrciaria dubia*) pulp. *Arch. Latinoam. Nutr. Dec.*; 50(4): 405-8.
- Kaneshima, T.; Myoda, T.; Nakata, M.; Fujimori, T.; Toeda, K.; Nishizawa, M. 2016. Antioxidant activity of C-Glycosidic ellagitannins from the seeds and peel of camu-camu (*Myrciaria dubia*). *LWT - Food Science and Technology* 69: 76–81.

- Labuza, T. P. 1999. Sorption Phenomena in Foods. Reidel. Food Technology. Nº22. Vol.15.
- Labuza, T.P. y Riboh, D. 1982. Theory and application of Arrhenius kinetics to the prediction of nutrient losses in foods. Food Technol., v. 36, n.10, p. 66-74.
- Labuza T. P. 2000. Determination of shelf-life of foods. Department of Food Science and Nutrition, University of Minnesota. St. Paul. 32 pp
- Lemus-Mondaca, R.; Vega-Gálvez, A.; Zura-Bravo, L.; Ah-Hen, K. 2012. Stevia rebaudiana Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. Food Chemistry 132(3): 1121–1132.
- Manayay, D., Ibarz, A., Castillo, W., Palacios, L. Cinética de la diferencia de color y croma en el proceso térmico de pulpa de mango (*Mangífera indica L.*) variedad Haden. Scientia Agropecuaria, 4:181-190 (2013)
- Matos-Chamorro, A., Chuquilín-Chumbe, E. 2010. Estudio de la Influencia de la Concentración en la Retención de Vitamina C en Jugo Fresco y Concentrado de Carambola (*Averrhoa carambola L.*). Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 1(1):36-42.
- Mayhuasque C. 2015. Mermelada de “syzygium malaccences” Pomarrosa, enriquecida con camu camu (*Myrciaria dubia*) (H.B.K) Mc Vaugh”. Tesis. Iquitos (PERU).
- Nascimento, O.; Boleti, A.; Yuyama, L.; Lima, L. 2013. Effects of diet supplementation with camu-camu (*Myrciaria dubia* HBK McVaugh) fruit in

a rat model of diet-induced obesity. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 85(1): 355 - 63.

- Nielsen, S. 2008. *Análisis de los alimentos*. Primera edición. Editorial Acribia. Zaragoza. España.
- Nursten Harry E. 2005. *The Maillard Reaction: Chemistry, Biochemistry and Implications* (The University of Reading, Reading, U.K.). Royal Society of Chemistry. California (E.E.U.U.).
- Ordóñez-Santos, L. & Yoshioka-Tamayo, L. S. 2012. Cinética de degradación térmica de vitamina C en pulpa de mango (*Mangifera indica* L.). *Vitae*, 19(1):81-83.
- Ordóñez-Santos, L. E., Ospina, M. A. & Rodríguez, D. X. 2013. Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Lasallista de Investigación*, 10(2):44-51.
- Ramos, Z; García, L; Pinedo, M. 2002. Evaluación de factores de procesamiento y conservación de pulpa de *Myrciaria dubia* h.b.k. (camu-camu) que reducen el contenido de vitamina c (ácido ascórbico). *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*. Iquitos. Perú.
- Reyes, M.; Gómez-Sánchez, I.; Espinoza, C.; Bravo, F.; Ganoza, L. 2009. *Tablas peruanas de composición de alimentos*. Instituto Nacional de Salud del Perú. Disponible en:
<http://www.ins.gob.pe/insvirtual/images/otrpubs/pdf/Tabla%20de%20Alimentos.pdf>

- Revista de la Sociedad química del Perú. Vol. 79, n° 4. 2013. Variación del contenido de vitamina C y antiosaninas en *Myrciaria dubia* “Camu – camu”. Pag. 319 – 330. Lima (PERU).
- Salas T et al. 2009. Proceso para obtener bebida nutracéutica a partir de *Myrciaria dubia* (camu camu), orientado a reducir efecto genotóxico en niños de edad escolar. Rev. Per. Quim. Ing. Quim. Vol. 12. N° 2. P 34-41.
- Santos, P. H. S., Silva, M. A. 2008. Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables. *Drying Technology*, 26:1421-1437.
- Sapei, L., Hwa, L. 2014. Study on the Kinetics of Vitamin C Degradation in Fresh Strawberry Juices. *Procedia Chemistry*, 9:62-68.
- Schmidt, A.; Lellis-Santos, C.; Curi, R.; Lajolo, F.; Genovese, M. 2014. Frozen pulp extracts of camucamu (*Myrciaria dubia* McVaugh) attenuate the hyperlipidemia and lipid peroxidation of Type 1 diabetic rats. *Food Research International* 64: 1–8.
- Taoukis, P.S. *et al.* (1997). Kinetics of food deterioration Shel life evaluation foos. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg. Maryland. EE: UU.

PAGINAS WEB

- <http://www.Consumer.es>
- <http://www.infoagro.com>
- www.botanical-online.com/camu-camu
- <http://myrciariadubia-camucamu.blogspot.com/p/potencial-economico.html>
- <http://fundamentosdemarketingcamucamu.blogspot.com/2012/05/taxonomia.html>

ANEXOS

ANEXO 1

MÉTODO PARA DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE VITAMINA C POR ESPECTROFOTOMETRÍA.

Descripción del método:

Preparar una solución de ácido oxálico al 0.4%. Pesar 8 g. de ácido oxálico, diluir y completar a 2000 ml. con agua destilada, preparar una solución estándar (madre) de ácido ascórbico al 0.1% en una solución de ácido oxálico al 0.4%.

Pesar 1 g. de ácido ascórbico, disolver y completar a 1000 ml con ácido oxálico al 0.4%.

Estándares de trabajo (E.T.). Tomar alícuotas de 1, 2, 3, 4, y 5 ml de ácido ascórbico al 0.1% y llevar a volumen de 100ml con una solución de ácido oxálico al 0.4%.

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

Solución coloreada (colorante), pesar 12 mg de 2.6 diclorofenolindofenol (DFLF), disolver y llevar a 1000 ml de volumen con agua destilada. Esta solución puede almacenarse por 15 días en frasco oscuro y en refrigeración.

Preparación de la curva estándar.

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

- I 10 ml de agua destilada
- II 1 ml de ácido oxálico al 0.4% y 9 ml de solución coloreada

III 1 ml de ácido oxálico al 0.4% y 9 ml de agua destilada

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

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

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

Leer la absorbancia del tubo IV (L_2).

NOTA:

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

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

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

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

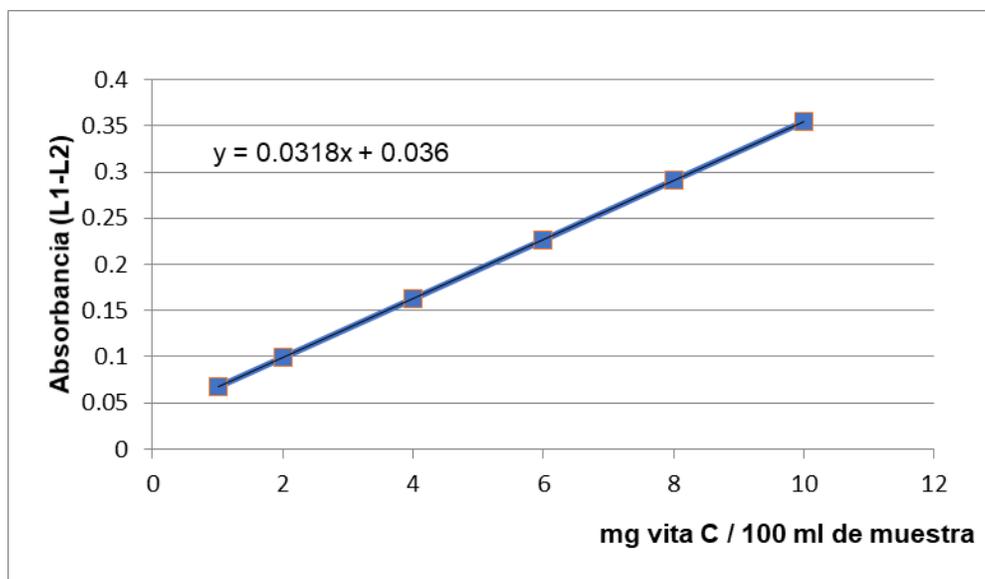
ANEXO 2

PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA ESTÁNDAR PARA DETERMINAR VITAMINA C

1. Datos experimentales para la preparación de la curva estándar

Nº (E.T.)	Vitamina C (mg/100 ml)	L ₁	L ₂	Absorbancia L ₁ -L ₂
1	1	0.486	0.425	0.061
2	2	0.476	0.382	0.094
4	4	0.464	0.301	0.163
6	6	0.450	0.204	0.246
8	8	0,471	0,165	0,306
10	10	0,469	0,137	0,332

2. Construcción de la curva estándar



ANEXO 3

VALORES EXPERIMENTALES DE VITAMINA C

CONCENTRACION 25° BRIX

TEMPERATURA 60°C

Tiempo (min)	ABSORBANCIA (L ₁ -L ₂)		
	R1	R2	R3
0			
3	0,273	0,281	0,276
6	0.266	0,267	0,261
9	0.235	0.253	0,247

TEMPERATURA 70°C

Tiempo (min)	ABSORBANCIA (L ₁ -L ₂)		
	R1	R2	R3
0			
3	0.263	0.292	0,283
6	0.247	0,273	0,272
9	0.231	0.251	0,257

TEMPERATURA 80°C

Tiempo (min)	ABSORBANCIA (L ₁ -L ₂)		
	R1	R2	R3
0			
3	0.265	0.274	0,265
6	0.243	0.246	0,238
9	0.229	0.231	0,228

ANEXO 4

DATOS EXPERIMENTALES DE LA DETERMINACIÓN ANALÍTICA DEL COLOR

CONCENTRACION 25 °brix

TEMPERATURA 60°C

Tiempo (min)	R ₁			R ₂			R ₃		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	42,21	64,02	-21,13	41,93	64,21	-21,44	42,45	64,13	-21,28
3	42,03	63,07	-20,58	41,06	62,42	-20,58	42,12	63,32	-20,18
6	41,09	61,14	-18,15	40,34	60,45	-18,32	40,27	61,56	-19,13
9	39,68	58,04	-17,34	39,37	59,11	-18,09	38,69	58,12	-18,01

TEMPERATURA 70°C

Tiempo (min)	R ₁			R ₂			R ₃		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	42,33	64,16	-21,34	41,93	63,52	-21,13	42,45	64,27	-21,66
3	41,28	62,23	-20,37	41,06	62,42	-20,47	42,12	63,07	-19,87
6	40,34	60,33	-19,20	40,34	60,45	-18,93	40,27	61,14	-18,55
9	38,47	57,91	-16,43	39,37	59,11	-17,16	38,69	58,04	-17,04

TEMPERATURA 80°C

Tiempo (min)	R ₁			R ₂			R ₃		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	42,41	63,71	-21,13	41,93	64,02	-21,02	42,45	63,71	-21,67
3	39,48	60,09	-19,65	41,06	61,37	-20,33	42,12	60,19	-20,01
6	38,05	57,04	-17,35	40,34	59,38	-18,44	40,27	58,04	-18,33
9	37,23	55,46	-15,31	39,37	56,19	-16,09	38,69	55,91	-16,47