

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE ING. AGROINDUSTRIAL



TITULO:

**“EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN LA CINÉTICA DE
DETERIORO DE LA VITAMINA C Y COLOR EN PULPA DE TUNA
(OPUNTIA BOLDINGHII) DE VARIEDAD BLANCA Y MORADA”**

PRESENTADO POR:

Bach. Antonio Walter Moya Cansino

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

Chimbote – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



HOJA DE AVAL DEL JURADO EVALUADOR

El presente trabajo de tesis titulado: **“EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN LA CINÉTICA DE DETERIORO DE LA VITAMINA C Y COLOR EN PULPA DE TUNA (Opuntia Boldinghii) DE VARIEDAD BLANCA Y MORADA”**, para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial , presentado por el Bach. **ANTONIO WALTER MOYA CANSINO**, que tiene como asesor al **Ms. WILLIAMS CASTILLO MARTÍNEZ** designado por resolución decanatural N° 597 - 2017-UNS-FI. Ha sido revisado y aprobado el día 18 de Mayo del 2018, por el siguiente jurado evaluador designado mediante resolución N° 124 – 2018 -UNS-CFI.

M.Sc. Saúl Eusebio Lara
Presidente

Ms. Williams Castillo Martinez
Secretario

Dr. Daniel Sanchez Vaca
Integrante



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. DE INGENIERÍA DE AGROINDUSTRIAL



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 12:00 horas del 18 de Mayo del dos mil Dieciocho se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial, el Jurado Evaluador, designado mediante resolución N° 124 – 2018 -UNS-CFI integrado por los docentes:

- **M.Sc. Saul Eusebio Lara** (Presidente)
- **Ms. Williams Castillo Martinez** (Secretario)
- **Dr. Daniel Sanchez Vaca.** (Integrante); para inicio a la Sustentación y Evaluación de Tesis, titulada:

“EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN LA CINÉTICA DE DETERIORO DE LA VITAMINA C Y COLOR EN PULPA DE TUNA (*Opuntia Boldinghii*) DE VARIEDAD BLANCA Y MORADA”, elaborada por el (os) bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

➤ **ANTONIO WALTER MOYA CANSINO**

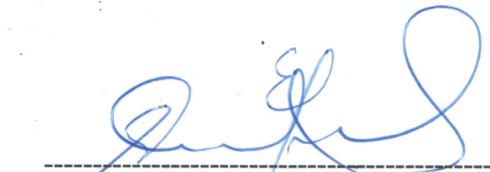
Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Ms. WILLIAMS CASTILLO MARTINEZ**, según R.D. 597 - 2017-UNS-FI. Finalizada la sustentación, el (os) Tesistas respondió (eron) las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y el Público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspecto relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes y en concordancia con el Artículo 39° y 40° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
ANTONIO WALTER MOYA CANSINO	19	EXCELENTE

Siendo las 13:30 horas del mismo día, se dio por terminado dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el presente jurado.

Nuevo Chimbote, 18 de Mayo del 2018.


 M.Sc. Saul Eusebio Lara
 Presidente


 Ms. Williams Castillo Martinez
 Secretario


 Dr. Daniel Sanchez Vaca
 Integrante



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 12:00 horas del 18 de Mayo del dos mil Dieciocho se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial, el Jurado Evaluador, designado mediante resolución N° 124 – 2018 -UNS-CFI integrado por los docentes:

- **M.Sc. Saul Eusebio Lara** (Presidente)
- **Ms. Williams Castillo Martinez** (Secretario)
- **Dr. Daniel Sanchez Vaca.** (Integrante); para inicio a la Sustentación y Evaluación de Tesis, titulada:

“EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN LA CINÉTICA DE DETERIORO DE LA VITAMINA C Y COLOR EN PULPA DE TUNA (*Opuntia Boldinghii*) DE VARIEDAD BLANCA Y MORADA”, elaborada por el (os) bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

➤ **ANTONIO WALTER MOYA CANSINO**

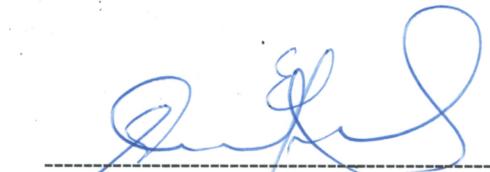
Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Ms. WILLIAMS CASTILLO MARTINEZ, según R.D. 597 - 2017-UNS-FI.** Finalizada la sustentación, el (os) Tesistas respondió (eron) las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y el Público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspecto relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes y en concordancia con el Artículo 39° y 40° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
ANTONIO WALTER MOYA CANSINO	19	EXCELENTE

Siendo las 13:30 horas del mismo día, se dio por terminado dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el presente jurado.

Nuevo Chimbote, 18 de Mayo del 2018.


 M.Sc. Saul Eusebio Lara
 Presidente


 Ms. Williams Castillo Martinez
 Secretario


 Dr. Daniel Sanchez Vaca
 Integrante

DEDICATORIA

Dedico esta investigación al Señor
por iluminar mi vida, enseñarme el
camino correcto, por hacerme una
buena persona y mejor profesional

A mis queridos padres por el apoyo total y
constante, así como por la motivación que
siempre me brindaron encaminándome
hacia el cumplimiento de mis metas.

A mi familia que siempre me acompaña
ante cualquier logro personal pero sobre
todo son mi ejemplo a triunfar en la vida.

AGRADECIMIENTOS

A los docentes de la escuela de ing. agroindustrial por la enseñanza brindada en todo el tiempo que duro mi preparación a la vida profesional, por enseñarnos lo bueno y lo malo, a entender que uno se tropieza y se puede levantar por prepararme para la vida y por hacer de nosotros unos profesionales acordes a la exigencia de estos tiempos.

Al asesor ing. williams castillo Martínez por el apoyo y concejos para la realización de la tesis, a los encargados de los laboratorios por soportarnos y alentarnos a cumplir con nuestras metas y todos los que siempre estuvieron con nosotros en los momentos inolvidables de nuestra preparación académica.

Bach. Antonio Walter Moya Cansino

ÍNDICE

Resumen	1
Abstract	2
I Introducción	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Formulación del problema	5
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivos Generales	5
1.3.2. Objetivos Específicos	5
1.4. Formulación de la Hipótesis	6
1.5. Justificación	6
1.6. Limitación del Trabajo	9
II Marco teórico	10
2.1. Tuna	10
2.1.1. Origen	12
2.1.2. Distribución y Naturaleza en otras Áreas	13
2.1.3. Nombres Comunes	14
2.1.4. Clasificación Científica	15
2.1.5. Características Morfológicas	16
2.1.6. Composición Nutricional.	20
2.1.7. Variedades	22
2.2. Vitamina C	23
2.2.1. Degradación de la Vitamina C	25
2.2.2. Modelo Matemático de Cinética de Degradación	27
III. Materiales y Métodos	32
3.1. Lugar de Ejecución	32
3.2. Materiales	32
3.2.1. Matería Prima	32
3.2.2. Materiales Metálicos y Plásticos	32
3.2.3. Material de Vidrio	33
3.2.4. Equipos e Instrumentos.	33
3.3. Métodos	35

3.3.1. Obtención de Pulpa de Tuna	35
3.3.2. Análisis Proximal	37
3.3.3. Determinación de Vitamina C por Espectrofotometría.	37
3.3.4. Color	38
3.4. Diseño Experimental	39
3.4.1. Procedimiento de determinación de parámetros cinéticos	39
3.5. Diseño Estadístico	42
IV. Resultados y Discusiones	45
4.1. Cinética de degradación de vitamina C	46
4.2. Cinética de degradación de color	52
V. Conclusiones y Recomendaciones	61
VI. Referencias Bibliográfica y Virtuales	63
VII. ANEXOS	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura de planta adulta tuna mostrando las pencas o cladodios que forman el tallo y dan origen a los frutos	17
Figura 2. Cladodios mostrando las areolas y espinas	18
Figura 3. Flores jóvenes de <i>Opuntia ficus indica</i>	19
Figura 4. Planta tuna con frutos en distintas fases de maduración	20
Figura 5: Fórmula estructural del ácido L-ascórbico.	25
Figura 6: Estructura del ácido L-ascórbico, ácido L-dehidroascórbico y sus formas isoméricas.	25
Figura 7: Reacción de oxidación del L-ácido ascórbico.	26
Figura 8: Colorímetro Konica Minolta CR-400	33
Figura 9: Balanza Analítica	34
Figura 10: Recirculado de agua temperada	34
Figura 11: Espectrofotómetro Único 2800 UV-Vis	35
Figura 12: Flujograma Proceso para la obtención de pulpa de tuna	36
Figura 13: Esquema experimental para la determinación de los parámetros cinéticos de degradación térmica de vitamina C y color.	40
Figura 14: Cinética de degradación del ácido ascórbico en pulpa de tuna (<i>Opuntia boldinghii</i>) de variedad blanca a 75, 85 y 95 ° C	47
Figura 15: Cinética de degradación del ácido ascórbico en pulpa de tuna (<i>Opuntia boldinghii</i>) de variedad morada a 75, 85 y 95 ° C	47
Figura 16: Cinética de degradación del parámetro de color luminosidad en pulpa de tuna (<i>Opuntia boldinghii</i>) de variedad morada a 75, 85 y 95 ° C	54
Figura 17: Cinética de degradación del parámetro de color croma en pulpa de tuna (<i>Opuntia boldinghii</i>) de variedad morada a 75, 85 y 95 ° C	55
Figura 18: Cinética de degradación del parámetro de color	55

luminosidad en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*)
de variedad blanca a 75, 85 y 95 ° C

Figura 19: Cinética de degradación del parámetro de color
croma en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de
variedad blanca a 75, 85 y 95 ° C

56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valor nutricional de la <i>Opuntia ficus indica</i>	21
Tabla 2. Análisis Bromatológico <i>Opuntia ficus indica</i> fresco	22
Tabla 3. Composición de aminoácidos	22
Tabla 4: Matriz experimental	44
Tabla 5: Caracterización físico-química de la pulpa utilizada en el estudio cinético.	45
Tabla 6: Resultados obtenidos de concentraciones de ácido ascórbico (mg / 100g) en los diferentes tratamientos térmicos para pulpa de tuna (<i>Opuntia boldinghii</i>) de variedad blanca y morada	46
Tabla 7: Comparación entre los modelos de orden cero y primer orden para describir la cinética de degradación de ácido ascórbico en pulpa de tuna variedad blanca y morada.	49
Tabla 8: Parámetros cinéticos para la degradación de ácido ascórbico en pulpa de tuna variedad blanca y morada	51
Tabla 9: Resultados obtenidos de los parámetros de color en los diferentes tratamientos térmicos para pulpa de tuna (<i>Opuntia boldinghii</i>) de variedad blanca y morada	53
Tabla 10: Comparación entre los modelos de orden cero y primer orden para describir la cinética de degradación de los parámetros de color en pulpa de tuna de variedad blanca y morada	58
Tabla 11: Parámetros cinéticos para la degradación de ácido ascórbico en pulpa de tuna variedad blanca y morada	60

RESUMEN

La vitamina C es conocida por sus propiedades antioxidantes, y el color superficial es un importante atributo sensorial que incide en la compra final del consumidor, así mismo el procesamiento térmico a altas temperaturas si bien elimina la posibilidad de daño microbiológico y reduce la actividad enzimática, afectan la calidad del producto, por lo cual se planteó la presente investigación para determinar el efecto de los tratamientos térmicos sobre la concentración de vitamina C y el color superficial en pulpa de tuna (*Opuntia Boldinghii*) de variedad blanca y morada. Se sometió la pulpa de tuna a temperaturas de 75, 85 y 95°C por tiempo de 2, 4, 6, 8,10, 12 y 14 minutos para lo cual se evaluó la vitamina C en las muestras antes y después del tratamiento térmico se determinó por el método del 2,6- diclorofenol-indofenol, y el color con un colorímetro. Se realizó el ajuste de los datos a modelos cinéticos de primer y segundo orden. Los resultados obtenidos en este estudio permiten concluir que el color y la concentración de ácido ascórbico son parámetros de calidad críticos que sufren cambios significativos a lo largo del tratamiento térmico de pulpa de tuna para ambas variedades estudiadas. Tanto la degradación del ácido ascórbico como la degradación de los parámetros de color fueron bien descritas por modelos cinéticos de primer orden y la dependencia de la temperatura fue satisfactoriamente representada por la ley de Arrhenius.

Palabras claves: Vitamina C, Color, Cinética de degradación.

ABSTRACT

Vitamin C is known for its antioxidant properties, and surface color is an important sensory attribute that affects the consumer's final purchase, as well as thermal processing at high temperatures, although it eliminates the possibility of microbiological damage and reduces enzymatic activity. they affect the quality of the product, for which the present investigation was proposed to determine the effect of the thermal treatments on the concentration of vitamin C and the superficial color in pulp tuna (*Opuntia Boldinghii*) of white and purple variety. The tuna pulp was subjected to temperatures of 75, 85 and 95°C for a time of 2, 4, 6, 8, 10, 12 and 14 minutes for which vitamin C was evaluated in the samples before and after the heat treatment was determined by the method of 2,6-dichlorophenol-indophenol, and the color with a colorimeter. The data was adjusted to first and second order kinetic models. The results obtained in this study allow us to conclude that the color and concentration of ascorbic acid are critical quality parameters that undergo significant changes throughout the heat treatment of prickly pear for both varieties studied. Both the degradation of ascorbic acid and the degradation of the color parameters were well described by first order kinetic models and the temperature dependence was satisfactorily represented by the Arrhenius law.

Keywords: Vitamin C, Color, degradation kinetics.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES.

El procesado térmico en la industria de alimentos, se hace para eliminar microorganismos que causen el deterioro al alimento, o que causen daño a la salud del consumidor. Entre este tipo de procesos se distingue a la pasteurización y a la esterilización. La primera es un proceso en el que se eliminan microorganismos patógenos, pero no garantiza un periodo mayor de vida útil a temperatura ambiente. La esterilización comercial es la que elimina a la mayoría de los microorganismos presentes en el producto y permite un almacenamiento a temperatura ambiente. Hay algunos valores y términos necesarios para entender y aplicar mejor los tratamientos térmicos como por ejemplo D, Z, F, entre otros.

En el caso de la calidad se influye básicamente por factores microbiológicos, enzimáticos, químicos y físicos, que comprometen sus características organolépticas y nutricionales.

Por lo que se refiere al procesamiento de alimentos, el uso de calor es el método más común para aumentar la vida de estante o anaquel de los productos, posibilitando la inactivación o inhibición del crecimiento de microorganismos y enzimas. Sin embargo, una serie de cambios indeseables ocurre en los alimentos tratados por el calor, como el cambio en el sabor, el color y la textura, además de la destrucción de vitaminas. Actualmente, las investigaciones que involucran vitaminas están orientadas, en su mayor parte, a los

aspectos médicos y nutricionales, y muy poco se encuentra en la literatura sobre las pérdidas ocurridas durante el procesamiento de los alimentos. De esta Forma, el análisis de vitaminas es importante, particularmente en la industria alimentaria, tanto para garantizar la calidad de los productos para garantizar el cumplimiento de la legislación vigente sobre productos enriquecidos con estos nutrientes. Esta revisión de literatura tuvo como objetivo abordar las pérdidas de vitaminas durante el procesamiento de alimentos sometidos a tratamiento térmico, tales como: blanqueamiento, pasteurización y esterilización.

En cuanto a las técnicas tradicionales de producción de pulpas sus mayores problemas son la preservación de los constituyentes nutricionales representando uno de los mayores desafíos en su producción y calidad. La industrialización implica, generalmente, etapas de tratamiento térmico que pueden reducir la calidad organoléptica y nutricional del producto. A lo largo de los años, los investigadores han optimizado perfiles de tiempo / temperatura, para minimizar la exposición del alimento al calor. Además, las nuevas tecnologías de proceso pueden reducir potencialmente o incluso eliminar la exposición al calor (Vikram, Ramesh y Prapulla, 2005).

Vikram et al. (2005) analizaron la retención y la cinética de degradación del ácido ascórbico durante el calentamiento electromagnético, por infrarrojos, calentamiento óhmico y microondas, en comparación con el calentamiento convencional.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el efecto del tratamiento térmico en la cinética de deterioro de la vitamina C y color de la pulpa de de variedad blanca y morada?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL:

- Evaluar el efecto térmico en la cinética de deterioro de la vitamina C y color en pulpa de tuna (*Opuntia Boldinghii*) de variedad blanca y morada.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Caracterizar fisicoquímicamente el fruto y la pulpa de tuna (*Opuntia Boldinghii*) de variedad blanca y morada.
- Evaluar el efecto del tratamiento térmico en el contenido de vitamina C de la pulpa de tuna (*Opuntia Boldinghii*) de variedad blanca y morada.
- Evaluar el efecto del tratamiento térmico en el color (parámetros CIELAB) de la pulpa de tuna (*Opuntia Boldinghii*) de variedad blanca y morada.
- Modelar la cinética de deterioro de vitamina C y color de la pulpa de tuna (*Opuntia Boldinghii*) de variedad blanca y morada.

1.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La temperatura y tiempo del tratamiento térmico afectan negativamente en el contenido de vitamina C y color ajustándose a un modelo cinético de degradación de primer orden.

1.5. JUSTIFICACIÓN

Los principales factores que pueden afectar la degradación de la vitamina C en el jugo de frutas incluyen el tipo de procesamiento, las condiciones de almacenamiento, el tipo de proceso, la exposición al oxígeno y a la luz, la temperatura, la presencia de catalizadores metálicos, enzimas y el pH. (McMeen et al., 1997)

La estabilidad de la vitamina C aumenta con la disminución de la temperatura y la mayor pérdida se da durante el calentamiento, aunque existen casos de pérdida durante el calentamiento, congelación, o almacenamiento de alimentos a bajas temperaturas (Tavares et al., 2000).

En la tecnología de alimentos, se busca maximizar la retención de los nutrientes durante el procesamiento y el almacenamiento de los productos. El ácido ascórbico es un factor importante, pues siendo la vitamina C más termolábil, su presencia en el alimento indica que, probablemente, los demás nutrientes también están siendo preservados (Bender, 1978; Özkan et al., 2004, apud Alves et al., 2010). Por lo tanto, el ácido ascórbico se considera como indicativo de calidad de los nutrientes durante el procesamiento y almacenamiento de alimentos.

Maia (2007) estudió la degradación de la vitamina C en la pulpa de acerola y constató que incluso ocurriendo pérdidas significativas de vitamina C en la pulpa después de su procesamiento, el contenido de vitamina C todavía era superior para el consumo.

Amaro et al. (2002) evaluaron las características Físico-químicas del puré de graviola y verificaron que después de la pasteurización en el intervalo de 50 a 90 °C se produjeron pérdidas en el contenido de vitamina C del orden de 51 a 87%, respectivamente. Romeu-Nadal et al. (2008) compararon la pérdida de ácido ascórbico en la Pasteurización de la leche por los métodos de calentamiento rápido (5 min a 100 °C) y calentamiento lento (30 min a 62,5 °C), verificando que la mayor pérdida se da por el calentamiento rápido; Los autores también proponían que el ácido ascórbico sería un buen indicador para los niveles de tratamientos térmicos empleados.

Al-Zubaidy y Khalil (2007) estudiaron la cinética de degradación de la vitamina C en jugo de limón normal y concentrado durante su almacenamiento durante 4 meses en las temperaturas de 25, 35 y 45 °C y concluyeron que la tasa de degradación de la vitamina C aumenta con la elevación de la concentración y temperatura de almacenamiento y que la degradación de la vitamina C puede ser descrita por una cinética de primer orden. Vieira et al. (2000) estudiaron la degradación de la vitamina C en el néctar de cupuaçu y concluyeron que un modelo de cinética de primer orden reversible describe una forma adecuada de la degradación térmica de la vitamina C.

Según Alvarado y Viteri (1989), la degradación de la vitamina C en frutas cítricas para un período de tiempo más largo (hasta 150 min en la temperatura de 60 °C) sigue una reacción de primer orden. Estudiaron la degradación térmica del ácido ascórbico, por el método convencional, en puré de melocotón con diferentes concentraciones, en las temperaturas de 70 a 90 °C, y verificaron que la cinética de degradación puede ser bien descrita usando modelos de cero y primer grado.

McMeen y Magee (1997) El tiempo de procesamiento, la temperatura y la dilución de la muestra empleada son factores predominantes en la degradación del ácido ascórbico.

Alzubaidy y Khalil (2007) concluyeron que el proceso de degradación del ácido ascórbico en el almacenamiento del jugo de limón está dominado por una conjunción de factores que crece con el aumento de la concentración y de la temperatura y que las reacciones de degradación del ácido ascórbico son a menudo responsables de cambios importantes en calidad que ocurren durante el almacenamiento de alimentos, limitando su tiempo de trabajo o vida útil con la formación de compuestos intermediarios inestables, tales como el furfural (compuesto de color oscuro).

Vikram et al. (2005) realizaron un estudio comparativo de la degradación térmica de la vitamina C en jugo de naranja entre los métodos de calentamiento por infrarrojos, microondas, calefacción óhmica y convencional (baño caliente con agitación). Los investigadores constataron que la degradación siguió, en todos los

métodos, una cinética de 1° orden, utilizando la ecuación de Arrhenius para describir los valores de energía de activación y constante cinética. También se comprobó que la tasa de degradación varía de acuerdo con el método empleado, siendo que el calentamiento óhmico fue lo que menos degradó la vitamina C en el jugo de naranja, seguido por los métodos de infrarrojos y convencional.

Castro et al. (2004) estudió la cinética de degradación de la vitamina C a través del calentamiento convencional y óhmico en pulpas de fresa y constató que, por ambos métodos, la degradación siguió una cinética de primer orden. (Torales et al., 2008)

1.6. LIMITACIONES DEL TRABAJO

Una de las limitaciones encontradas para la realización de la investigación es el periodo de cosecha de la materia prima tuna (*Opuntia Boldinghii*), por lo que se tuvo que viajar a otras ciudades como la sierra de la región para obtener la materia prima. También se limitó el proyecto por la falta de reactivos necesarios para los análisis cuantitativos experimentales que se realizaron en el proyecto.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. TUNA (*Opuntia Boldinghii*):

La tuna (*Opuntia Boldinghii*) es una planta de gran importancia en los sistemas agro pastoriles de los andes peruanos. Esta cactácea se encuentra ampliamente distribuida en el país, especialmente en los valles interandinos donde ha encontrado condiciones adecuadas para su establecimiento. Sus frutos son consumidos en forma natural tanto por campesinos como por pobladores locales y son comercializados en los principales mercados del país. Con éstos también se elaboran productos derivados como mermeladas y bebidas. (Novoa, 2006)

Sus tallos se utilizan como forraje para el ganado, especialmente en épocas de sequía, igualmente son útiles en el establecimiento de cercos vivos y cuando la planta muere, sus restos se usan para la elaboración de fertilizantes orgánicos. Pero el uso más frecuente que se le da a esta planta es como hospedera para la crianza de un insecto conocido como cochinilla (*Dactylopius coccus costa*), en cuyo interior se produce el carmín, pigmento natural usado en la industria alimenticia, textil y farmacéutica. (Novoa, 2006)

El Perú sigue siendo el primer productor de carmín a nivel mundial, aportando entre el 85 y el 90% de la demanda internacional, y la actividad productiva se basa en la recolección artesanal de estos insectos, principalmente en la zona de Ayacucho. Actualmente el consumo del fruto de la tuna viene creciendo continuamente en todo el mundo por sus valores nutricionales, como también por sus características sensoriales, proporcionados por el aroma y sabor características de la especie, siendo importante hacer extensivo el

consumo de frutos y hojas de tuna por sus propiedades antioxidantes cuyo potencial ha sido reconocido por la FAO para el desarrollo de las regiones áridas y semi áridas, especialmente en los países en desarrollo.(Castro, 2009)

Algunos autores han descrito que los frutos de especies pertenecientes al género *Opuntia* pueden ser utilizados en la confección de mermeladas, harinas, productos deshidratados, conservas y son fuente importante de colorantes naturales (Sepúlveda et al., 2000). Sin embargo, es una especie sin utilidad comercial; su aprovechamiento está limitado al consumo fresco de los frutos, debido a dificultades en el manejo poscosecha y al desconocimiento de su potencial alimentario (Viloria Matos y Corbelli-Moreno, 2001). Entre los metabolitos mayoritarios encontrados en los frutos de *Opuntia* se han señalado a las betalaínas (Viloria Matos et al., 2001; Viloria-Matos y Moreno-Alvarez, 2001), compuestos solubles en agua derivados del ácido betalámico. Pueden presentar actividad antiviral y antibacterial (Viloria-Matos y Moreno-Alvarez, 2001). En el área de los alimentos son muy importantes ya que son pigmentos naturales y se han utilizado en la confección de helados de crema, yogurt de fresa, bebidas deshidratadas, bebidas frías y gelatinas (Viloria-Matos y Moreno-Alvarez, 2003; Moreno-Alvarez et al., 2002). Sin embargo, por ser moléculas de gran sensibilidad química, su aprovechamiento integral en la industria alimentaría es limitado.

2.1.1. ORIGEN:

Los primeros restos sobre el uso de cactáceas encontrados en el Perú datan de la época del horizonte pre-agrícola (10,000 años de antigüedad), y se encontraron en los basurales próximos a la cueva de Pachamachay en las cercanías del lago de Junín sobre los 4200 msnm. En ese sitio se hallaron semillas de una especie de *Opuntia* de una antigüedad de más de 11,800 años, la cual podría tratarse de *Austrocyllindropuntia floccosa*, que es la única que crece en tales altitudes y cuyos frutos aún siguen siendo consumidos en las serranías del centro y sur del país. (Castro, 2009)

Desafortunadamente son escasos los estudios de coprolitos humanos que son los tipos de restos arqueológicos que determinarían la identidad de las especies de cactáceas que formaban parte de la dieta del hombre antiguo del Perú. (Novoa, 2006)

Posteriormente se encontraron restos de opuntia y otras cactáceas, formando parte de ofrendas con las que se enterraban a los muertos como anzuelos, alfileres o peines hechos con espinas de *Austrocyllindropuntia exaltata* y *Neoraimondia arequipensis*. También se han encontrado restos de opuntia formando parte del material de construcción en algunas edificaciones prehispánicas. (Rodríguez, L et al. 2006.)

El estudio de las manifestaciones artísticas de las culturas pre incas ha permitido identificar otras especies de gran importancia, siendo el cactus “San Pedro” el de mayor relevancia en el Perú prehispánico. (Rodríguez, L et al. 2006.)

Los opuntias han sido documentadas como elementos importantes de las culturas Paracas, Nazca, Moche, e Inca. Sin embargo, el grupo de las platyopuntias dentro del que se encuentra la tuna, solo ha sido reportado en las culturas Moche e Inca. (Rodríguez, L et al. 2006.)

Especialmente es en la iconografía Mochica en la que resaltan estos opuntias de tallos planos y redondeados (Fig. 1), probablemente se trata de *Opuntia macbridei*, la cual se distribuye ampliamente en el norte del país. Presumiblemente sus frutos eran consumidos por los moches, así como por los animales (zorros y venados) que se distinguen en los ceramios. ((Novoa, 2006).

2.1.2. DISTRIBUCIÓN Y NATURALEZA EN OTRAS ÁREAS

En el siglo XVIII los navegantes la distribuyeron en gran parte del mundo, ya que la consumían en ensaladas por sus propiedades antiescorbúticas. En la actualidad la forma espinosa de esta planta es considerada como maleza en Sudáfrica y en Australia, ya que invade terrenos dedicados a ganadería. En los diferentes países tropicales donde se la

cultiva o donde se naturalizó. La ficus-indica ha sufrido variaciones genotípicas y fenotípicas a las que los agricultores distinguen y dan nombres, aunque en muchas oportunidades de nivel específico o varietal, mientras que deberían nombrarse como cultivares a las dos formas la O. ficus-indica y la O. f. amyclaea. En general la introducción de la especie O. ficus-indica está registrada en los distintos países y no se dispone de datos o incluso se dice expresamente que no se conocen detalles sobre la introducción de la forma espinosa. (Kiesling, R. 2002.)

2.1.3. NOMBRES COMUNES

Algunos nombres comunes son muy ilustrativos acerca de su origen y distribución. El nombre tuna es de origen caribeño, tomado por los primeros españoles que conocieron estas plantas. (Castro, 2009).

Más exactamente es un vocablo Taíno. Con éste término se designa mayormente a los frutos, aunque también se utiliza para la parte vegetativa de las especies de Opuntia. Lo extendido de este nombre sugiere que fue el primero conocido por los españoles, aún antes que los nombres mexicanos. Nopal es un término mexicano derivado del Náhuatl "Nopalli", con el que se designa a varias especies.

La tuna es conocido como Prickly pear, Cactus pear, Cactus fruti en Estados Unidos; Fico d' India (Sicilia), Figo morisca (Cerdeña), Figo della barbarie en Italia; Higo en España; chumbo en Francia; Tzabar en Israel; Kaktusfeigen en Alemania; Turksupurug en Sudafica Nopal en México y Tuna en Perú y Latinoamérica. Al retirarse de España, los moros llevaron esta especie al norte de África, llamándola "Higo de los cristianos". Actualmente en Marruecos conocida como "tapia", ilustrativo de su utilidad como cerco. La forma cultivada fue llevada en 1769 a California por misioneros Franciscanos, provenientes de México, llamándosela hasta hoy "mission cactus". (Castro, 2009)

En el noreste brasilero se la utiliza como forraje, lo que se expresa claramente por su nombre local "palma forrageira". Su introducción en ese país no está registrada con exactitud. Su cultivo es muy importante en el oeste del estado de Pernambuco. (Castro, 2009)

2.1.4. CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA

El primer nombre español es Higo de las Indias, que alude a su origen, las "Nuevas Indias" y de allí su primer nombre científico: *Cactus ficus-indica* L. El nombre *ficus-indica* había sido usado en "frases diagnósticas" ya mucho antes de Linneo, para designar varias especies. (Mostacero, et al., 2002.)

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Caryophyllales
Familia:	Cactaceae
Subfamilia:	Opuntioideae
Género:	Opuntia
Especie:	Boldinghii
Nombre binomial:	O. Boldinghii (L.) 1768 Mill.
Fuente:	Mostacero, et al., 2002.

2.1.5. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

– El tallo

La tuna es un vegetal arborescente de 3 a 5 m de alto, su tronco es leñoso y mide de entre 20 a 50 cm de diámetro. En el Perú las variedades más usuales desarrollan portes de aproximadamente 1,5 a 2,00 m. de altura. El tallo, a diferencia de otras especies de cactáceas, está conformado por un tronco y ramas aplanadas que posee cutícula gruesa de color verde de función fotosintética y de almacenamiento de agua en los tejidos. (Mostacero, et al., 2002.)



Figura 1. Arquitectura de planta adulta tuna mostrando las pencas o cladodios que forman el tallo y dan origen a los frutos

Fuente: Castro, 2009

– Cladodios

Forma penca denominadas cladodios de 30 a 60 cm. de largo x 20 a 40 cm de ancho y de 2 a 3 cm de espesor. Sus ramas están formadas por pencas de color verde opaco con areolas que contienen espinas más o menos numerosas de color amarillas. Estas estructuras transforman la luz en energía química a través de la fotosíntesis y están recubiertos por una cutícula del tipo lipídica, interrumpida por la presencia de estomas, los mismos que permanecen cerrados durante el día. (Mostacero, et al., 2002.)

La cutícula del cladodio evita la deshidratación provocada por las altas temperaturas del verano.

La hidratación normal del cladodio alcanza hasta un 95% de agua en peso.

Las pencas y tallos tienen espinas. El sistema radicular es profundo; no obstante, dependiendo de la humedad ambiental, pueden desarrollar raíces laterales superficiales.



Figura 2. Cladodios mostrando las areolas y espinas

Fuente: Castro, 2009

– Hojas

Sólo en cladodios internos, transformadas en espinas en forma de garra, engrosadas en su base, para defensa; las caducas sólo se observan sobre tallos tiernos. Cuando se produce la renovación de pencas, en cuyas axilas se hallan las aréolas de las cuales brotan las espinas, de aproximadamente 4 a 5 mm de longitud. Las hojas desaparecen cuando las pencas han alcanzado un grado de desarrollo y en cuyo lugar quedan las espinas. (Mostacero, et al., 2002)

– Flores

Son solitarias, localizadas en la parte superior de la penca, de 6 a 7 cm de longitud. Cada aérola produce por lo general una flor, aunque no en una misma época de floración, unas pueden brotar el primer año, otras el segundo y tercero. Las flores se abren a los 35 a 40 días de su brotación. Sus pétalos son de colores vivos: amarillo, anaranjado, rojo, rosa. Sépalos numerosos de color amarillo claro a rojizo o blanco. (Mostacero, et al., 2002.)



Figura 3. Flores jóvenes de *Opuntia ficus indica*

Fuente: Castro, 2009

– Fruto

Es una baya polisperma de forma ovoide esférica de color verde y toma diferentes colores cuando maduran, son comestibles, agradables y dulces; la pulpa es gelatinosa

conteniendo numerosas semillas, sus dimensiones y coloración varían según la especie; presentan espinas finas y frágiles de 2 a 3 mm de longitud. (Mostacero, et al., 2002.)



Figura 4. Planta tuna con frutos en distintas fases de maduración

Fuente: Castro, 2009

2.1.6. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL.

Dentro de la composición química del fruto de tuna, se debe mencionar inicialmente el alto contenido de agua, que es del orden del 90 al 92.5 %. Entre los minerales que contiene, los principales son el calcio y el potasio además del sílice, sodio y pequeñas cantidades de hierro, aluminio, y magnesio, entre algunos otros (La tuna es considerado como una buena fuente de calcio, ya que en 100g de hay cerca de 80 miligramos de este mineral).

La tuna contiene, también, en varias proporciones, diferentes glúcidos o carbohidratos y componentes nitrogenados. La tuna es rica en fibras, vitaminas (A, B, B2, C y K), riboflavina, vitamina B6, clorofila y proteínas. En lo que respecta al valor nutricional, de los cladodios, se puede decir que en 1 taza de cladodios crudos (86 gr. aproximadamente) hay 2.9 gr. de hidratos de carbono y 1.1 gr. de proteína y solamente 17 kcal. (Gerencia Regional Agraria La Libertad, 2009).: Castro, 2009

Tabla 1. Valor Nutricional de la *Opuntia ficus indica*

Concepto	Contenido
Porción comestible	78
Energía (Kcal.)	27
Proteína (gr.)	1.7
Grasas (gr.)	0.3
Carbohidratos (gr)	5.6
Calcio (mg)	93
Hierro (mg)	1.6
Tiamina (mg)	0.03
Riboflavina (mg)	0.06
Niacina (mg)	0.03
Ac. Ascórbico (mg)	8

Fuente: Riojas M. 2003

Tabla 2. Análisis Bromatológico de Opuntia ficus indica fresco

Concepto	Contenido
Humedad	85-90%
Cenizas	0.25-0.44%
Proteína	0.75-5.41%
Grasa Bruta	0.12-0.25%
Carbohidratos	19%
Fibra cruda	0.02%
Valor calórico	34%
Vitamina A	0.02 p.p.m.
Sodio	-----
Calcio	0.11 – 2.09%
Hierro	2.6 p.p.m.

Fuente: Riojas M. 2003

Tabla 3. Composición de Aminoácidos

Concepto	Contenido
Lisina	4
Isoleucina	4
Treonina	4.8
Valina	3.8
Leucina	5.2
Triptófano	0.8
Metionina	0.7
Fenilalanina	5.4

Fuente: Riojas M. 2003

2.1.7. VARIEDADES

- Tuna Blanca: Proviene de una planta con 1.5 - 2.5 m. de altura, flores color amarillo claro, pencas de 20 - 25 cm. de diámetro. Es una planta susceptible a plagas y enfermedades. Sus frutos son de color verde claro, muy

jugosos, dulces, cristalinos. Es el fruto de mayor aceptación.

(Castro, 2009)

- Tuna Morada Proviene de una planta con altura superior a los 3 metros. Sus flores son de color violeta. Tiene buena calidad de fruto. (Castro, 2009)

2.2. VITAMINA C

La vitamina C es el principal antioxidante hidrosoluble disponible tanto en el medio intracelular como en el extracelular, y actúa eliminando directamente las ROS/RNS, además de estar involucrado En el reciclado de A-tocoferol en α -tocoferol (Bianchi y Antunes, 1999). El calor, la energía, la exposición al aire y el medio alcalino aceleran la oxidación de esta vitamina, especialmente en el contacto con el hierro, cobre o enzimas oxidativas (Guilland y Lequeu, 1995). Sin embargo, el ácido ascórbico es conocido por actuar como inhibidor de una gran variedad de ROS (Luck et al., 1995), lo que explica su habilidad de contraponer, especialmente, efecto del H_2O_2 (Sies et al., 1992) en los daños causados al ADN (Agarwal et al., 2004).

El ácido ascórbico es necesario también para el metabolismo de varios aminoácidos, además de ser un cofactor muy importante en las reacciones de hidroxilación, donde el cobre y el hierro deben permanecer reducidos (Archrya et al., 2003). Para Ferreira (2004), esta vitamina se puede encontrar en dos formas en los sistemas biológicos: a) reducida, denominada el L-ácido ascórbico, y b) oxidada, conocida como ácido deshidroascórbico.

Ambas son fisiológicamente activas y encontradas en los tejidos orgánicos, pero la vitamina C frecuentemente utilizada es el L-ácido ascórbico como se presenta en la figura 5.

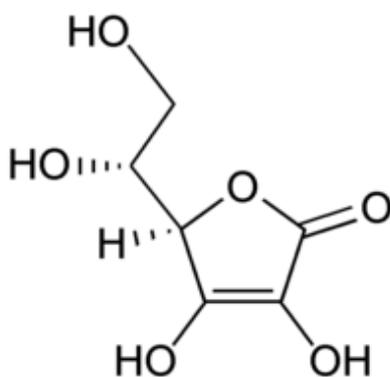


Figura 5: Fórmula estructural del ácido L-ascórbico.

Fuente : Ferreira, 2004.

La vitamina C, suministrada por frutas y verduras, está presente en los tejidos vegetales Principalmente en la forma de ácido L-ascórbico (AA) (Fennema, 2008). Este compuesto, cuya fórmula química se muestra en la Figura 6, posee propiedades reductoras y de acidez dadas por la porción 2,3-enediol; Es bastante soluble en soluciones acuosas e insolubles en disolventes no polares (Fennema, 2008). El ácido ascórbico contiene dos centros ópticamente activos, en las posiciones C4 y C5. El ácido l-isoascórbico (IsoAA) es un isómero óptico en la posición C5, y el ácido D-ascórbico es un isómero en la posición C4 (Figura 6). Estos compuestos son químicamente similares al L-ascórbico, pero no presentan actividad vitamínica. El ácido l-isoascórbico, también llamado ácido Eritórbico, es legalmente

utilizado como antioxidante en alimentos, pero sólo tiene un 5% del efecto del AA en la prevención del escorbuto. (Fennema, 2008)

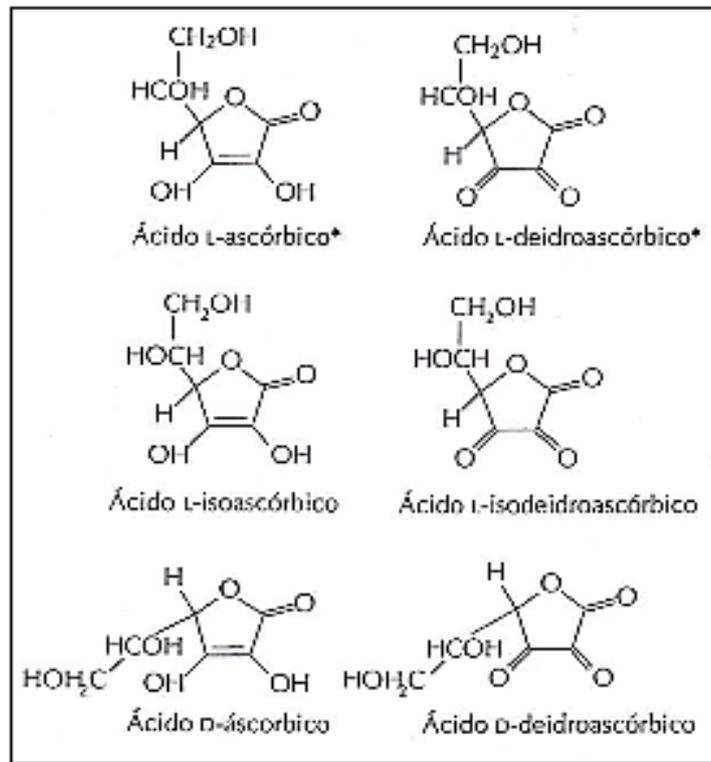


Figura 6: Estructura del ácido L-ascórbico, ácido L-dehidroascórbico y sus formas isoméricas.

Fuente: Fennema, 2008

2.2.1. DEGRADACIÓN DE LA VITAMINA C

La degradación de la vitamina C ocurre tanto en condiciones aerobias como anaerobias. El primer caso se caracteriza por la oxidación del AA, de modo reversible, en ácido Dehidroascórbico (DHA), que también presenta actividad biológica. Como se muestra en la Figura 7, posteriormente el DHA se puede convertir irreversiblemente en ácido 2, 3 - (ECG), perdiendo su actividad biológica. Como el DHA puede ser fácilmente Convertido en AA

en el cuerpo humano, la determinación tanto de AA como de DHA son importantes para conocer la actividad total de vitamina C (Fennema, 2008, Lee y Kader, 2000; Furusawa, 2001). El DHA presente en los alimentos es de difícil cuantificación en función de la Inestabilidad del compuesto, normalmente se realiza después de su conversión en AA en la presencia de agentes reductores (Fontannaz, Kilinc y Heudi, 2006). Después de la hidrólisis en DCG, se producen oxidación, deshidratación y polimerización adicionales para la formación de diversos productos nutricionalmente inactivos (Fennema, 2008, Lee y Kader, 2000).

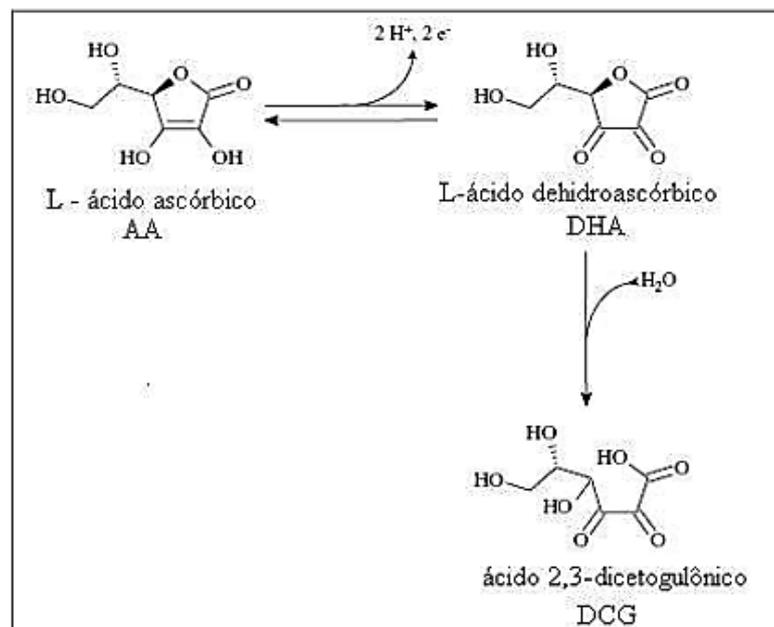


Figura 7: Reacción de oxidación del L-ácido ascórbico.

Adaptado de Hernández et al. (2006a).

La vitamina C ejerce muchas actividades biológicas en el cuerpo humano, participando en procesos biológicos tan diversos como

en la formación del colágeno, absorción de hierro Inorgánico, reducción de los niveles plasmáticos de colesterol, inhibición de la formación de Nitrosamina, aumento del sistema inmunológico, además de reaccionar con el oxígeno único y otros radicales libres. Esta vitamina es necesaria para la prevención de escorbuto y mantenimiento del colágeno de los tejidos, como en la piel, cartílago, encías y vasos sanguíneos (Furusawa, 2001). Además, la vitamina C, como un antioxidante, supuestamente reduce el riesgo de arteriosclerosis, enfermedades cardiovasculares y algunas formas de cáncer (Harris, 1996 Apud Lee Y Kader, 2000; Serpen y Gökmen, 2007).

2.2.2. MODELO MATEMÁTICO DE CINÉTICA DE DEGRADACIÓN

La palabra "cinética", del griego kinesis, significa movimiento. La cinética de degradación es el nombre dado a la ciencia que estudia la velocidad con la que las reacciones químicas y bioquímicas que ocurren, los factores que las influyen, así como describe las características de esas reacciones en la forma de modelos matemáticos (House, 2007).

Durante el proceso térmico y el almacenamiento de alimentos, varias transformaciones, deseables e indeseables, ocurren. Además de la reacción biológica deseable de destrucción o inactivación de microorganismos y enzimas, objetivada en los procesos térmicos de alimentos, otras transformaciones ocurren, cuyas velocidades son afectadas por la temperatura. Ejemplos de reacciones deseables en el procesamiento térmico de productos de frutas son el ablandamiento de tejidos debido a la cocción, la inactivación de enzimas pectinolíticas y la inactivación de microorganismos. Las reacciones indeseables, sin embargo,

pueden ocurrir durante el proceso térmico y durante el período de almacenamiento del alimento, como la degradación del sabor, la destrucción de vitaminas y carotenoides responsables del color rojizo (Teixeira et al. 2004).

El conocimiento de las reacciones indeseables que pueden ocurrir en el alimento a ser procesado es imprescindible para la mejora de procesos térmicos y para la determinación de la vida de anaquel del alimento procesado, así como las condiciones ideales de almacenamiento. Todas estas reacciones, deseables o indeseables, pueden ser representadas matemáticamente. Tradicionalmente, la cinética de degradación de componentes nutricionales es descrita por una cinética de orden cero, orden uno o de orden dos (Corradini y Peleg, 2006).

La mayoría de los trabajos encontrados en la literatura utilizaron un modelo de cinética de 1° orden para describir la degradación térmica del ácido ascórbico (McMinn y Magee, 1997, Castro et al., 2004; Assiry et al., 2006; Assiry et al., 2003); que es representado por la siguiente ecuación 1:

$$\frac{dC}{dt} = -kC \quad (1)$$

Donde C es la concentración de vitamina C en el tiempo "t" y k es la constante de velocidad de la reacción de primer orden. Cuando el procesamiento ocurre de forma isotérmica, las cinéticas de orden cero, uno y dos pueden ser fácilmente integradas, conforme la ecuación 2 para encontrar la constante de velocidad de la reacción (k). Para ello, se traza un gráfico de $\ln(C/C_0)$ por el tiempo, donde la constante de la reacción es representada por la inclinación de la recta.

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = \pm kt \quad (2)$$

Donde C_0 es la concentración inicial de vitamina C. Una vez que los valores de k fueron estimados, la ecuación de Arrhenius (Ecuación 3) es tradicionalmente empleada para describir la dependencia de la temperatura en la constante de velocidad y para estimar la energía de activación (E_a de la reacción).

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (3)$$

Dónde:

k_0 = constante de Arrhenius o factor de frecuencia en min^{-1} ;

E_a = energía de activación expresada en kJ mol^{-1} ;

R = constante universal de los gases ($8,314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$);

T = temperatura en K;

La energía de activación es la inclinación de la recta obtenida trazándose) versus, como muestra la ecuación 4:

$$\ln(k) = \ln(k_0) - \frac{E_a}{RT} \quad (4)$$

Debido a la gran cantidad de trabajos experimentales que aplicaron este modelo para predecir el comportamiento de la degradación de la vitamina C, no hay dudas en cuanto a su validez (K. Yu et al., 2010). Sin embargo, en los últimos años, algunos trabajos han reportado que el modelo que utiliza la ecuación de cinética de primer orden no es el más adecuado para

describir el comportamiento cinético de degradación, pues éste toma en consideración que, en condiciones no isotérmicas, la degradación instantánea depende únicamente de la temperatura en aquel instante, no teniendo en cuenta la historia térmica del alimento (Corradini y Peleg, 2006). Por lo tanto, es necesario buscar modelos matemáticos más robustos que el lineal, dado por la ecuación de cinética de primer orden. (Corradini y Peleg, 2006).

Un modelo que se ha mostrado eficaz es el modelo de Weibull, que se utiliza para describir sistemas o eventos que tienen cierto grado de variabilidad. El modelo de Weibull ya se utilizó para describir el crecimiento microbiano, la inactivación microbiana y la degradación de nutrientes y enzimas (Derossi et al., 2010). Según Derossi et al (2010), en términos de la degradación del ácido ascórbico, este modelo sólo se utilizó para describir tal comportamiento en vegetales congelados (Corradini y Peleg, 2006).

El modelo logístico de Weibull se utilizó para describir el efecto de la temperatura en la degradación de la vitamina C según la ecuación 5:

$$\frac{c}{c_0} = \exp(-kt^\alpha) \quad (5)$$

Donde k y α son coeficientes dependientes de la temperatura. Este modelo es la forma acumulada de la función de distribución

de Weibull siendo que α es el factor de forma y k es el factor de locación.

La ecuación 5 se puede expresar como:

$$\ln\left(\frac{c}{c_0}\right) = -kt^\alpha \quad (6)$$

Si $\alpha = 1$, entonces la Ecuación 6 puede ser considerada como una cinética de 1° orden, conforme el modelo de ajuste lineal dado por la Ecuación 2.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se realizó en los ambientes de la Universidad Nacional de la Santa, específicamente en el Laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales, el laboratorio de Operaciones Unitarias y la Planta Piloto de la escuela de Ing. Agroindustrial.

3.2. MATERIALES

3.2.1. MATERÍA PRIMA

La materia prima tuna (*Opuntia Boldinghii*), se obtuvo en condiciones de madurez ideal y con un buen índice de calidad, libre de daño ocasionado durante el cultivo o cosecha, sin enfermedad alguna ni insectos y polvos indeseables. la cantidad de muestra utilizada fue de 4 kg. De cada variedad Muestras adquiridas en algunos mercados locales, y otras muestras provenientes de los valles de Casma y la sierra de Ancash.

3.2.2. MATERIALES METÁLICOS Y PLÁSTICOS

- Jarras de 1000 y 2000 ml.
- Cuchillos de mango de madera
- Cucharas
- Escobillas
- Espátulas
- Tabla de picar

- Pinza de madera
- Pera de succión

3.2.3. MATERIAL DE VIDRIO

- Vasos de precipitado de 100 ml
- Vasos de precipitado de 250 ml
- Vasos de precipitado de 600 ml
- Matraz Erlenmeyer de 250 ml
- Matraz Erlenmeyer de 500 ml
- Pipeta graduada de 1 ml
- Pipeta graduada de 5 ml
- Pipeta graduada de 10 ml
- Probeta de 50 ml
- Probeta de 100 ml
- Bagueta
- Tubo de ensayo de 150 mm x 25 mm

3.2.4. EQUIPOS E INSTRUMENTOS.

- Colorímetro Chroma Meter CR-400/Konica Minolta



Figura 8: Colorímetro Konica Minolta CR-400

- Balanza Analítica Precisa LX 320A SCS



Figura 9: Balanza Analítica

- Recirculador de agua temperada Brookfield TC-550



Figura 10: Recirculado de agua temperada

- Espectrofotómetro Único 2800 UV-Vis



Figura 11: Espectrofotómetro Único 2800 UV-Vis

3.3. MÉTODOS

3.3.1. OBTENCIÓN DE PULPA DE TUNA

- Recepción de materia prima: La materia prima tuna (variedad blanca y morada), se compra en el mercado la perla ya que ahí llegan desde el interior de la región.
- Selección y Desinfección: Se seleccionará las tunas de ambas variedades que cumplan con las condiciones óptimas de madurez y se desinfectará con hipoclorito de sodio.
- Pelado: Se realizará con cuchillos teniendo cuidado con las espinas alrededor del fruto.
- Pulpeado: Se realizará en la pulpeadora donde se separará la pulpa de la tuna con las pepas contenidas en estas.

- Refinado: Se realizará en tamices para lograr obtener una pulpa fina sin partículas no deseadas.
- Tratamiento térmico: Se someterá a la pulpa refinada a temperaturas de 75 a 95°C por un tiempo de entre 0 y 15 min.

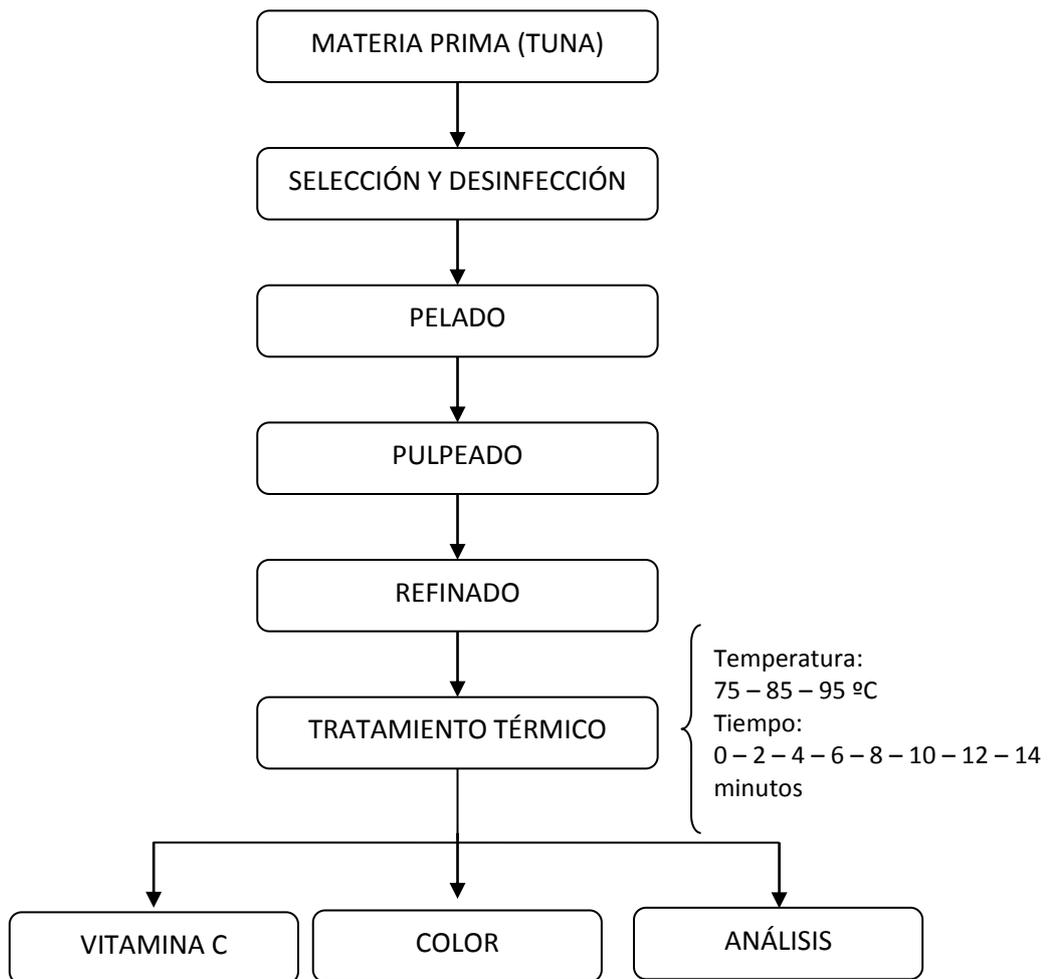


Figura 12: Flujograma Proceso para la obtención de pulpa de tuna.

3.3.2. ANÁLISIS PROXIMAL

Las mediciones de humedad, proteína y cenizas de la pulpa de tuna se llevarán a cabo por los métodos N°44-15A de AACC (1995), N°920.87 de la AOAC (1980) y 920.03 de la AOAC (1980), respectivamente. El contenido de grasa se determinará según el método 920.39C de la AOAC (1997). Todas las pruebas serán realizadas por triplicado.

3.3.3. DETERMINACIÓN DE VITAMINA C POR ESPECTROFOTOMETRÍA.

Preparación de la Curva Estándar.

a) Tomar 4 tubos de prueba y enumerarlas de I al IV y agregar lo siguiente:

I 10 ml. de agua destilada.

II 1 ml. de ácido oxálico al 0.4%

III 1 ml. de estándar de trabajo (ET) N° 1 + 9 ml. de agua

IV 1 ml. del estándar de trabajo (ET) N° 1

b) Ajustar a cero la Absorbancia usando I y el filtro seleccionado.

c) Al tubo II añadir 9 ml. del colorante y exactamente después de 15 segundos, leer la absorbancia. (L1)

d) Ajustar a cero la absorbancia con la solución del tubo III

e) Al tubo IV añadir 9 ml. del colorante y exactamente después de 15 segundos, leer la absorbancia (L2).

Repetir el paso d y e

- Para cada estándar de trabajo (ET) y registrar los correspondientes valores de L2. Construir la curva estándar con las concentraciones de ácido ascórbico (mg / 100 ml) en la abscisa y la ordenada la absorbancia, (L1 - L2) para cada estándar de trabajo.

Método: Preparación de la Muestra. (Método espectrofotométrico UV visible)

- a) Marcar 50 gr. de muestra fresca con 350 ml. de una solución de ácido oxálico al 0.4 % en una licuadora por 3 min. y luego filtrar.
- b) Determinar L1 como se describió anteriormente (paso 3)
- c) En el tubo III colocar 1 ml. de filtrado (muestra) mas 9 ml de agua ajustar al cero la absorbancia.
- d) Luego en el tubo IV colocar 1 ml. de filtrado (muestra) mas 9 ml de colorante y registrar la absorbancia L2 después de 15 segundos.
- e) Calcular (L1 - L2) y obtener la concentración de ácido ascórbico a partir de la curva estándar.

3.3.4. COLOR:

- Coger el colorímetro y borrar todos los datos de medida anteriores.
- Calibrar el instrumento. Para ello es necesario colocar el cabezal de medida sobre el plato de calibración y

seleccionar la función "Calibrate" hasta que el aparato indique que está preparado.

- Poner al sistema en modo medida apretando el botón "measure"
- Realizar la medida sobre la superficie de la muestra a medir.
- Anotar los valores de los parámetros L^* , a^* , b^* .

3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL:

3.4.1. PROCEDIMIENTO DE DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS CINÉTICOS

En la figura 2 se presenta el esquema experimental del trabajo de investigación, donde se muestra todas las etapas del proceso y los controles respectivos de cada etapa. A partir de estas muestras sometidas al tratamiento térmico por tiempos diferentes, se han utilizado alícuotas a fin de realizar los análisis respectivos de vitamina C.

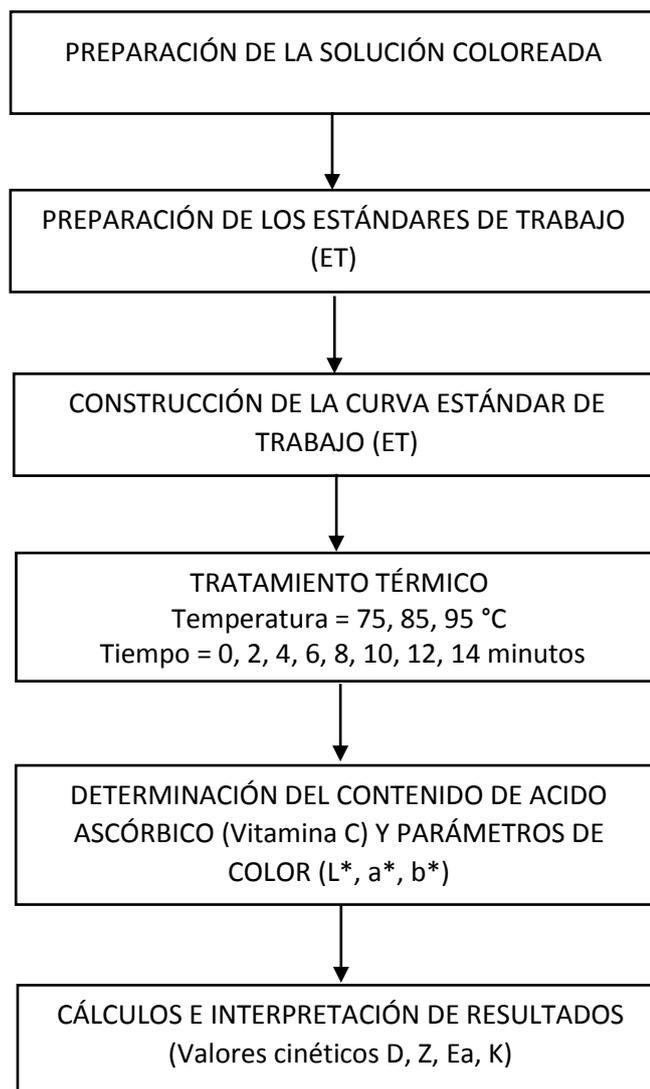


Figura 13: Esquema experimental para la determinación de los parámetros cinéticos de degradación térmica de vitamina C y color.

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. La cinética de degradación térmica de la vitamina C en pulpa de Tuna, se calculó a partir de las ecuaciones 1-6, descritas previamente por (Toledo, 1991).

$$c = -k.t + c_0 \quad (1)$$

$$\ln\left(\frac{c}{c_0}\right) = -k.t \quad (2)$$

$$k = A_0 e^{-E_a/RT} \quad (3)$$

$$D = \frac{\ln(10)}{k} \quad (4)$$

$$t_{0.5} = \frac{-\ln(0.5)}{k} \quad (5)$$

$$Q_{10} = \left(\frac{k_2}{k_1}\right)^{10/T_2-T_1} \quad (6)$$

$$z = \frac{10\ln(10)}{\ln Q_{10}} \quad (7)$$

En el cual la ecuación 1 y 2 son los modelos cinéticos de orden cero y primer orden, donde, C = concentración de vitamina C; k = velocidad constante de reacción expresada en min^{-1} ; t = tiempo en minutos; E_a = energía de activación en kcal/mol; R = constante universal de los gases (1,987 cal/mol.K); T = temperatura absoluta en grados kelvin (K); A = constante pre exponencial; D = reducción decimal; $t_{0.5}$ = tiempo requerido para reducir el 50% la concentración original de vitamina C; Q_{10} = cambio de la constante de velocidad de una reacción al aumentar la temperatura en 10°C; z = constante de resistencia térmica.

Con los datos obtenidos después del tratamiento térmico se graficó por separado el logaritmo natural de la concentración de ácido ascórbico y cambios en color de los productos en función del tiempo de tratamiento. Se obtendrá las constantes de velocidad de degradación a partir de un ajuste de los datos aplicando las ecuaciones 1 y 2, el ajuste que presente mayor R^2 es el modelo que mejor predice nuestros resultados. A partir de las constantes de velocidad de degradación se calcularon los parámetros D, empleando la ecuación (4).

Esto se realizó para las diferentes temperaturas evaluadas. Con los valores de los parámetros D ($\log D$) y la relación con la temperatura se calcularon los valores z para la degradación de ácido ascórbico y cambios en color.

Para la obtención de las energías de activación (E_a) se calcularon las pendientes de la gráfica de Arrhenius del $\ln(k)$ contra el inverso de la temperatura ($1/T$) en K de acuerdo a la ecuación (3).

Los coeficientes de regresión serán estimados por regresión lineal o no lineal usando el software STATISTICA v.10. Cuando sea aplicable, los resultados serán analizados por análisis de varianza (ANOVA) utilizando el mismo programa.

3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO:

Se aplicó un experimento factorial de 5A x 8B en Diseño Bloque Completo al Azar (DCA) con 3 repeticiones, donde el modelo estadístico será:

$$y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

$i=1,2, 3,4, \text{ y } 5$ $j = 1, 2, \dots, 8$

Donde:

y_{ij} = Variable respuesta

μ = Media general

A_i = Efecto del factor Temperatura: 75, 85 y 95 °C

B_j = Efecto del factor Tiempo: 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 y 14 minutos.

$(AB)_{ij}$ = Efecto de la interacción de los factores A y B.

ϵ_{ij} = Efecto del error experimental

El esquema del diseño estadístico se presenta en la figura 14 donde T_i es la temperatura ($T_1=75^\circ\text{C}$, $T_2=85^\circ\text{C}$, $T_3=95^\circ\text{C}$) y t_i es el tiempo ($t_1=2$ min, $t_2=4$ min, $t_3=6$ min, $t_4=8$ min, $t_5=10$ y $t_6=12$ y $t_6=14$ min.

Se aplicará un experimento factorial de 5A x 8B en Diseño Bloque Completo al Azar (DBCA) con 3 repeticiones, donde el modelo estadístico será:

Se aplicara el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey al nivel de 5% de significancia, para comparación entre las medias que se obtuvieron de tres repeticiones utilizando el programa Statistica V.10 para Windows

La matriz experimental se presenta en la tabla 4, con un total de 24 tratamiento experimentales, más 2 réplicas por tratamiento.

Tabla 4: Matriz experimental

Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)
75	2
75	4
75	6
75	8
75	10
75	12
75	14
85	2
85	4
85	6
85	8
85	10
85	12
85	14
95	2
95	4
95	6
95	8
95	10
95	12
95	14

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los estudios cinéticos de degradación de vitamina C y color fueron conducidos a partir de la pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad blanca y morada producida en la cosecha de 2017, con las características descritas en la Tabla 5.

Tabla 5: Caracterización físico-química de la pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad blanca y morada utilizada en el estudio cinético.

Propiedad	Variedad Blanca	Variedad morada
Humedad	82.51 ± 1.25	83.32 ± 0.95
Sólidos Soluble	16.5 ± 0.28	15,46 ± 0.23
pH	4.52 ± 0.15	4.61 ± 0.12
Acidez Titulable (g de ácido cítrico/100g de pulpa)	0.63 ± 0.02	0,061 ± 0.03
Vitamina C (mg/100g)	22.37 ± 0.083	21.85 ± 0.093

En las Tabla 5 se observaron muy pocas variaciones de los valores entre las determinaciones físicoquímicas de las dos variedades de pulpas de tuna. En cuanto a la acidez titulable guardan relación con el pH determinado para las pulpas. También éstas, por los sólidos solubles, indican una buena madurez de la materia prima usada en el proceso ya que generalmente frutos sobre maduros presentan valores deficientes de acidez. Los resultados obtenidos se encuentran dentro de los intervalos de

valores de referencias de algunos autores (Sáenz y Sepúlveda, 1993; Sepúlveda y Sáenz, 1990).

4.1. CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE VITAMINA C

Los datos obtenidos de la degradación de ácido ascórbico en las tres temperaturas estudiadas fueron analizados en cuanto al orden de reacción y luego se calcularon los parámetros cinéticos por los métodos de Bigelow y de Arrhenius. Para la determinación del orden de reacción, fueron trazados los valores de concentración de ácido ascórbico versus el tiempo de calentamiento a cada temperatura, como muestran la Tabla 6 y la Figura 14 y 15.

Tabla 6: Resultados obtenidos de concentraciones de ácido ascórbico (mg / 100g) en los diferentes tratamientos térmicos para pulpa de Tuna (*Opuntia boldinghi*) de variedad blanca y morada

Tiempo (min)	Variedad blanca			Variedad Morada		
	Contenido de Ácido Ascórbico (mg/100g)			Contenido de Ácido Ascórbico (mg/100g)		
	75°C	85°C	95°C	75°C	85°C	95°C
0	22.37 ± 1.11	22.34 ± 0.91	22.35 ± 0.71	21.85 ± 1.11	21.94 ± 1.11	21.94 ± 1.11
2	15.98 ± 1.24	13.68 ± 1.27	13.62 ± 1.12	16.48 ± 0.59	14.89 ± 0.95	13.38 ± 0.78
4	15.36 ± 0.95	9.85 ± 1.14	6.50 ± 0.95	14.42 ± 0.85	10.84 ± 0.78	5.8 ± 0.59
6	12.60 ± 1.30	8.13 ± 1.03	6.98 ± 0.86	11.72 ± 1.23	7.69 ± 0.69	6.27 ± 1.02
8	11.32 ± 1.24	6.53 ± 0.95	6.17 ± 0.25	10.77 ± 0.50	6.18 ± 0.58	5.77 ± 1.09
10	11.05 ± 0.87	5.99 ± 1.27	6.38 ± 0.85	10.79 ± 0.89	5.6 ± 0.85	5.68 ± 0.84
12	9.98 ± 0.71	5.76 ± 1.08	5.45 ± 1.24	9.17 ± 1.05	5.07 ± 1.10	4.18 ± 0.79
14	7.93 ± 0.84	5.43 ± 1.14	4.48 ± 1.05	7.17 ± 0.45	4.75 ± 0.25	2.94 ± 0.46

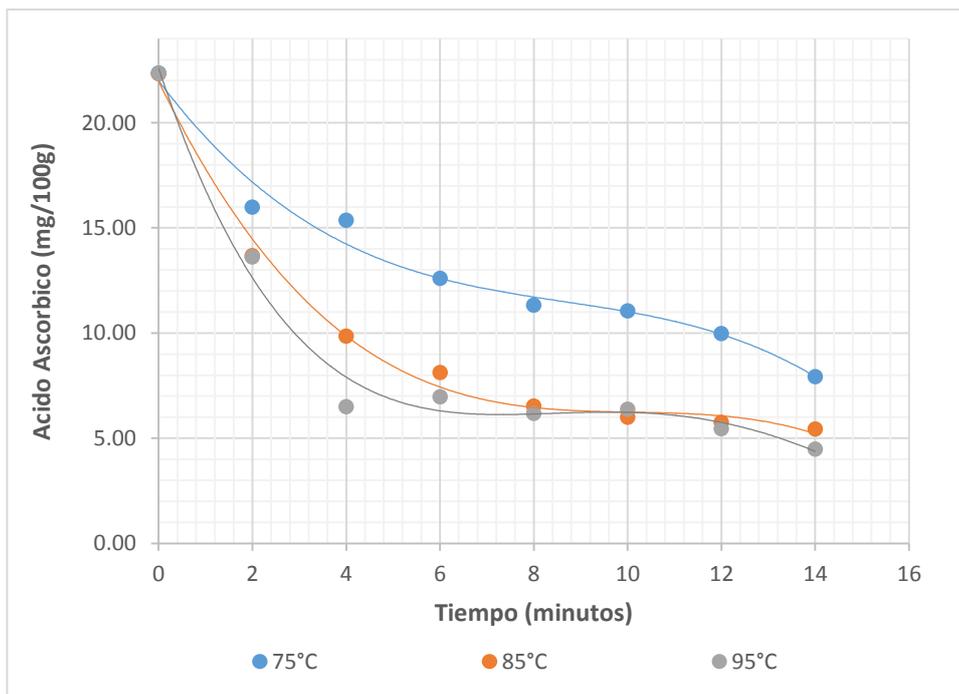


Figura 14 - Cinética de degradación del ácido ascórbico en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad blanca a 75, 85 y 95 °C.

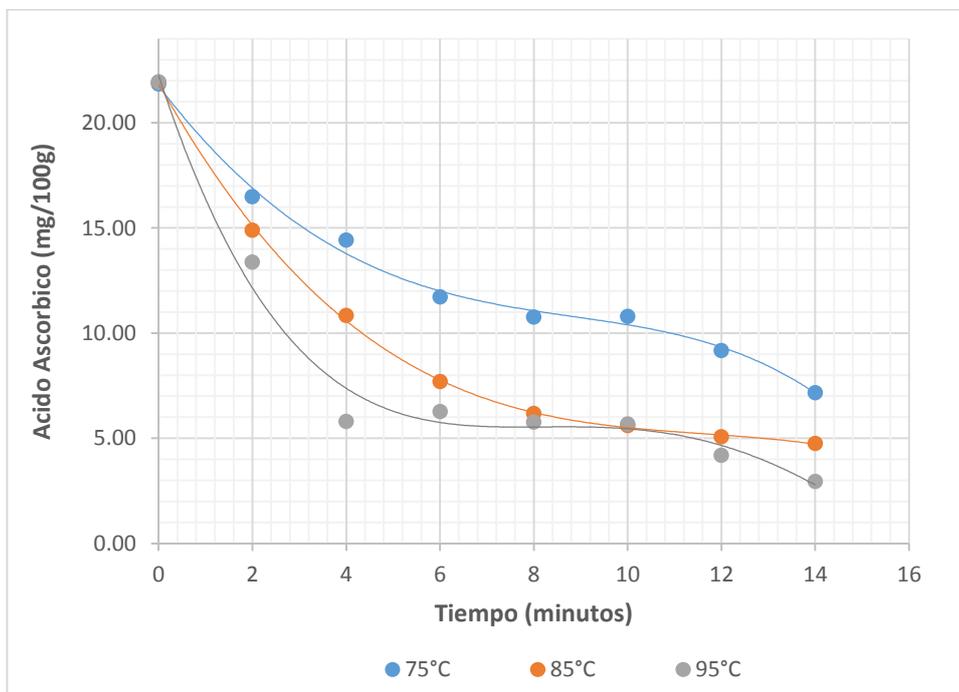


Figura 15 - Cinética de degradación del ácido ascórbico en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad morada a 75, 85 y 95 °C.

La concentración de ácido ascórbico en las muestras de pulpa de tuna disminuyó con el aumento del tiempo de calentamiento en las tres temperaturas (75, 85 y 95 °C), como se esperaba para ambas variedades de pulpa de tuna. Se ha degradado más del 50% del ácido ascórbico inicialmente medido en las condiciones estudiadas (71,8% a 60 °C, 78,6% a 70 °C y 68,1% a 80 °C), lo que permite concluir que los tiempos de calentamiento aplicados fueron suficientes para evaluar la cinética de la reacción.

Taoukis y Labuza (1996) y Labuza (1984) mencionan que la mayoría de las reacciones estudiadas en alimentos se caracterizan como cinéticas de orden cero o primer orden. En el caso Teixeira et al. (1996) citan reacciones de primer orden como las más frecuentes en alimentos, entre las más importantes: desarrollo microbiano, degradación de vitaminas y pigmentos durante el procesamiento y almacenamiento, inactivación enzimática y destrucción de toxinas por calentamiento. Con base en la literatura, por lo tanto, los resultados obtenidos del estudio de degradación térmica del ácido ascórbico fueron probados en los modelos de orden cero y de primer orden, conforme evidencia la Tabla 7.

Tabla 7: Comparación entre los modelos de orden cero y primer orden para describir la cinética de degradación de ácido ascórbico en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghi*) de variedad blanca y morada.

Variedad de tuna	Parámetros Cinéticos	Cinética orden cero			Cinética de primer orden		
		75°C	85°C	95°C	75°C	85°C	95°C
Blanca	k	-0.8647	-1.0188	-0.9947	-0.0637	-0.0949	-0.0953
	C ₀	19.3769	16.8440	15.9547	19.8698	16.7073	15.1377
	R ²	0.8784	0.7398	0.6447	0.9453	0.8755	0.7643
Morada	k	-0.8999	-1.1113	-1.0702	-0.0696	-0.1089	-0.1191
	C ₀	19.0958	17.3995	15.7370	19.7218	17.8098	15.5404
	R ²	0.8932	0.8064	0.6844	0.9518	0.9227	0.8344

Tanto la evaluación visual de los gráficos de la Figura 14 y 15 como los coeficientes de determinación (R²) sugieren que el modelo de primer orden describe satisfactoriamente la reacción de degradación del ácido ascórbico en pulpa de tuna para ambas variedades.

Robertson y Samaniego (1986) reportaron un resultado similar al estudiar la degradación de ácido ascórbico en jugo de limón. Para Singh et al. (1976 citado Robertson; Samaniego 1986) y Lin y Agalloco (1079 citado Robertson; Samaniego 1986), la reacción de primer orden es válida solamente cuando el oxígeno está contenido en abundancia (biodegradación aeróbica) o cuando está completamente ausente (degradación anaeróbica). Cuando el oxígeno está presente en concentraciones limitadas, los autores reportan que la cinética de degradación se ajusta a un modelo de segundo orden, concluyendo que esta depende tanto de la concentración de oxígeno, como la del ácido ascórbico.

Van Boekel (1996) sugiere además que el concepto de orden de reacción es puramente empírico y que el uso de modelos de orden simple para describir reacciones complejas en los alimentos es útil cuando el interés es prever la vida de estante o estudiar alteraciones químicas durante el tratamiento procesamiento, pero no se recomienda para entender el mecanismo de la reacción química.

El modelo de segundo orden no es frecuentemente reportado en la literatura de ciencia de los alimentos. Van Boekel (2008) reitera que, suponiendo que uno de los reactivos esté presente en exceso, la constante de velocidad de reacción de segundo orden puede ser simplificada para una constante de "pseudo-primer orden". Esto refuerza la tesis de que la cinética observada experimentalmente no necesariamente describe bien el mecanismo de la reacción. Una solución a esta problemática puede ser la aplicación del modelado multi-respuesta, bastante utilizado para explicar científicamente los mecanismos de reacción, aunque no se utiliza frecuentemente en aplicaciones prácticas.

El modelo de primer orden también fue utilizado para describir la cinética de degradación del ácido ascórbico en diferentes matrices alimenticias, como presentado por Lee et al. (1997) en jugo de tomate, Gabas, Telis-Romero y Menegalli (2003) en ciruelas liofilizadas, Burdurlu, Koca y Karadeniz (2006) en jugos cítricos concentrados, Rajchl et al. (2010) en ketchup y Pedro (2006) en extracto de tomate. La elección de la cinética de primer orden permite además el cálculo de las constantes cinéticas por los modelos de Arrhenius y Bigelow.

De esta forma, las constantes cinéticas del modelo de Arrhenius se calcularon a partir de la regresión lineal de la concentración de ácido ascórbico en función del tiempo para las tres temperaturas, 75, 85 y 95°C. En la Figura 15 se observa el logaritmo de la constante de la velocidad en función del inverso de la temperatura absoluta, donde una línea recta confirma que la reacción sigue la ecuación de Arrhenius con buen ajuste lineal ($R^2 = 0,94$). La inclinación representa E/R.

Las constantes cinéticas de degradación del ácido ascórbico fueron determinadas por el modelo de Bigelow, con el fin de evaluar la intensidad del binomio tiempo y temperatura. Para ello, los datos experimentales fueron trazados en escala logarítmica de base 10 versus el tiempo de calentamiento en horas.

Un resumen de los parámetros cinéticos calculados para la degradación del ácido ascórbico se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8: Parámetros cinéticos para la degradación de ácido ascórbico en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad blanca y morada.

Variedad de tuna Blanca		Variedad de tuna Morada	
Arrhenius	Bigelow	Arrhenius	Bigelow
$k_{75^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 0.0637$	$D_{75^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 36.1330$	$k_{75^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 0.0696$	$D_{75^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 33.0941$
$k_{85^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 0.0949$	$D_{85^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 24.2684$	$k_{85^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 0.1089$	$D_{85^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 21.1358$
$k_{95^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 0.0953$	$D_{95^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 24.1676$	$k_{95^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 0.1191$	$D_{95^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 19.3263$
$A_0 (\text{min}^{-1}) = 118.8328$	$z (^{\circ}\text{C}) = 11.4501$	$A_0 (\text{min}^{-1}) = 1556.9120$	$z (^{\circ}\text{C}) = 8.5616$
$E_a (\text{kJ/mol}) = 21.6201$		$E_a (\text{kJ/mol}) = 28.8313$	

El resultado encontrado de la energía de activación difiere del rango citado por Taoukis et al. (1997) para describir reacciones de degradación de nutrientes, cuando obtuvo 100 kJ/mol, reportada

también por Pedro (2006) en extracto de tomate. Sin embargo, los resultados de energía de activación inferiores a 100 kJ / mol también se obtuvieron por Rajchl et al. (2010) en ketchup, Zanoni (2003) en pulpa de tomate y Lee et al. (1977) en jugo de tomate. Los valores de D y z encontrados en la literatura para degradación de ácido ascórbico en productos de fruta no establecen un patrón común. Rajchl et al. (2010) encontró parámetros cinéticos significativamente diferentes al comparar ketchups producidos a partir de la misma pulpa de tomate, con pequeñas diferencias de formulación. Este estudio ejemplifica, así como la complejidad de las matrices alimenticias, así como las diferencias en el procesamiento y las condiciones de estudio interfieren en los resultados cinéticos observados. En general, los valores de k, D y z obtenidos en el presente estudio demuestran dependencia térmica dentro de las bandas reportadas en literatura para productos similares.

4.2. CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE COLOR

En la tabla 9 se presentan los resultados obtenidos de los parámetros de color para los diferentes tratamientos térmicos para pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad blanca y morada.

Tabla 9: Resultados obtenidos de los parámetros de color en los diferentes tratamientos térmicos para pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad blanca y morada.

Tiempo (min)	Variedad de Tuna Blanca						Variedad de Tuna Morada					
	Luminosidad (L*)			Croma (C)			Luminosidad (L*)			Croma (C)		
	75°C	85°C	95°C	75°C	85°C	95°C	75°C	85°C	95°C	75°C	85°C	95°C
0	86.79±0.01	86.79±0.3	86.79±0.3	22.72±0.3	22.72±0.3	22.72±0.3	35.28±0.7	35.20±0.8	35.20±0.8	66.26±0.9	66.26±0.9	66.26±0.9
2	80.03±0.2	81.89±0.4	81.95±0.9	22.10±0.7	22.06±0.9	21.27±0.3	35.25±0.1	34.51±0.3	33.06±0.9	67.27±0.8	64.27±0.9	60.01±0.1
4	83.04±0.4	77.57±0.6	70.00±0.2	20.90±0.3	21.59±0.5	19.28±0.3	35.10±0.3	34.01±0.2	31.46±0.2	66.50±0.7	62.83±0.7	54.90±0.7
6	79.02±0.8	78.54±0.3	66.32±0.8	21.56±0.6	19.37±0.8	17.03±0.7	34.80±0.8	32.90±0.8	28.86±0.7	65.63±0.5	59.23±0.3	46.51±0.5
8	75.64±0.7	75.93±0.2	63.87±0.8	20.16±0.4	18.84±0.7	13.69±0.2	34.79±0.3	31.78±0.6	27.74±0.6	64.25±0.1	55.02±0.2	43.80±0.5
10	74.91±0.1	70.87±0.2	59.01±0.2	19.94±0.6	16.53±0.5	12.41±0.3	34.46±0.9	30.94±0.6	26.99±0.4	63.58±0.7	52.83±0.1	41.00±0.7
12	73.1±0.7	71.4±0.2	58.14±0.2	19.41±0.6	15.20±0.8	10.93±0.5	33.70±0.2	29.72±0.2	25.12±0.2	61.97±0.2	46.01±0.4	36.36±0.4
14	69.08±0.7	64.9±0.1	51.63±0.1	19.16±0.9	13.48±0.4	9.693±0.5	33.37±0.8	28.21±0.8	22.14±0.4	61.22±0.3	44.64±0.1	32.38±0.5

Los resultados obtenidos para los parámetros de color luminosidad (L^*) y croma (C), durante el calentamiento de la pulpa de tuna de variedad blanca y morada a las tres temperaturas se presentan en la Tabla 9. En la figura 16, 17, 18 y 19 se observa como disminuye el valor de luminosidad y croma para ambas variedades de tuna. Para la determinación del orden de reacción, se han trazado los valores de cada parámetro frente al tiempo de calentamiento a cada temperatura.

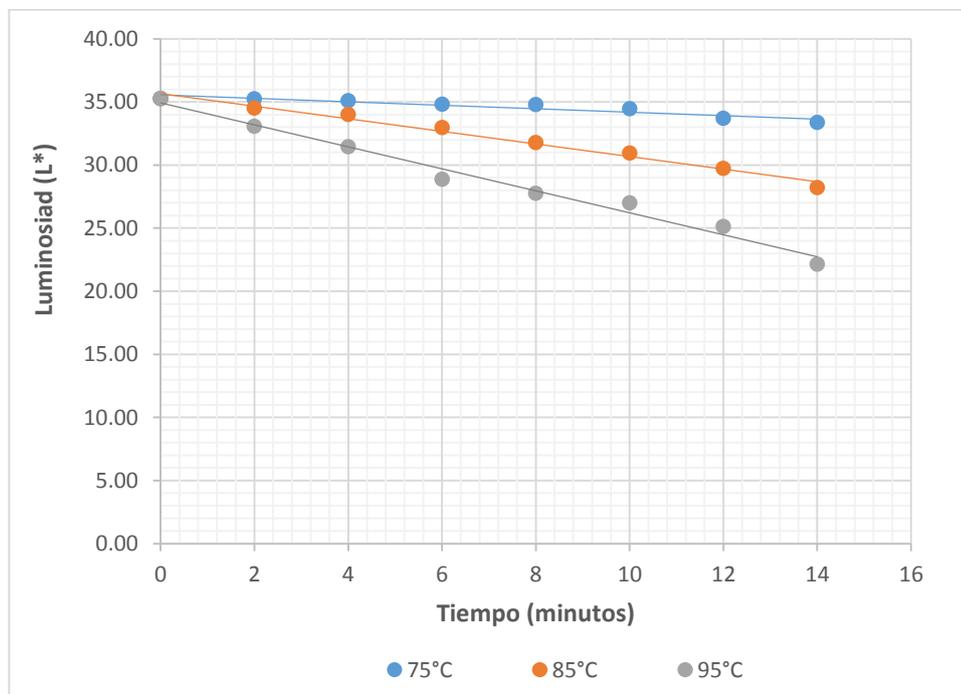


Figura 16: Cinética de degradación del parámetro de color luminosidad en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad morada a 75, 85 y 95 °C.

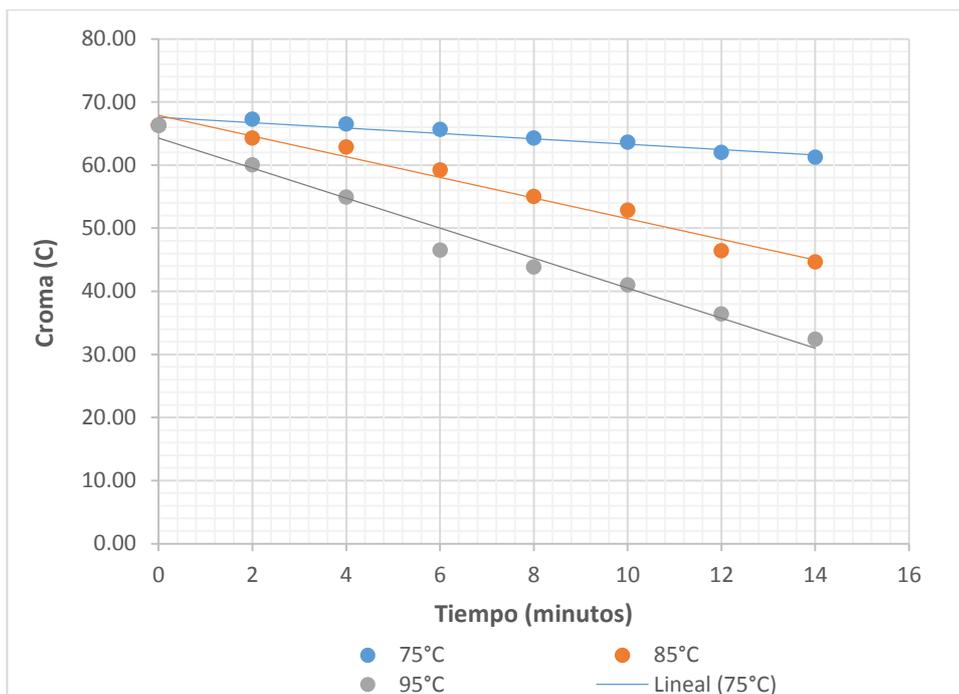


Figura 17: Cinética de degradación del parámetro de color croma en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad morada a 75, 85 y 95 °C.

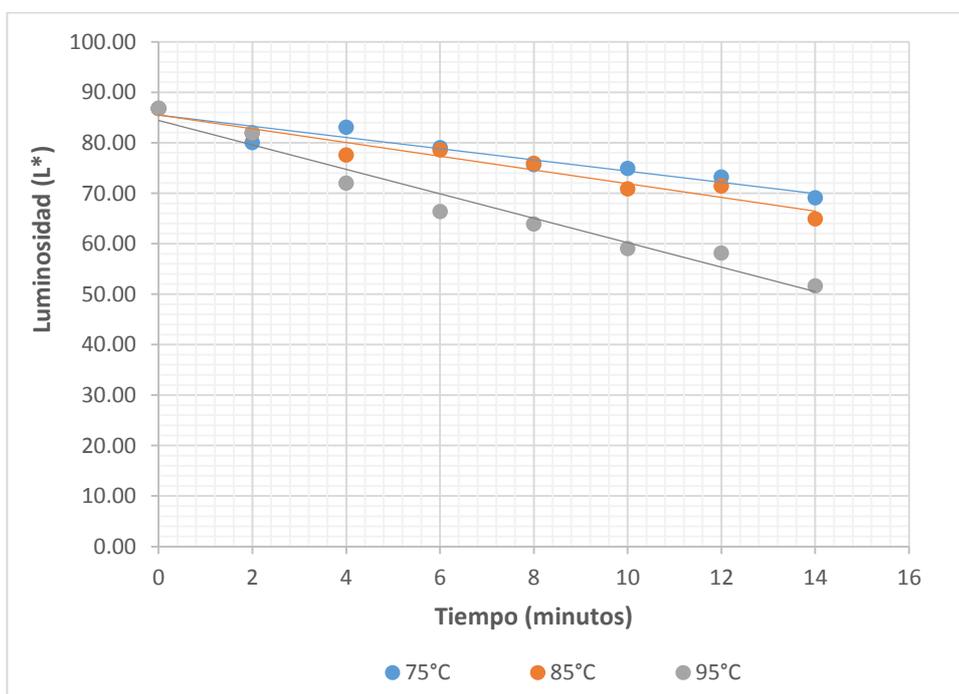


Figura 18: Cinética de degradación del parámetro de color luminosidad en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad blanca a 75, 85 y 95 °C.

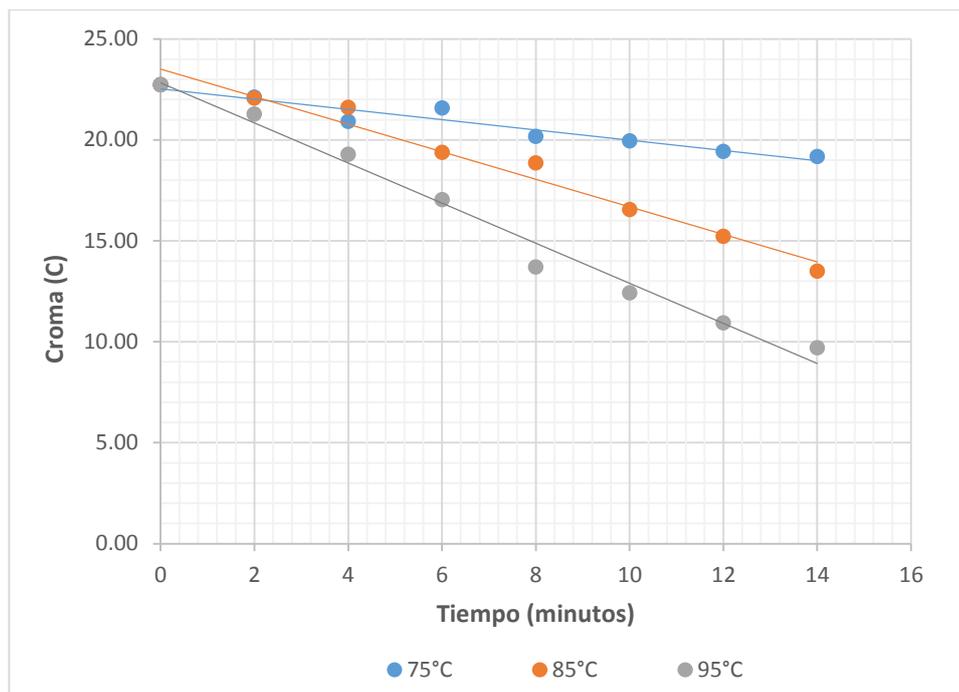


Figura 19: Cinética de degradación del parámetro de color croma en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad blanca a 75, 85 y 95 °C.

La Tabla 10 muestra que se han observado buenos ajustes para el modelo de orden cero y para el modelo de primer orden. En una reacción de orden cero, la velocidad de conversión del reactivo depende sólo del tiempo, mientras que en una reacción de primer orden la velocidad depende también de la concentración de los reactivos implicados. El modelo de primer orden mostró coeficientes de determinación (R^2) ligeramente mayores o igual a los encontrados a través del modelo de orden cero para todos los parámetros. Por este motivo, el modelo de primer orden se adoptó para el cálculo de los parámetros cinéticos de degradación del color. El comportamiento de primer orden también fue observado por Barreiro et al. (1997) y Rajchl et al. (2010) para degradación de color en productos como el tomate. Al

mismo tiempo, Lee y Chen (2002) describieron comportamiento cinético de primer orden para la degradación de licopeno en sistemas modelo a diferentes temperaturas.

Tabla 10: Comparación entre los modelos de orden cero y primer orden para describir la cinética de degradación de los parámetros de color en pulpa de tuna de variedad blanca y morada.

Variedad de tuna	Parámetros Cinéticos	LUMINOSIDAD						CROMA					
		Cinética orden cero			Cinética de primer orden			Cinética orden cero			Cinética de primer orden		
		75°C	85°C	95°C	75°C	85°C	95°C	75°C	85°C	95°C	75°C	85°C	95°C
Blanca	k	-1.1074	-1.3588	-2.4205	-0.0143	-0.0180	-0.0356	-0.2536	-0.6826	-0.9931	-0.0122	-0.0378	-0.0645
	C₀	85.4656	85.5042	84.4111	85.6816	85.8820	85.3960	22.5243	23.5082	22.8331	22.5588	24.0278	23.8808
	R²	0.9150	0.9387	0.9579	0.9188	0.9341	0.9746	0.9241	0.9729	0.9842	0.9289	0.9551	0.9876
Morada	k	-0.1367	-0.4987	-0.8703	-0.0040	-0.0157	-0.0306	-0.4284	-1.6371	-2.3800	-0.0067	-0.0297	-0.0503
	C₀	35.5552	35.6731	34.9274	35.5673	35.8172	35.3595	67.5885	67.8985	64.3178	67.6426	68.8280	65.9899
	R²	0.8884	0.9839	0.9826	0.8846	0.9757	0.9754	0.9044	0.9748	0.9783	0.9035	0.9608	0.9917

Como se esperaba, todos los valores de color (L^* , C) disminuyeron con el aumento del tiempo de calentamiento, a las tres temperaturas estudiadas, disminuyendo de forma más acentuada, temperatura.

Las constantes cinéticas del modelo de Arrhenius se calcularon a partir de la regresión lineal de los valores de color en función del tiempo para las tres temperaturas.

En el caso de que se produzca un cambio en el valor de la temperatura, se obtiene una línea recta para cada uno de los atributos de color, con excelente ajuste lineal para el modelo de Arrhenius ($R > 0,99$). Las inclinaciones de las rectas representan E_a/R .

Para la evaluación de la intensidad del binomio tiempo y temperatura en la degradación del color, se determinaron las constantes cinéticas de degradación de los atributos de color también por el modelo de Bigelow.

A pesar de reportar el mismo perfil de degradación para todos los atributos de color en estudio similar con pulpa de tomate, Barreiro et al. (1997) encontró parámetros cinéticos que demuestran mayor sensibilidad del color a la temperatura. Los valores encontrados en el presente estudio se aproximan más de los obtenidos por Rajchl et al. (2010) en ketchup. Las divergencias constatadas pueden estar relacionadas con las condiciones del estudio (tiempo de calentamiento, temperaturas evaluadas, aireación) y las características de composición de la matriz alimenticia utilizada.

Tabla 10: Parámetros cinéticos para la degradación de ácido ascórbico en pulpa de tuna de variedad blanca y morada

LUMINOSIDAD			
Variedad de tuna Blanca		Variedad de tuna Morada	
Arrhenius	Bigelow	Arrhenius	Bigelow
$k_{75^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 0.0143$	$D_{75^{\circ}\text{C}} (\text{min}) = 161.2927$	$k_{75^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 0.0040$	$D_{75^{\circ}\text{C}} (\text{min}) = 579.4915$
$k_{85^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 0.0180$	$D_{85^{\circ}\text{C}} (\text{min}) = 127.9663$	$k_{85^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 0.0157$	$D_{85^{\circ}\text{C}} (\text{min}) = 147.0225$
$k_{95^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 0.0356$	$D_{95^{\circ}\text{C}} (\text{min}) = 64.6131$	$k_{95^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 0.0306$	$D_{95^{\circ}\text{C}} (\text{min}) = 75.3560$
$A_0 (\text{min}^{-1}) = 2.50\text{E}+05$	$z (^{\circ}\text{C}) = 5.0341$	$A_0 (\text{min}^{-1}) = 1.00\text{E}+14$	$z (^{\circ}\text{C}) = 2.2575$
$E_a (\text{kJ/mol}) = 48.5075$		$E_a (\text{kJ/mol}) = 109.0155$	
CROMA			
Variedad de tuna Blanca		Variedad de tuna Morada	
Arrhenius	Bigelow	Arrhenius	Bigelow
$k_{75^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 0.01218585$	$D_{75^{\circ}\text{C}} (\text{min}) = 188.9556$	$k_{75^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 0.0067$	$D_{75^{\circ}\text{C}} (\text{min}) = 345.1102$
$k_{85^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 0.0378$	$D_{85^{\circ}\text{C}} (\text{min}) = 60.9825$	$k_{85^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 0.0297$	$D_{85^{\circ}\text{C}} (\text{min}) = 77.5322$
$k_{95^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 0.0645$	$D_{95^{\circ}\text{C}} (\text{min}) = 35.7168$	$k_{95^{\circ}\text{C}} (\text{min}^{-1}) = 0.0503$	$D_{95^{\circ}\text{C}} (\text{min}) = 45.7647$
$A_0 (\text{min}^{-1}) = 3.04\text{E}+11$	$z (^{\circ}\text{C}) = 2.7644$	$A_0 (\text{min}^{-1}) = 1.28\text{E}+14$	$z (^{\circ}\text{C}) = 2.2794$
$E_a (\text{kJ/mol}) = 89.0374$		$E_a (\text{kJ/mol}) = 108.1030$	

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

- Los resultados obtenidos en este estudio permiten concluir que el color y la concentración de ácido ascórbico son parámetros de calidad críticos que sufren cambios significativos a lo largo del tratamiento térmico de pulpa de tuna para ambas variedades estudias.
- Tanto la degradación del ácido ascórbico como la degradación de los parámetros de color fueron bien descritas por modelos cinéticos de primer orden y la dependencia de la temperatura fue satisfactoriamente representada por la ley de Arrhenius.
- A través del estudio de degradación cinética quedó claro la dependencia de la temperatura en las reacciones de degradación, haciéndose más evidente a temperaturas más elevadas.
- La pulpa de tuna de ambas variedades presentaron un oscurecimiento acentuado a mayor tiempo de tratamiento, lo que puede estar asociado a los procesos no enzimáticos de oxidación de la vitamina C y la Reacción de Maillard.
- Los resultados obtenidos en la presente investigación pueden ser de gran interés a la agroindustria procesadora de pulpa de tuna, en la optimización de los tratamientos térmicos y en el diseño de equipos.

RECOMENDACIONES

- Para estudios futuros, se sugiere el seguimiento de las variaciones de los parámetros reológicos y consistencia de la pulpa, evaluando el almacenamiento para una mejor comprensión de la influencia del tiempo y de las variaciones reales de temperatura ambiente sobre los atributos estudiados.
- Realizar estudios controlando la presencia de oxígeno en el proceso pueden dar información adicional importante en lo que se refiere a la degradación del color y la vitamina C en los productos pulpa de tuna.
- Realizar estudios de la cinética de degradación de los compuestos bioactivos de la pulpa de tuna.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA Y VIRTUALES

- Agarwal, A.; Nallela, K.; Allamaneni, S.S.R.; Said, T.M. Role of antioxidants in treatment of male infertility: an overview of the literature. *Reproductive BioMedicine Online*, v. 8, p. 616-627, 2004.
- Álvarez, P & F. Cáceres. 2003. Usos e importancia de las cactáceas en la cultura Churajón (Dpto. Arequipa). *Quepo* 17: 20-27.
- Alves, J.A.; Nassur, R.C.M.R; Pires, C.R.F; Alcântara, E.M.;Giannoni, J.A.; Lima, L.C.O. Cinética de degradação de vitamina c em mangas „palmer” minimamente processadas armazenadas em diferentes temperaturas. *Ciência e Agrotecnologia.*, Lavras, v. 34, n. 3, p. 714-721, 2010.
- Al-Zubaidy, M.M.I., Khalil, R.A. Kinetic and prediction studies of ascorbic acid degradation in normal and concentrate local lemon juice during storage. *Food Chemistry*, v.101, p. 254-259, 2007.
- Amaro, A.P.; Bonilha, P.R.M.; Monteiro, M. The effect of the termal treatment on the physicochemical and microbiological characteristics of the passion fruit pulp. *Alimentos e Nutrição – Brazilian Journal of Food and Nutrition*, São Paulo, v.13, p. 151-162, 2002.
- Antúnez De Mayolo, S.E. 1981. La nutrición en el antiguo Perú. Banco Central de Reserva. Lima-Perú.
- Archarya, U.R.; Rathore, R.M.; Mishra, M. Role of vitamin C on lead acetate induced spermatogenesis in swiss mice. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, v. 13, p. 9-14, 2003.
- Ben Salem, H., Nefzaoui, A., Abdouli, H. Y Orskov, E.R. 1996. Effect of increasing level of spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* var. *inermis*) on

- intake and digestion by sheep given straw- based diets. *Animal Sciences*, 62: 293-299.
- Bianchi, M. de L.P.; Antunes, L.M.G. Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. *Revista de Nutrição*, v. 12, n. 2, p. 123-130, 1999.
 - C. Ochoa, J. Guerrero 2010. La tuna una perspectiva de su producción, propiedades y métodos de conservación. Departamento de ingeniería química, alimentos y ambiental. Universidad de las Américas - Puebla
 - Castro, J., Paredes, C. y Muñoz, D. “El Cultivo de Tuna” *Opuntia ficus indica*. Gerencia Regional Agraria La Libertad, Trujillo-Perú. 2009, 18p.
 - Fontannaz, P.; Kilinc, T.; Heudi, O. HPLC-UV determination of total vitamin C in a wide range of fortified food products. *Food Chemistry* v.94, p.626-631, 2006.
 - Guillard, J.C.; Lequeu, B. As vitaminas do nutriente ao medicamento. São Paulo: Santos, 1995. 375p.
 - Fennema, D. Srinivasan et al. (Ed.). *Fennemas Food Chemistry*. New York, USA: CRC Press, 4ta Edición. 2008. Vitamins, p.1144
 - Hernandez Y. Lobo M. and Gonzalez, M. 2006. Determination Present Knowledge in Nutrition Washington:ILSI Press, pp. 191-205
 - Kiesling, R. 2002. Origen, domesticación y distribución de *Opuntia ficus-indica*. Instituto de Botánica Darwinion. htm. San Isidro - Argentina.
 - Luck, M.R.; Jeyaseelan, I.; Scholes, R. Ascorbic and fertility. *Biology of Reproduction*, v. 52, p. 262-266, 1995.
 - Maia, C. A.; Sousa, P. H. M.; Santos, G. M.; Silva, D. S.; Fernandes, A. G.; Prado, G. M. Efeito do processamento sobre componentes do suco

- de acerola. *Ciência e Tecnologia Alimentos*, Campinas, 27(1): 130-134, 2007.
- McMeen, W. A. M; Magee, T. R. A. Kinetics of ascorbic acid degradation and Nonenzymic browning in potatoes. *Chem E*,v. 75,part C,1997.
 - Mostacero, J., F. Mejía & O. Gamarra. 2002. *Taxonomía de la fanerógamas útiles del Perú*. Vol I y II. Concytec. Trujillo-Perú.
 - Moreno M., Medina C., Anton L., Garcia D., Belen D., 2003. uso de pulpa de tuna (*opuntia boldinghii*) en la elaboración de bebidas cítricas pigmentadas. INCI v.28 n.9 Caracas set.
 - Novoa, S. 2006, Sobre el Origen de la Tuna en el Perú Algunos alcances. Jardín Botánico “Octavio Velarde Núñez”. departamento académico de biología universidad nacional agraria la molina. Lima - Perú
 - Rodríguez, L., U. Pascual & H. Niemeier. 2006. Local identification and valuation of ecosystem goods and services from *Opuntia scrubland* in Ayacucho, Peru. *Ecological Economics*. 57: 30-44.
 - Romeu-Nadal, M.; Castellote, A.I.; Gayà, A.; López-Sabater, M.C. Effect of pasteurization on ascorbic acid, dehydroascorbic acid, tocopherols and fatty acids in pooled mature human milk. *Food Chemistry*, v.107, p.434-438, 2008.
 - Riojas M. 2003. Potencial de las nopaleras silvestres y cultivadas en la conservación de fauna silvestre en los llanos de Ojuelos. *Memorias IX Congreso Nacional, VII Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*, México. 206-208

- Tavares, J.T.Q; Silva,C.L; Carvalho,L.A.; Silva, M.A.; Santos, C.M.G. Estabilidade do Ácido ascórbico em suco de laranja submetido a diferentes tratamentos. *Magistra*, Cruz das Almas-BA, v. 12, n. 1/2, 2000.
- Teixeira neto, r. o.; vitali, a. a.; moura, s. c.s. r. introdução à cinética de reação em alimentos. in: reações de transformação e vida-de-prateleira de alimentos processados. moura, S.C. S. R.; Germer, S. P. M. (ed.) Campinas: ITAL. 3ª ed.p. 63-83, 2004. (Manual Técnico nº6).
- Toralles, R.P.; Vendruscolo, J.L; Vendruscolo, C.T; Del Pino, F.A.B; Antunes, P.L. Determinação das constantes cinéticas de degradação do ácido ascórbico em purê de pêssego: efeito da temperatura e concentração. *Ciênc. Tecnol. Alimentos*, Campinas, v.28(1), p.18-23, 2008.
- Vieira, M.C.; Teixeira, A.A.; Silva, C.L.M. Mathematical modeling of the thermal degradation kinetics of vitamin C in cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) nectar. *Journal of Food Engineering*, v.43, p.1-7, 2000.
- Vikram, V.B.; Ramesh, M.N.; Prapulla, S.G. Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. *Journal of Food Engineering*, v.69, p.31-40, 2005.
- Sáenz, C y Sepúlveda, E. 1993.Alternativas de industrialización de la tuna (*Opuntia ficus indica*). *Alimentos* 18: 29-32.
- Sepúlveda E, Sáenz C, Alvarez M (2000) Physical, Chemical and Sensory Characteristics of Dried Fruit Sheets of Cactus Pear (*Opuntia ficus L. Mill*) and quince (*Cydonia oblonga Mill*). *Ital. J. Food Sci.* 1(12): 47-54

- Sepúlveda, E.; Sáenz, C. 1990: Características químicas y físicas de pulpa de tuna (*Opuntia ficus indica*). *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos* 30 (4): 551 – 555.
- Vilorio-Matos A, Moreno-Alvarez MJ, Hidalgo-Báez D 2001. Isolation and identification of betacyanin in *Opuntia boldinghii* Br. et R. by HPTLC. *Cienc. Tecnol. Aliment.* 3: 140-143.
- Moreno-Alvarez MJ, Torrez V, Belén DR (2003) Degradación cinética de carotenoides obtenidos de frutos de lechosa *Carica papaya*. *Rev. Fac. Agro. (LUZ)* 20: 232-237.
- Moreno-Alvarez MJ, Vilorio-Matos A, Belén D (2002) Degradación de betalaínas en remolacha (*Beta vulgaris* L). Estudio cinético. *Rev. Cient. FCV-LUZ* 12: 133-136.

VII. ANEXOS

ANEXO 1

CONCENTRACIÓN DE ACIDO ASCÓRBICO

Tabla 1: Concentraciones de ácido ascórbico (mg / 100g), en los diferentes tratamientos térmicos para pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad blanca y morada.

Tiempo (min)	Variedad blanca			Variedad Morada		
	Contenido de Ácido Ascórbico (mg/100g)			Contenido de Ácido Ascórbico (mg/100g)		
	75°C	85°C	95°C	75°C	85°C	95°C
0	22.37 ± 1.11	22.34 ± 0.91	22.35 ± 0.71	21.85 ± 1.11	21.94 ± 1.11	21.94 ± 1.11
2	15.98 ± 1.24	13.68 ± 1.27	13.62 ± 1.12	16.48 ± 0.59	14.89 ± 0.95	13.38 ± 0.78
4	15.36 ± 0.95	9.85 ± 1.14	6.50 ± 0.95	14.42 ± 0.85	10.84 ± 0.78	5.8 ± 0.59
6	12.60 ± 1.30	8.13 ± 1.03	6.98 ± 0.86	11.72 ± 1.23	7.69 ± 0.69	6.27 ± 1.02
8	11.32 ± 1.24	6.53 ± 0.95	6.17 ± 0.25	10.77 ± 0.50	6.18 ± 0.58	5.77 ± 1.09
10	11.05 ± 0.87	5.99 ± 1.27	6.38 ± 0.85	10.79 ± 0.89	5.6 ± 0.85	5.68 ± 0.84
12	9.98 ± 0.71	5.76 ± 1.08	5.45 ± 1.24	9.17 ± 1.05	5.07 ± 1.10	4.18 ± 0.79
14	7.93 ± 0.84	5.43 ± 1.14	4.48 ± 1.05	7.17 ± 0.45	4.75 ± 0.25	2.94 ± 0.46

Figura 1: Cinética de degradación del ácido ascórbico en pulpa de tuna (*Opuntia boldingii*) de variedad blanca a 75, 85 y 95 °C.

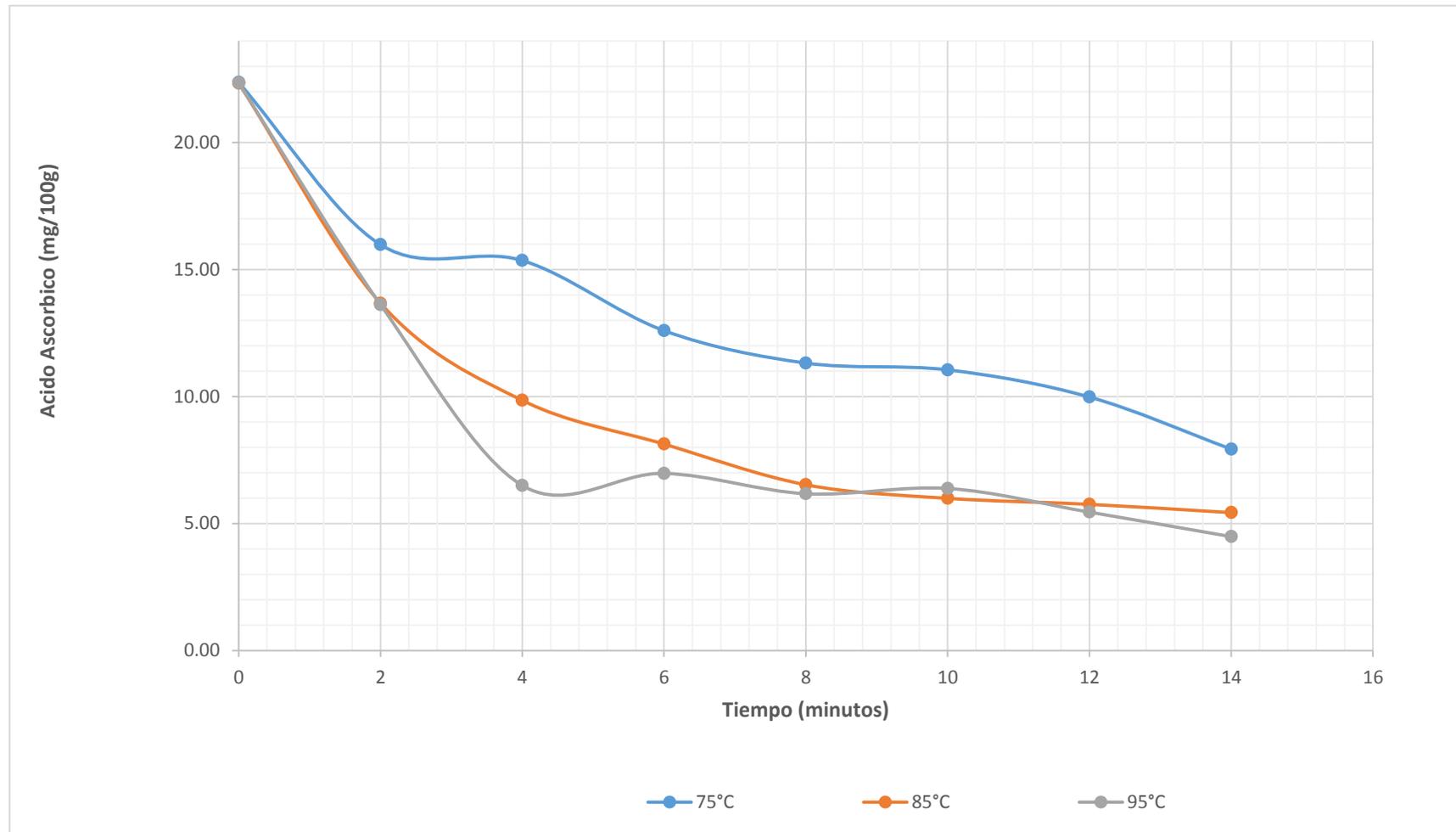
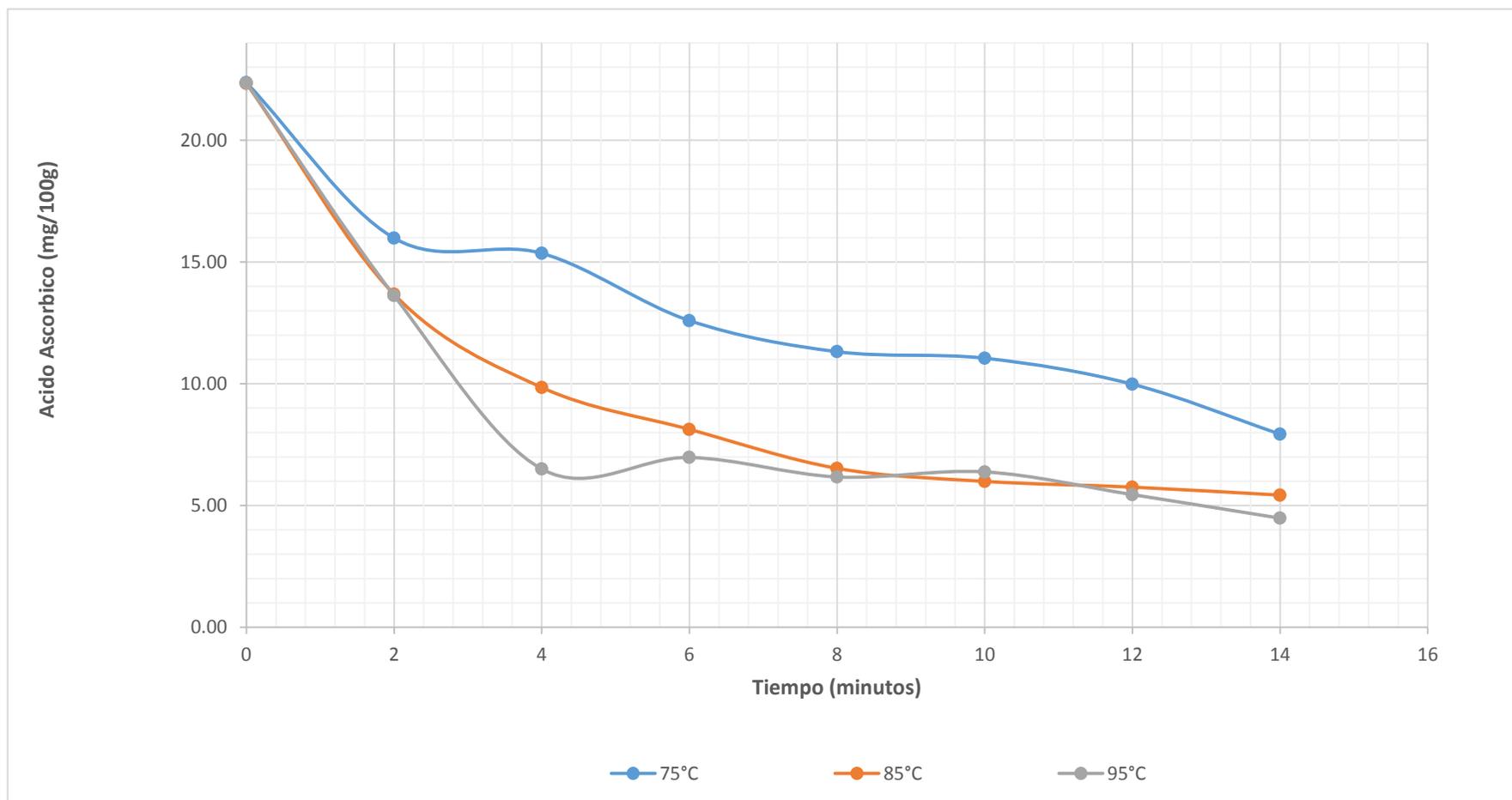


Figura 2: Cinética de degradación del ácido ascórbico en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad morada a 75, 85 y 95 °C.



ANEXO 2

PARÁMETROS DE COLOR

Tabla 2: Resultados obtenidos de los parámetros de color en los diferentes tratamientos térmicos para pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad blanca y morada.

Tiempo (min)	Variedad de tuna Blanca						Variedad de tuna Morada					
	Luminosidad (L*)			Croma (C)			L*			Croma		
	75°C	85°C	95°C	75°C	85°C	95°C	75°C	85°C	95°C	75°C	85°C	95°C
0	86.79±0.01	86.79±0.3	86.79±0.3	22.72±0.3	22.72±0.3	22.72±0.3	35.28±0.7	35.20±0.8	35.20±0.8	66.26±0.9	66.26±0.9	66.26±0.9
2	80.03±0.2	81.89±0.4	81.95±0.9	22.10±0.7	22.06±0.9	21.27±0.3	35.25±0.1	34.51±0.3	33.06±0.9	67.27±0.8	64.27±0.9	60.01±0.1
4	83.04±0.4	77.57±0.6	70.00±0.2	20.90±0.3	21.59±0.5	19.28±0.3	35.10±0.3	34.01±0.2	31.46±0.2	66.50±0.7	62.83±0.7	54.90±0.7
6	79.02±0.8	78.54±0.3	66.32±0.8	21.56±0.6	19.37±0.8	17.03±0.7	34.80±0.8	32.90±0.8	28.86±0.7	65.63±0.5	59.23±0.3	46.51±0.5
8	75.64±0.7	75.93±0.2	63.87±0.8	20.16±0.4	18.84±0.7	13.69±0.2	34.79±0.3	31.78±0.6	27.74±0.6	64.25±0.1	55.02±0.2	43.80±0.5
10	74.91±0.1	70.87±0.2	59.01±0.2	19.94±0.6	16.53±0.5	12.41±0.3	34.46±0.9	30.94±0.6	26.99±0.4	63.58±0.7	52.83±0.1	41.00±0.7
12	73.1±0.7	71.4±0.2	58.14±0.2	19.41±0.6	15.20±0.8	10.93±0.5	33.70±0.2	29.72±0.2	25.12±0.2	61.97±0.2	46.01±0.4	36.36±0.4
14	69.08±0.7	64.9±0.1	51.63±0.1	19.16±0.9	13.48±0.4	9.693±0.5	33.37±0.8	28.21±0.8	22.14±0.4	61.22±0.3	44.64±0.1	32.38±0.5

Figura 3: Cinética de degradación del parámetro de color luminosidad en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad morada a 75, 85 y 95 °C.

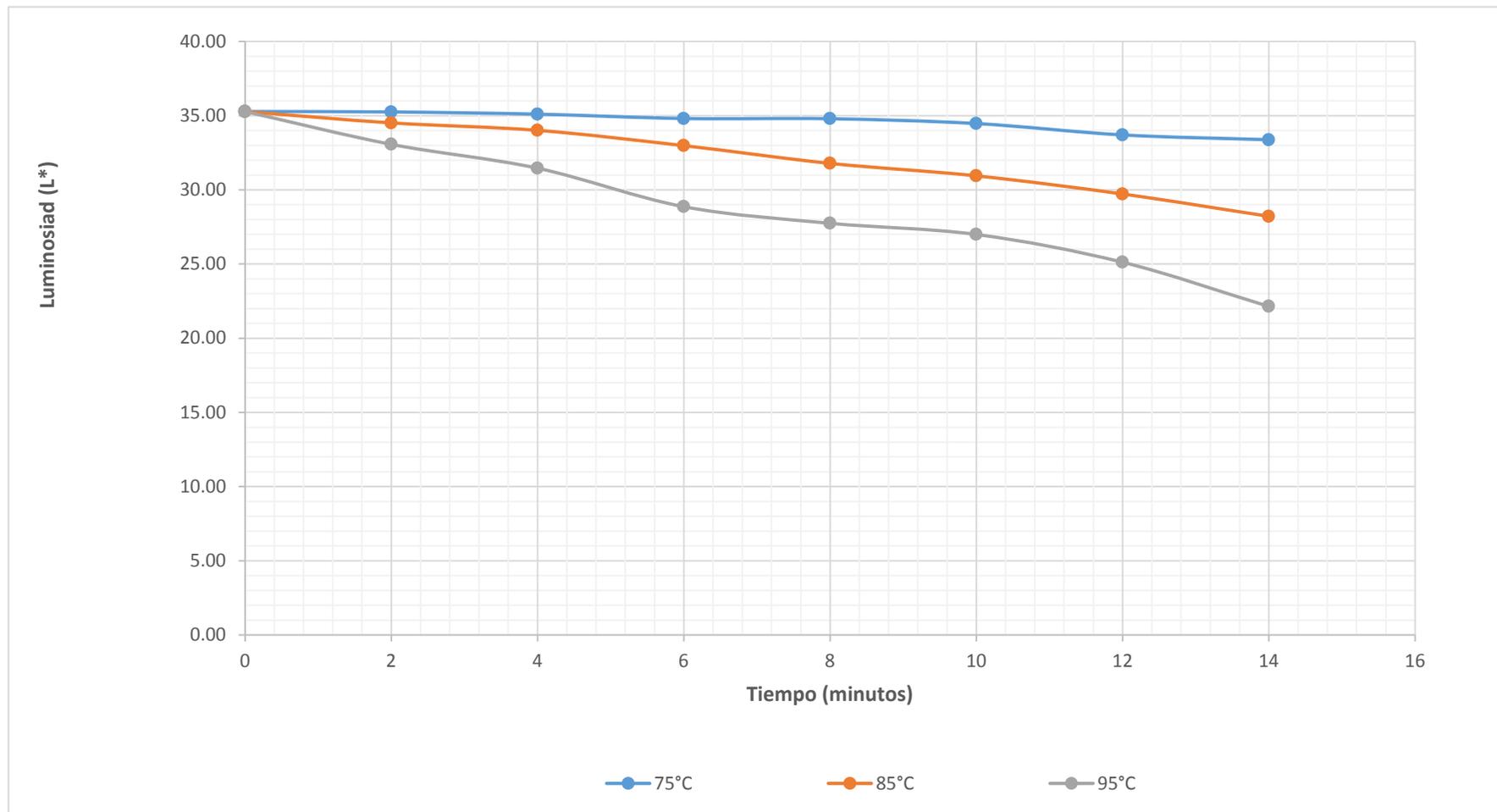


Figura 4: Cinética de degradación del parámetro de color croma en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad morada a 75, 85 y 95 °C.

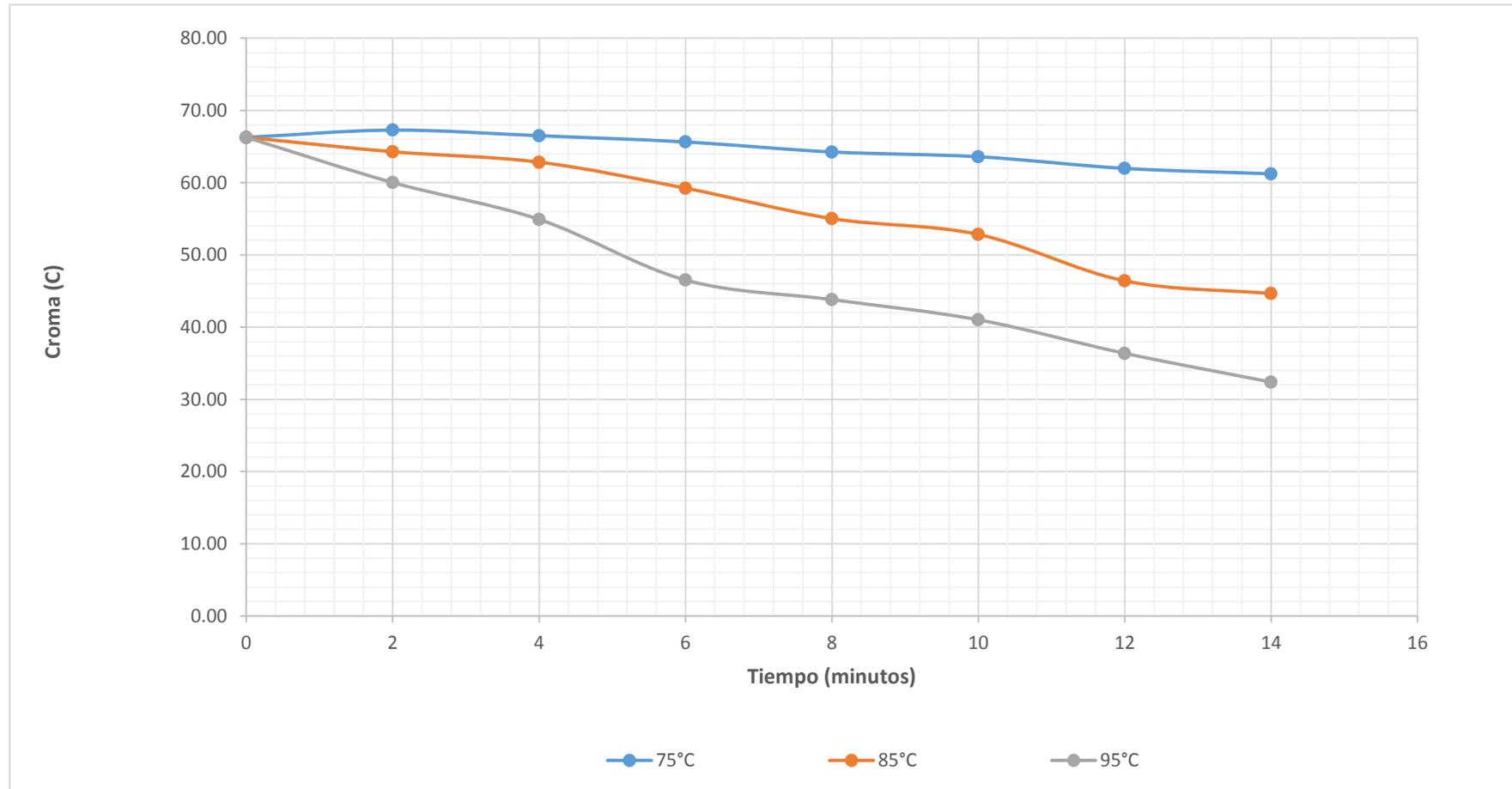


Figura 5: Cinética de degradación del parámetro de color luminosidad en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad blanca a 75, 85 y 95 °C.

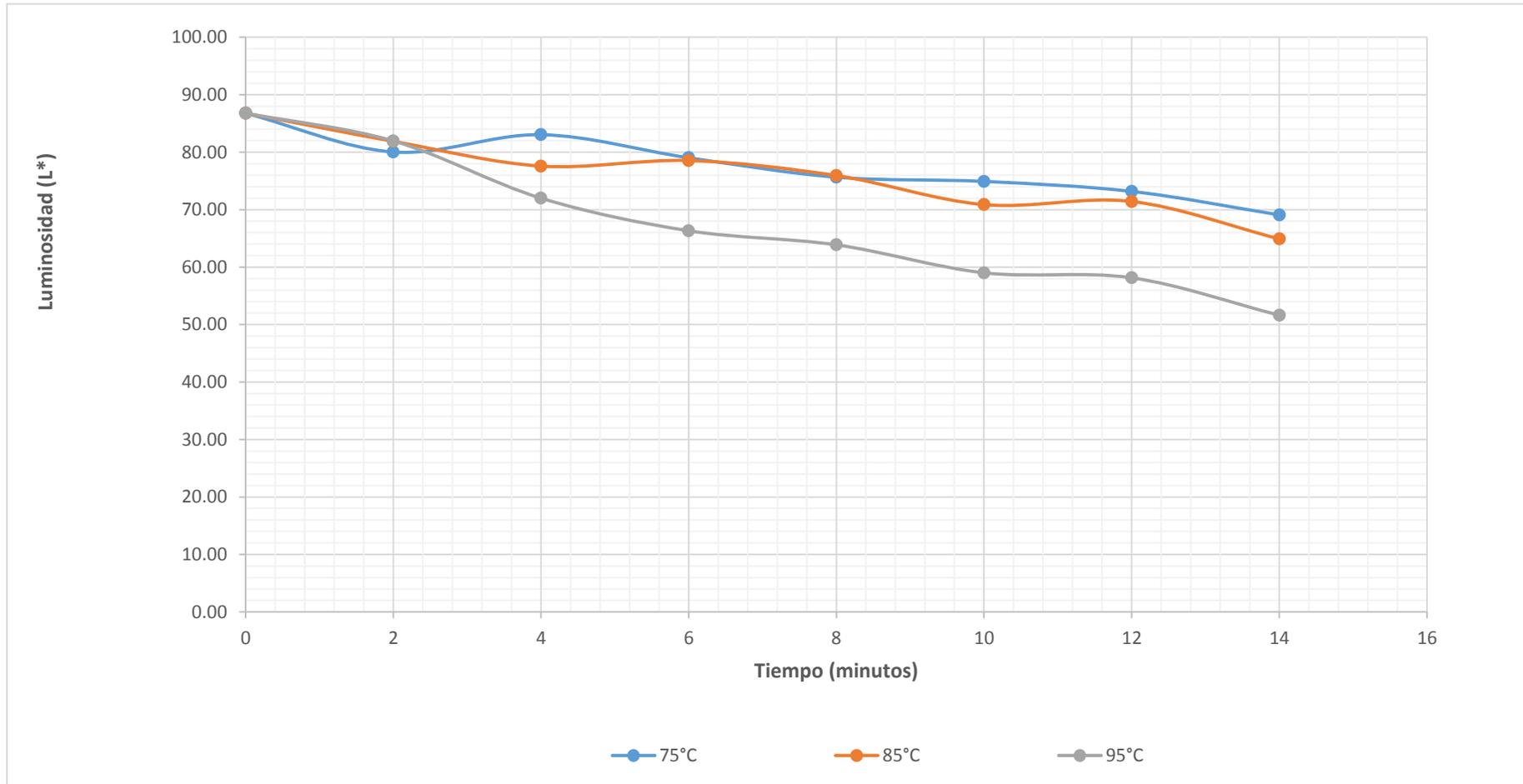
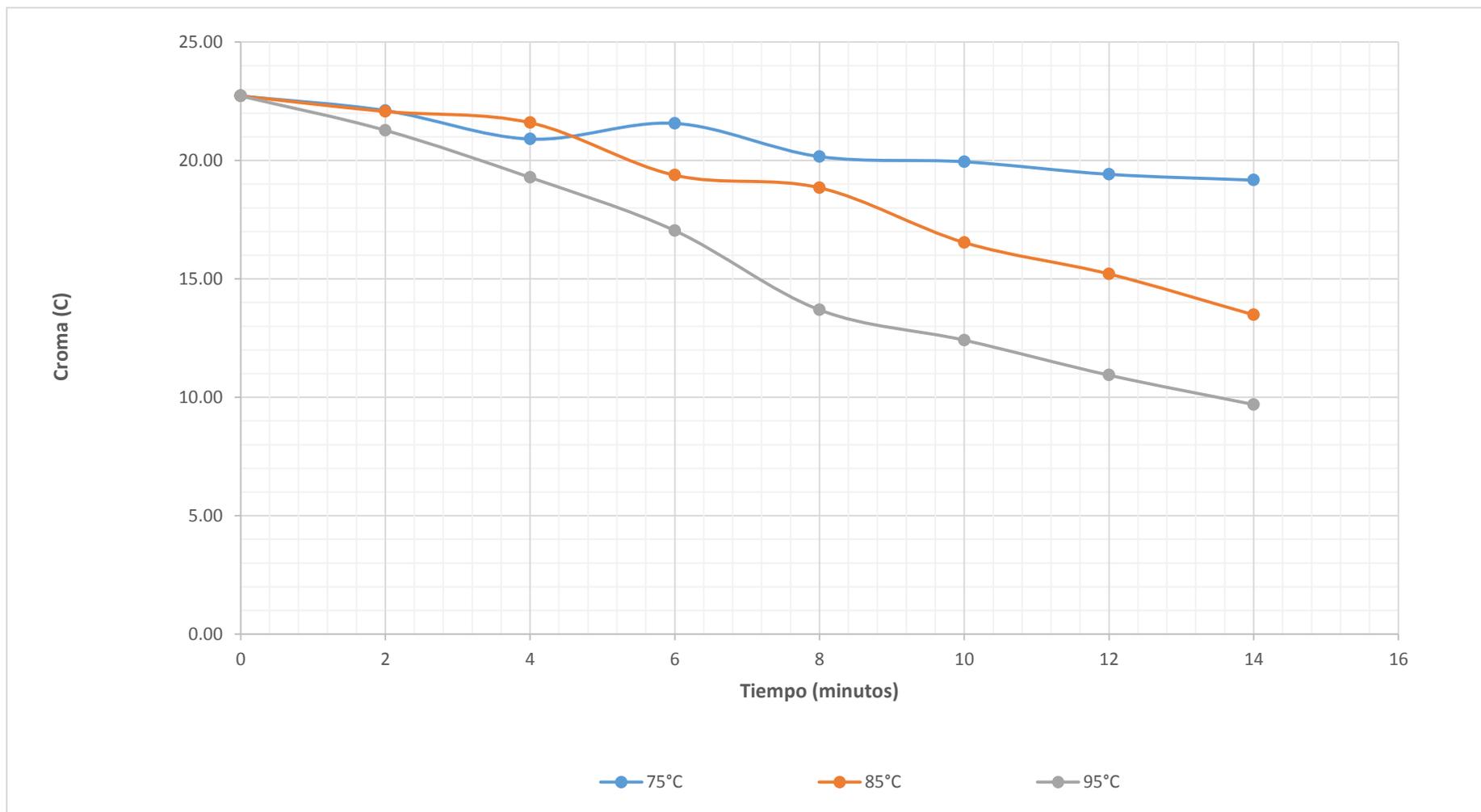


Figura 6: Cinética de degradación del parámetro de color croma en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad blanca a 75, 85 y 95 °C.



ANEXO 3
ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA



Figura 7: tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad Morada



Figura 8: tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad Blanca



Figura 9: tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad Morada y Blanca



Figura 10: lavado y desinfección de la tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad Morada y Blanca



Figura 11: Cortado de tuna (*Opuntia boldingii*)



Figura 12: Pelado y Cortado de tuna (*Opuntia boldingii*)



Figura 13: Tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad Morada



Figura 14: Tuna (*Opuntia boldinghii*) de variedad Blanca



Figura 15: Pulpeado de la tuna (*Opuntia boldinghii*)



Figura 16: Pulpeado de la tuna (*Opuntia boldinghii*)



Figura 17: Obtención de pulpa de la tuna (*Opuntia boldingii*)

ANEXO 4
TRATAMIENTO TÉRMICO DE LA MUESTRA



Figura 18: Tratamiento térmico en baño maría de pulpa de la tuna (*Opuntia boldinghii*)



Figura 19: Tratamiento térmico en baño maría de pulpa de la tuna (*Opuntia boldinghii*)

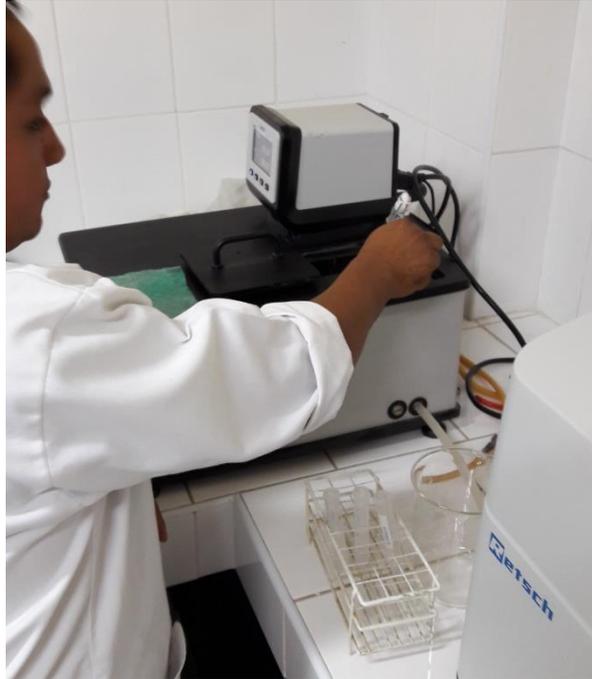


Figura 20: Tratamiento térmico en baño maría de pulpa de la tuna (*Opuntia boldinghii*)

ANEXO 5
DETERMINACIÓN DE COLOR

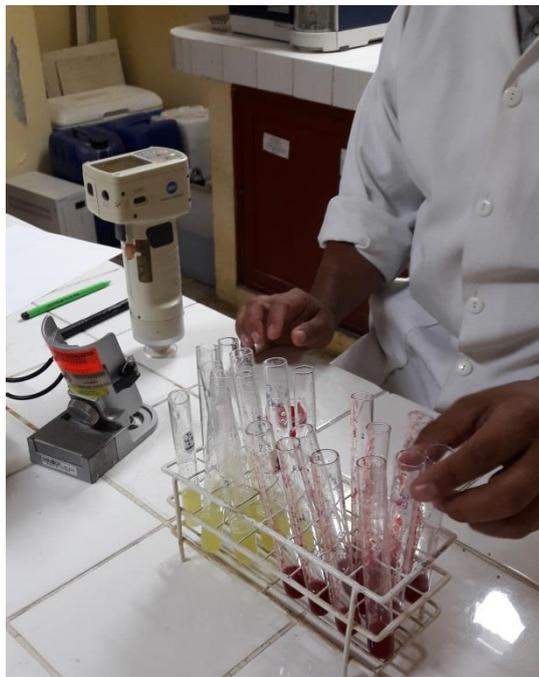


Figura 21: Análisis de color de pulpa de la tuna (*Opuntia boldinghii*)



Figura 22: Análisis de color de pulpa de la tuna (*Opuntia boldinghii*)



Figura 23: Análisis de color de pulpa de la tuna (*Opuntia boldinghii*) variedad Morada.



Figura 24: Análisis de color de pulpa de la tuna (*Opuntia boldinghii*) variedad Blanca.

ANEXO 6
DETERMINACIÓN DE VITAMINA C



Figura 25: Determinación de Vitamina C en la pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*).



Figura 26: Determinación de Vitamina C en la pulpa de la tuna (*Opuntia boldinghii*) – agregando el 2,6 diclorofenol indofenol.



Figura 27: Determinación de Vitamina C en la pulpa de la tuna (*Opuntia boldinghii*) – agregando muestra a la cubeta.



Figura 28: Determinación de Vitamina C en la pulpa de la tuna (*Opuntia boldinghii*) – colocando la cubeta con muestra.



Figura 29: Determinación de Vitamina C en la pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) – Espectrofotómetro UV.

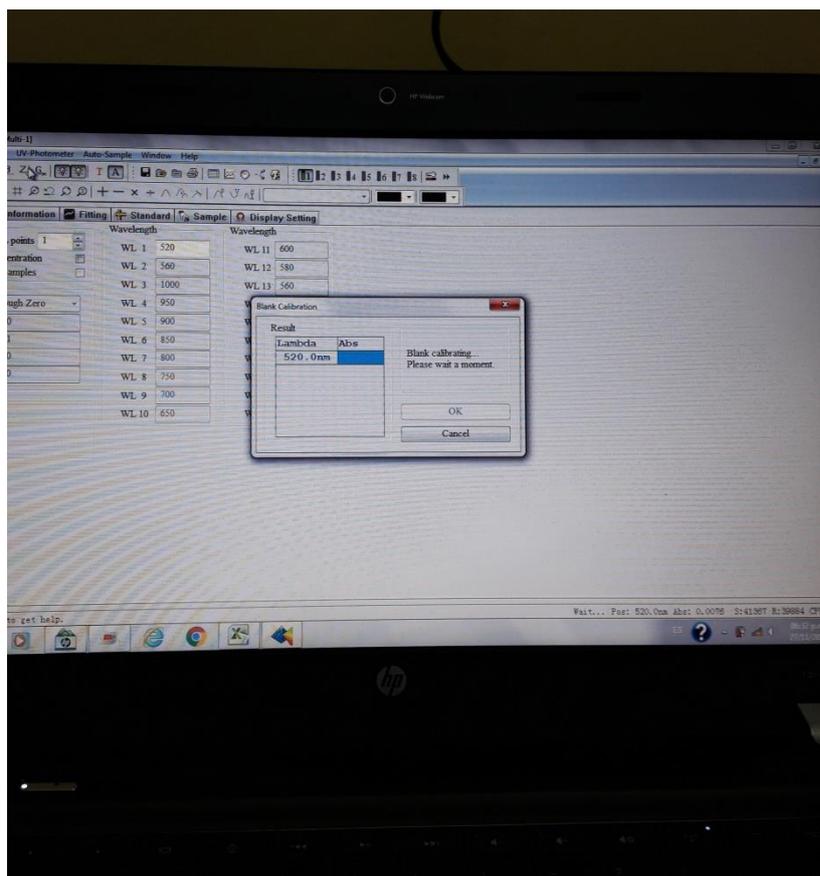


Figura 30: Determinación de Vitamina C en la pulpa de la tuna (*Opuntia boldinghii*) – leyendo en Espectrofotómetro UV.