



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL Y COMERCIO EXTERIOR**

TESIS

**“ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE
VITAMINA C Y COLOR DE PULPA DE PITAHAYA
(*Hylocereus monacanthus*) PASTEURIZADA”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL Y
COMERCIO EXTERIOR**

Autor:

Cabanillas Montenegro, Ever

Asesor:

Ms. Mechato Anastasio Augusto Antonio

Línea de Investigación:

Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente

Pimentel – Perú

2020

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
I. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Marco Teórico.	10
1.1.1. Pitahaya.	10
1.1.2. Tratamiento térmico.	12
1.1.3. Degradación de Vitamina C.	14
1.1.4. Modelo matemático de cinética de degradación.	15
1.1.5. Colorimetría.	16
1.2. Antecedentes.	16
1.3. Justificación.	20
1.4. Objetivo general y específico.	21
II. MATERIALES Y MÉTODOS	22
2.1. Materiales e insumos.	22
2.1.1. Insumos.	22
2.1.2. Materiales.	22
2.2. Equipos.	23
2.3. Métodos de investigación	24
2.3.1. Proceso de Pasteurización de pulpa de pitahaya (<i>Hylocereaus monacanthus</i>)	24
2.3.2. Método de Análisis físico-químicos de la pulpa de pitahaya sin tratamiento térmico.	26
2.3.3. Determinación de la concentración de la vitamina C.	26
2.3.4. Método de determinación de instrumental color.	28
2.3.5. Procedimiento de determinación de parámetros cinéticos.	28
2.3.6. Métodos estadísticos.	31
III. RESULTADOS Y DISCUSIONES	33
3.1. Caracterización fisicoquímica de la pitahaya.	33
3.2. Cinética de degradación de vitamina C.	34
3.3. Análisis experimental de Vitamina C en el programa Statgraphics Centuriorm.	39
3.4. Análisis de varianza de los parámetros de temperatura y tiempo de en la pasteurización de pulpa de pitahaya (<i>Hylocereaus monacanthus</i>) de variedad cáscara roja pulpa roja.	40

3.5. Cinética de degradación de color de pulpa de pitahaya pasteurizada.-----	42
3.6. Análisis experimental de Vitamina C en el programa Statgraphics Centuriorm. -----	46
3.7. Análisis de varianza de los parámetros de temperatura y tiempo de en la pasteurización en el color (Luminosidad) de la pulpa de pitahaya (<i>Hylocereaus monacanthus</i>) de variedad cáscara roja pulpa roja. -----	47
IV. DISCUSIONES -----	50
V. CONCLUSIONES -----	52
VI. RECOMENDACIONES -----	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	53
ANEXOS -----	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Caracterización físico-química de la pulpa de pitahaya (Hylocereaus monacanthus) de variedad cáscara roja pulpa roja</i>	33
Tabla 2: <i>Resultados obtenidos de concentraciones de ácido ascórbico (mg / 100g) en los diferentes tratamientos térmicos para pulpa de pitahaya (Hylocereaus monacanthus) de variedad cáscara roja pulpa roja</i>	34
Tabla 3: <i>Comparación entre los modelos de orden cero y primer orden para describir la cinética de degradación de ácido ascórbico en pulpa de pitahaya (Hylocereaus monacanthus) de variedad cáscara roja pulpa roja</i>	36
Tabla 4: <i>Parámetros cinéticos para la degradación de ácido ascórbico en pulpa de pitahaya (Hylocereaus monacanthus) de variedad cáscara roja pulpa roja</i>	38
Tabla 5: <i>Efectos estimados para la concentración de Vitamina C</i>	39
Tabla 6: <i>Análisis de Varianza para la variable Vitamina C en la pulpa pasteurizada de pitahaya (Hylocereaus monacanthus) bajo el efecto de los tratamientos de Temperatura (A) y Tiempo (B)</i>	40
Tabla 7: <i>Resultados obtenidos de los parámetros de color en los diferentes tratamientos térmicos para pulpa de tuna (Opuntia boldinghii) de variedad blanca y morada</i>	42
Tabla 8: <i>Comparación entre los modelos de orden cero y primer orden para describir la cinética de degradación de los parámetros de color en pulpa de pitahaya (Hylocereaus monacanthus) de variedad cáscara roja pulpa roja</i>	44
Tabla 9: <i>Parámetros cinéticos para la degradación de ácido ascórbico en pulpa de pitahaya (Hylocereaus monacanthus) de variedad cáscara roja pulpa roja</i>	45
Tabla 10: <i>Efectos estimados para en color (Luminosidad) de la pulpa pasteurizada de pitahaya</i>	46
Tabla 11: <i>Análisis de Varianza para la variable Luminosidad en la pulpa pasteurizada de pitahaya (Hylocereaus monacanthus) bajo el efecto de los tratamientos de Temperatura (A) y Tiempo (B)</i>	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de pasteurización para la obtención de la pulpa de pitahaya.-----	25
Figura 2: Esquema experimental para la determinación de los parámetros cinéticos de degradación térmica de vitamina C y color.-----	29
Figura 3: Cinética de degradación del ácido ascórbico en pulpa de pitahaya (<i>Hylocereus monacanthus</i>) de variedad cáscara roja pulpa roja a 75, 80, 85 y 90 °C. -----	35
Figura 4: Grafico de Pareto de los efectos, aquellos efectos que pasan la línea son estadísticamente significativos para la vitamina C. -----	39
Figura 5: Efecto de la temperatura y tiempo en el contenido de vitamina C -----	41
Figura 6: Efecto de la temperatura y tiempo en el contenido de vitamina C -----	42
Figura 7: Cinética de degradación del parámetro de color luminosidad en pitahaya (<i>Hylocereus monacanthus</i>) de variedad cáscara roja pulpa roja a 75, 80, 85 y 95 °C -----	43
Figura 8: Grafico de Pareto de los efectos, donde aquellos efectos que pasan la línea son estadísticamente significativos para el color -----	47
Figura 9: Efecto de la temperatura y tiempo en el color (Luminosidad). -----	49
Figura 10: Efecto de la temperatura y tiempo en el color (Luminosidad). -----	49
Figura 11: Cortado y Pelado de la pitahaya -----	55
Figura 12: Etapa de pulpeado de la pitahaya. -----	55
Figura 13: Muestras de pulpa de pitahaya para el tratamiento térmico a 75°C. -----	56
Figura 14: Obtención de la pulpa de pitahaya.-----	56
Figura 15: Lectura de las absorbancias en las muestras del tratamiento térmico en el espectrofotómetro. -----	56
Figura 16: Medición de la temperatura en el tratamiento térmico a 75°C. -----	56
Figura 17: Lectura de pH en la pitahaya fresca. -----	56
Figura 18: Análisis de los sólidos totales de la pitahaya en fresco.-----	56
Figura 19: Muestras ya analizadas en el espectrofotómetro.-----	56

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivos evaluar la cinética de degradación de vitamina C y Color (Luminosidad) en la pulpa de pitahaya (*Hylocereus monacanthus*) de la variedad de cáscara roja y pulpa roja, a temperaturas de 75, 80, 85, 90° C. La temperatura y tiempo tienen efecto significativo (al 95% de confiabilidad) sobre las variables dependientes, afectando negativamente. Tanto la degradación del ácido ascórbico como la degradación de los parámetros de color (luminosidad) 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, Luminosidad, Cinética de degradación, Primer Orden, Arrhenius

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to evaluate the kinetics of vitamin C degradation and Color (Luminosity) at temperatures of 75, 80, 85, 90 ° C. Temperature and time have a significant effect (95% reliability) on the dependent variables, affecting negatively. Both the degradation of ascorbic acid and the degradation of the color parameters (brightness) were well described by first-order kinetic models and the temperature dependence was satisfactorily represented by the Arrhenius law.

Keywords: Vitamin C, Luminosity, Degradation Kinetics, First Order, Arrhenius

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en la selva peruana hay una gran variedad de cultivos especialmente frutales que no se ha fomentado su transformación a través de la agroindustria, que permita satisfacer los mercados locales, nacionales e internacionales, con productos que deben ser orgánicos. La naranjilla o lulo, la cocona, el sapote, la pitahaya y muchas otras, son frutales de gran interés por las diferentes propiedades nutricionales que tienen y no son aprovechadas industrialmente a pesar de su alto contenido de nutrientes como vitaminas, antioxidantes, minerales, etc.

En los últimos años la pitahaya ocupa un lugar cada vez más importante en el mercado internacional de frutas exóticas y en los mercados nacionales de los países productores como México, Costa Rica, Nicaragua y Perú, ya que consideran a la pitahaya como una especie de fruta nueva y prometedora. (Rodríguez, de Olivera, & Souza, 2011). Esto se debe a que la fruta posee una serie de componentes beneficioso para la salud y características tanto en color y forma que la hacen atractiva.

La pitahaya (*Hylocereaus monacanthus*) es una planta cactácea y fructífera, con frutos de color rosa y de pulpa color rosa, ricos en minerales y vitamina C. La pulpa de la pitahaya se consume fresca, en mermeladas o jugos de sabor agridulce, todo ello elaborado de manera artesanal. Este fruto exótico es uno de los más apetecidos, gracias a su sabor y color peculiar, que lo hace atractivo e interesante en comparación con otros productos. (Legaria, Alvarado, & Gaspar, 2005)

En la alimentación humana el ácido ascórbico o la vitamina C es muy importante, ya que este micronutriente ayuda en el metabolismo de la tirosina, en la producción de colágeno, fijación del hierro, el metabolismo de los hidratos de carbono, en la transformación del ácido fólico a ácido folínico, síntesis de lípidos y proteínas. Así mismo se ha comprobado el papel preventivo de esta vitamina al disminuir las probabilidades de contraer enfermedades pulmonares, cardiovasculares y cánceres no hormonales. La principal fuente de este compuesto bioactivo se

encuentra en frutas y hortalizas, obteniéndose del jugo de naranja 138 mg de este antioxidante por cada cien gramos de jugo, convirtiéndolo en una de los principales medios para su obtención. (Ordoñez, Ospina, & Rodríguez, 2013)

Los estudios acerca de la cinética de degradación de la vitamina C en función de las condiciones de procesamiento permiten elegir procesos alternativos u operaciones más eficientes para minimizar las pérdidas de calidad. Además, proporciona información sobre la degradación a lo largo de la vida útil del alimento. Se ha encontrado que para la mayoría de jugos filtrados o zumos ya se han definido sus modelos cinéticos, siendo muy específicas debido a la naturaleza de la composición del material evaluado, pero no existen muchos estudios para pulpas de frutas cuya composición ya no es la de un líquido si no de una suspensión de mayor viscosidad. Por ser una sustancia que presenta alta inestabilidad, el ácido ascórbico es frecuentemente utilizado como un índice de la calidad global de nutrientes de los alimentos durante el procesamiento y almacenamiento. Además, las pérdidas de ácido ascórbico están relacionadas con las reacciones deteriorantes que resultan en cambios indeseables de color y sabor. (Hiatt, Taylor, & Mauer, 2010)

Para el desarrollo de este proyecto se tiene que investigar, cuál es el modelo cinético al cual se ajusta la degradación térmica de la vitamina C y color del zumo de pitahaya (*Hylocereaus monacanthus*) pasteurizada. Esto debe representar adecuadamente la degradación del producto, y variar de acuerdo con un modelo bien definido para ser fácilmente medible.

1.1. Marco Teórico.

1.1.1. Pitahaya.

Actualmente en la selva peruana hay una gran variedad de cultivos especialmente frutales que no se ha fomentado su transformación a través de la agroindustria, que permita satisfacer los mercados locales, nacionales e internacionales, con productos que deben ser orgánicos. La pitahaya, la cocona, el sapote, y muchas otras, son frutales de gran interés por las diferentes propiedades nutricionales que tienen y no son aprovechadas industrialmente a pesar de su alto contenido de nutrientes como vitaminas, antioxidantes, minerales, etc. Autor año

En los últimos años la pitahaya ocupa un lugar cada vez más importante en el mercado internacional de frutas exóticas y en los mercados nacionales de los países productores como México, Costa Rica, Nicaragua y Perú, ya que consideran a la pitahaya como una especie de fruta nueva y prometedora. (Rodríguez, de Olivera, & Souza, 2011). Esto se debe a que la fruta posee una serie de componentes beneficioso para la salud y características tanto en color y forma que la hacen atractiva.

La pitahaya (*Hylocereus monacanthus*) es una planta que pertenece a la familia *Cactaceae*, subfamilia *Cactoideae*, tribu *Hylocereeae* y género *Hylocereus*., que se ha adaptado a climas tropicales y subtropicales de Sudamérica y Centro América. (Legaria, Alvarado, & Gaspar, 2005) De las cuales se reconocen 31 especies, siendo las más comunes la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*), una fruta con una piel amarilla y pulpa blanca, pitahaya roja, frutas de piel roja con pulpa blanca (*Hylocereus undatus*), con pulpa roja (*Hylocereus monacanthus*). (Le Bellec, Vaillant, & Imbert, 2006).

La fruta pitahaya se puede cosechar entre (25 y 30) días después de la antesis, cuando la cáscara se vuelve completamente roja. Una vez que se alcanza esta etapa, las frutas se pueden almacenar durante 3-4 días a temperatura ambiente y 1-2 semanas a 20 ° C o 14 ° C, respectivamente. Pitahaya no es una fruta climatérica y no se ha observado un pico de producción de etileno o de CO₂; sus características físico-químicas y sus propiedades

sensoriales comienzan a disminuir ligeramente después de la cosecha. Las frutas cosechadas de 1 a 2 días antes de la coloración total de la piel pueden conservarse durante hasta 1 mes a 10 ° C sin que se observe una disminución en la calidad global. La cosecha de frutos de pitahaya entre 5 y 8 días después de la coloración completa reduce ligeramente su vida de almacenamiento, aunque se dice que las propiedades sensoriales de la fruta mejoran, dando un sabor más dulce y un sabor a mora en el caso de la pitahaya roja (*Hylocereus monacanthus*). (Le Bellec, Vaillant, & Imbert, 2006)

La parte comestible de la pitahaya fresca posee proteínas, grasas, fibra, además de la presencia de minerales como el calcio, fósforo y hierro. También posee vitaminas como la Tiamina, riboflavina, niacina y en mayor concentración la vitamina C. (Huachi , y otros, 2015).

En la alimentación humana el ácido ascórbico o la vitamina C es muy importante, ya que este micronutriente ayuda en el metabolismo de la tirosina, en la producción de colágeno, fijación del hierro, el metabolismo de los hidratos de carbono, en la transformación del ácido fólico a ácido folínico, síntesis de lípidos y proteínas. Así mismo se ha comprobado el papel preventivo de esta vitamina al disminuir las probabilidades de contraer enfermedades pulmonares, cardiovasculares y cánceres no hormonales. La principal fuente de este compuesto bioactivo se encuentra en frutas y hortalizas, obteniéndose del jugo de naranja 138 mg de este antioxidante por cada cien gramos de jugo, convirtiéndolo en una de los principales medios para su obtención. (Ordoñez, Ospina, & Rodriguez, 2013)

La pulpa de la pitahaya se consume fresca, en mermeladas o jugos de sabor agridulce, todo ello elaborado de manera artesanal. Este fruto exótico es uno de los más apetecidos, gracias a su sabor y color peculiar, que lo hace atractivo e interesante en comparación con otros productos. Por ello se busca transformar a la pitahaya en pulpa, para generarle valor agregado, aprovechando su gran contenido de vitamina C. En una bebida sin fermentar, sin diluir, sin adición de azúcar, destinada al consumo, obtenida de la fruta madura y sana, o parte del vegetal de origen, por procesamiento tecnológico adecuado, sometida a tratamiento que asegure su presentación y conservación hasta el momento del consumo. (Codex Alimentarius, 2005)

1.1.2. Tratamiento térmico.

El procesamiento térmico ha sido ampliamente aplicado, no sólo por los efectos deseables en la calidad sensorial de productos alimenticios (producción de compuestos aromáticos en productos panificados, por ejemplo), sino principalmente por garantizar la preservación de los alimentos debido a la destrucción de microorganismos e inactivación de los alimentos enzimas que ayudan en la prolongación de la vida útil de los productos. (Barboza & Ibarz, 2003)

El objetivo prioritario de los tratamientos térmicos de productos alimenticios debe ser la garantía de la seguridad alimentaria. Este objetivo puede ser alcanzado a partir de la identificación del microorganismo patógeno o de la enzima más termo-resistente a la temperatura para que se pueda dimensionar el proceso por medio de la definición de tiempos y temperaturas adecuadas para garantizar la letalidad requerida. (Jung & Fryer, 1999)

Varios sistemas para procesamiento continuo o discontinuo están disponibles comercialmente e incluyen intercambiadores de calor de superficie raspada, intercambiadores de calor tubular, intercambiador a placas, sistemas para esterilización por enlatado y sistemas con inyección directa de vapor. (Mabit , Belhamri, Rayolle, & Legrand, 2008)

En los procesos discontinuos, como en el tratamiento de productos enlatados, la seguridad alimentaria está garantizada, pero el tiempo necesario para alcanzar la temperatura deseada en el punto más lento y garantizar la letalidad requerida por medio de la transferencia de calor por conducción y convección es suficiente para promover también el sobre procesamiento del producto. (Jung & Fryer, 1999)

Durante el tratamiento térmico, las características de los productos pueden sufrir cambios debido a cambios en los compuestos bioquímicos como vitaminas, proteínas, carbohidratos y pigmentos, presentes en los alimentos, por lo tanto, para definir las condiciones de operación óptimas, deben tener en cuenta el nivel de letalidad requerida para el proceso para causar el menor impacto en la calidad sensorial y nutricional del producto. (Jung & Fryer, 1999)

1.1.2.1. Pasteurización.

La pasteurización se llama así en homenaje al trabajo de Louis Pasteur (1822 - 1895), un químico-microbiológico francés, que, hacia 1864, desarrolló un método para prevenir la fermentación anormal del vino debido a la destrucción de determinados microorganismos uso de calor. (De Jong, 2008)

Técnicamente, la pasteurización es un tratamiento térmico controlado en el cual el alimento es sometido al calentamiento indirecto, por tiempo determinado, seguido de enfriamiento, para minimizar daños al producto, como pérdidas sensoriales, tecnológicas y nutricionales. Por lo tanto, este proceso busca garantizar la seguridad microbiológica, aumentar la vida de anaquel y, al mismo tiempo, preservar la calidad de los alimentos. (Lewis & Heppell, 2000) Este tipo de proceso hace uso de equipo denominado pasteurizador, que puede ser del tipo a placas o tubular, y se utiliza para varios productos alimenticios, como jugos, leche, cerveza, purés, etc. (Fellows , 2000)

Según Soler, Martin, Fernandes, Mori, & Ferreira (1985), la pasteurización de pulpa de frutas normalmente se realiza en intercambiadores de calor de los tipos tubular o superficie raspada, con temperaturas entre 90-94°C por 45-60 segundos. Los métodos para la fabricación de pulpa también dependen de los procesos de acabado para la conservación del producto, utilizando el llenado en caliente, proceso aséptico, o congelación y sus combinaciones con aditivos químicos.

El tiempo y la temperatura empleados en la pasteurización dependen de la resistencia térmica de los microorganismos y enzimas que se desea inactivar, de la sensibilidad del propio alimento al calor, es decir, de la composición química del alimento, y de la vida de estante que se desea para el producto después de la pasteurización.

1.1.3. Degradación de Vitamina C.

La vitamina C fue aislada en 1928 por el húngaro Albert Szent-Györgyi y sintetizada por primera vez en 1938, cuando pasó a ser reconocida oficialmente como ácido ascórbico, por ser eficaz en la prevención y tratamiento del escorbuto, enfermedad que es responsable de la fragilidad de los vasos y el daño al tejido conectivo. (Tavares, Silva, Carvalho, Silva, & Santos, 2000)

El ácido ascórbico es un compuesto soluble en agua que tiene seis carbonos, estructuralmente relacionado con la glucosa y otras hexosas, siendo reversible oxidado en el organismo en ácido de hidroascórbico. Es sintetizado por vegetales a partir de la glucosa y de la galactosa (Tavares et al., 2000). Sin embargo, los seres humanos, no poseen la enzima L-gulonolactona oxidasa que participa de la biosíntesis de la vitamina C, siendo necesaria su ingesta diaria en la dieta alimenticia.

Los principales factores que pueden afectar la degradación de la vitamina C en jugo de fruta incluyen el tipo de procesamiento, las condiciones de almacenamiento, el tipo de embalaje, la exposición al oxígeno y a la luz, la temperatura, la presencia de catalizadores metálicos, enzimas y el pH.

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 la 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 importante indicador, pues siendo la vitamina más termolábil, su presencia en el alimento indica que, probablemente, los demás nutrientes también están siendo preservados (Alves et al., 2010). Por lo tanto, el ácido ascórbico se considera como indicativo de calidad de los nutrientes durante el procesamiento y el almacenamiento de alimentos.

1.1.4. 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 , Vitali , & Quast, 1996)

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 & Peleg, 2006)

1.1.5. Colorimetría.

Colorimetría es parte de la ciencia de los colores con el propósito de especificar numéricamente el color de un determinado estímulo visual. La colorimetría también se preocupa en especificar pequeñas diferencias de color que un observador puede percibir. (Wyszecki & Stiles, 1982)

La noción de color está fuertemente relacionada con el sistema visual humano. La ciencia de los colores tiene como propósito el estudio de cómo los seres humanos perciben los colores. Sin embargo para que este estudio sea completo, otras áreas deben ser investigadas, tales como física, fuentes de luz, óptica, propiedades reflectantes de la materia, la estructura del ojo, cómo él trabaja y cómo la información es percibida y analizada por el cerebro.

Los estudios actuales de la colorimetría afirman que en condiciones de observación, un estímulo de color puede ser obtenido a través de mezclas aditivas de tres estímulos fijados cuyas energías radiantes deben ser satisfactoriamente ajustadas (Wyszecki & Stiles, 1982) Esto en colorimetría, se llama generalización tri-cromática. Una fuente de energía radiante puede ser caracterizada por su distribución espectral de energía radiante, que en realidad es la suma de las diferentes cantidades de longitud de onda del espectro que forman el estímulo en cuestión.

1.2. Antecedentes.

Los estudios acerca de la cinética de degradación de la vitamina C en función de las condiciones de procesamiento permiten elegir procesos alternativos u operaciones más eficientes para minimizar las pérdidas de calidad. Además, proporciona información sobre la degradación a lo largo de la vida útil del alimento. Se ha encontrado que para la mayoría de jugos filtrados o zumos ya se han definido sus modelos cinéticos, siendo muy específicas debido a la naturaleza de la composición del material evaluado, pero no existen muchos estudios para pulpas de frutas cuya composición ya no es la de un líquido si no de una suspensión de mayor viscosidad. Por ser una sustancia que presenta alta inestabilidad, el ácido ascórbico es

frecuentemente utilizado como un índice de la calidad global de nutrientes de los alimentos durante el procesamiento y almacenamiento. Además, las pérdidas de ácido ascórbico están relacionadas con las reacciones deteriorantes que resultan en cambios indeseables de color y sabor. (Hiatt, Taylor, & Mauer, 2010)

También Lavarda, L. (2011), determino la cinética térmica de degradación de la vitamina C en pulpas de Camú Camú durante el tratamiento térmico vía calentamiento óhmico, en las temperaturas de 60 a 80 ° C, y realizar una comparación con el método de calentamiento convencional. El contenido de vitamina C se determinó utilizando un método titulométrico recomendado por AOAC. La cinética de degradación fue ajustada según el modelo de cinética de primer orden y el modelo empírico de Weibull, que se mostró más adecuado por presentar un mejor coeficiente de determinación. Se concluyó que la vitamina C degrada aproximadamente cuatro veces menos por el método convencional, hecho atribuido principalmente a las reacciones de electrólisis que deben haber ocurrido en el calentamiento óhmico debido al uso de sensores de temperatura con vástago de acero inoxidable. A través de la ecuación de Arrhenius fue posible encontrar la energía de activación referente a la degradación térmica del ácido ascórbico durante el tratamiento térmico vía calentamiento óhmico; para el ajuste con el modelo de cinética de primer orden se encontró una $E_a = 17,95$ kJ.mol⁻¹, mientras que para el modelo de Weibull se obtuvo una $E_a = 84,19$ kJ.mol⁻¹.

Así mismo Moura S, Vitali A, Almeida M, Berbari S, Sigrist J. (2001) estudiaron las pulpas de fresa con y sin azúcar, envasadas asépticamente en sacos de 1 kg (Scholle), fueron almacenadas a temperaturas de 5°C (control), 25°C (ambiente) y 35°C (acelerada), a fin de evaluar la vida de anaquel. La evaluación de la vida de anaquel se basó en lecturas objetivas de color L, a y b Hunter (Minolta Chroma Meter CR-300) y lecturas subjetivas de color (Prueba de Diferencia del Control). Los análisis objetivos se realizaron cada 15 días, durante 142 días y los análisis subjetivos durante 87 días y 75, para las pulpas de fresa sin y con azúcar, respectivamente. Los datos obtenidos muestran que la reacción cinética de degradación del color a la pulpa de fresa sin azúcar se ajusta al modelo cinético de primer orden. La pulpa de fresa sin azúcar se mostró más sensible a cambios en el color, con relación a la temperatura, que la pulpa

de fresa con azúcar. El modelo de Arrhenius se aplicó a las velocidades de reacción (k) en las diferentes temperaturas, proporcionando una energía de activación (Ea) de 8,0 kcal / mol y un valor de Q10 de 1,55, para la pulpa de fresa sin azúcar. Se puede observar una buena correlación entre los resultados objetivos y subjetivos. Los resultados sugieren que, durante su tiempo de vida-de-estante, las pulpas de fresa sin azúcar deben ser almacenadas bajo refrigeración y las pulpas de fresa con azúcar pueden ser almacenadas a temperatura ambiente.

Luego Toralles, R., Vendruscolo, J., Vendruscolo, C., Del Pino, F., & Antunes, P., (2008), estudiaron la cinética de degradación del ácido ascórbico en puré de melocotón de la cultivar Jade, en condiciones anaeróbicas y en el rango de 70 a 90 ° C. Las concentraciones de purés probadas fueron 12, 22 y 32 ° Brix. El análisis cinético de los datos sugiere que la degradación fue significativamente representada por el modelo cinéticos de cero y el modelo cinético de primer orden. La velocidad de degradación del ácido ascórbico fue dependiente de la temperatura. La energía de activación media fue de 45 kJ.mol⁻¹ e independiente de la concentración de sólidos solubles.

Poco después Alves, et al. (2010) evaluaron la degradación de la vitamina C sobre la vida útil de los mangos (*Mangifera indica L.*) mínimamente procesadas y almacenadas a diferentes temperaturas. Los mangos 'Palmer' fueron lavados en agua corriente, sanalizados, descascados, nuevamente sanificados y rebanados manualmente. El producto fue envasado en envase de polietileno con tapa y almacenado a 0°C, 6°C y 12°C (85-90% de humedad relativa). Para el seguimiento de su vida útil, cada 2 días se realizaron los siguientes análisis: valores de luminosidad (L*) y cromacidad (a* y b*), pH, acidez titulable (AT), pérdida de masa, sólidos solubles (SS) y contenido de vitamina C. Los mangos levemente procesados almacenados a 0°C y 6°C presentaron vida útil de 10 días contra 4 días de los mangos almacenados a 12°C. Los datos obtenidos a través de la regresión lineal con los valores del logaritmo neperiano del contenido de ácido ascórbico por el tiempo de almacenamiento (días) muestran que la reacción de degradación de la vitamina C se encaja con el modelo cinético de 1ª orden. El modelo de Arrhenius se aplicó a las velocidades de reacción (k) en las diferentes temperaturas estableciendo energía de activación (Ea) de 34,32 kcal mol⁻¹. La degradación de la vitamina C

fue más lenta ($t_{1/2} = 63,6$ días, y $k = 0,0109$ días⁻¹) a 0°C, lo que proporcionó una mayor retención de sus contenidos (89%) durante 10 días de almacenamiento. Las frutas almacenadas a 12°C presentaron mayor velocidad de degradación ($k = 0,1729$ días⁻¹) y, consecuentemente, $t_{1/2}$ inferior a las demás temperaturas (sólo 4 días).

Así mismo Ordoñez, L., Ospina, M., Rodriguez, D. (2013). Evaluaron la cinética de degradación térmica de la vitamina C en rodajas de guayaba de x 6,10 cm diámetro x 0,53 cm de grosor en una marmita enchaquetada con tratamientos térmicos (75 - 95 °C en 10, 20, 30 y 40 minutos) a presión atmosférica. Donde las concentraciones de vitamina C se determinaron por el método del 2,6- diclo-rofenol-indofenol. Como resultado de los tratamientos térmicos en los frutos de guayaba la concentración de la vitamina C descendió entre 56,70-60 %, y su energía de activación fue $E_a = 7,57$ Kcal/mol y su velocidad de degradación fue $k = 0,80-1,45$ min⁻¹ ($R^2 > 0,90$).

Más adelante Sánchez, W., Cortez, J., Solano, M., Vidaurre, J., (2015). Evaluaron la cinética de degradación de la betaxantinas, vitamina C y betacianinas a 30 °C, 40 °C y 50 °C de una bebida hecha de beterraga y miel de abeja, empleando modelos cinéticos de orden cero, primer y segundo orden y también el modelo Arrhenius. Determinaron que la degradación de betaxantinas, vitamina C y betacianinas, en las tres temperaturas experimentadas siguieron una cinética de primer orden con una alta correlación ($R^2 = 0,974; 0,98; 0,979$). Especificaron que la vitamina C y las betacianinas mostraron una sensibilidad parecida a la temperatura; por otro lado las betaxantinas fueron más estables. En conclusión, respecto al efecto de la temperatura en la velocidad de degradación encontraron los valores Q_{10} de la reacción y la energía de activación, estos corroboran que las betaxantinas son más estables que la vitamina C y las betacianinas en la bebida de remolacha y miel de abeja.

Después Mobiglia R., Guilherme L. (2016) evaluaron la estabilidad de la vitamina C exógena añadida al jugo de manzana. El jugo se obtuvo por medio de un multiprocesador y se añadió en botellas de 355mL, donde se produjo la pasteurización a 80°C durante 10 minutos. Durante 28 días se determinó el contenido de vitamina C por volumetría de oxirreducción, acidez titulable, los sólidos solubles totales, pH y la coloración por medio de la absorbancia en

espectrofotómetro en longitudes de onda de 420,520 y 620 nm. Se calculó la media vida ($t_{1/2}$) para una cinética de 1ª orden y cinética de orden cero. La degradación de la vitamina C fue independiente de su concentración, obedeciendo una cinética de cero orden y hubo alteración en la coloración del jugo debido a la reducción de la absorción molecular en la región del rojo (620 nm).

Posteriormente Orosco, F., (2017). Determinó el impacto de la temperatura en la cinética de degradación del ácido ascórbico de la pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*). Utilizando como método el método 2.6 Diclorofenol indofenol para la determinación de ácido ascórbico y empleó método de los mínimos cuadrados para determinar los parámetros cinéticos. Las muestras por mitades de pulpa de tomate de árbol se escaldaron en un rango de 60°C y 80 °C y por un lapso de 10 minutos. Con la investigación se concluye que la concentración de ácido ascórbico en la pulpa de tomate de árbol disminuye con las temperaturas de estudio, la degradación del ácido ascórbico se adecua a una cinética de primer orden en todos los tratamientos ($k = 0.0165 \pm 0.0008 - 0.0825 \pm 0.003 \text{ min}^{-1} > 0,90$) y la energía de activación E_a fue de 21.434 Kcal/mol. y a la ecuación de Arrhenius.

1.3. Justificación.

La investigación en el área de la Ingeniería agroindustrial viene condicionada por las necesidades del consumidor. En las últimas tres décadas se ha demostrado un mayor interés y preocupación por la calidad de los alimentos procesados, es por ello que se busca darle valor agregado a la pitahaya (*Hylocereus monacanthus*), estudiando la cinética de degradación para determinar la disminución de la calidad durante su procesamiento, con la finalidad de disminuir los cambios no deseados y optimizar la calidad del producto procesado térmicamente.

La investigación tiene como justificación generar valor agregado a la pitahaya (*Hylocereaus monacanthus*) estudiando la cinética de degradación para determinar la disminución de la calidad durante su procesamiento, con la finalidad de disminuir los cambios no deseados y optimizar la calidad del producto procesado térmicamente. De esta manera la pitahaya, un fruto orgánico y con alto contenido de nutrientes como vitaminas, antioxidantes, minerales; y que se encuentra en los climas tropicales del Perú, reúne todas las características para darle un valor agregado y que permite satisfacer los mercados locales, nacionales e internacionales, generando un desarrollo tecnológico para la zona.

1.4. Objetivo general y específico.

Determinar el modelo matemático que permita minimizar la degradación de vitamina C y color de la pulpa de pitahaya (*Hylocereaus monacanthus*) pasteurizada.

Objetivos Específicos:

- a) Caracterizar fisicoquímicamente la pulpa de pitahaya (*Hylocereaus monacanthus*)
- b) Determinar el tiempo y temperatura de pasteurización óptima que permitan obtener una pulpa de pitahaya (*Hylocereaus monacanthus*) pasteurizada que permita minimizar las pérdidas de vitamina C y color.
- c) Determinar el modelo matemático que permita precedir la cinética de degradación de vitamina C de la pulpa pasteurizada de pitahaya (*Hylocereaus monacanthus*)

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales e insumos.

2.1.1. Insumos.

- Pitahaya: 10 kilogramos de fruta madura después de la antesis, es decir con la cáscara roja y la pulpa roja. Los frutos fueron de un tamaño mediano, con escamas foliadas de color verde. Procedente de la provincia de Rodríguez de Mendoza.
- 2-6 Dicloroindofenol, marca SIGMA ALDRICH (1 Lt).
- Ácido ascórbico marca SIGMA ALDRICH: 3 mg.
- Ácido Oxálico: 10 gr.
- Agua destilada: 4 Lt.

2.1.2. Materiales.

- Fiolas de vidrio marca Kyntel (500ml): 2 unidades
- Fiolas de vidrio marca Kyntel (100 ml): 6 unidades.
- Pipetas de vidrio marca Marienfeld con tolerancia $\pm 0,1ml$, clase B (10 ml): 5 unidades
- Pipetas de vidrio marca Marienfeld con tolerancia $\pm 0.015 ml$, clase AS (5 ml): 2 unidades.
- Pipetas de 1ml de vidrio marca Marienfeld con tolerancia $\pm 0.008ml$, clase AS (1ml): 3 unidades.
- Bombillas de succión de plástico marca Vitlab Maneus : 3 unidades
- Tubos de ensayo de vidrio marca Pyrex de 15 ml: 96 unidades.
- Tapas para tubo de ensayo de plástico: 96 unidades.

- Gradillas para tubos de ensayo de alambre con revestimiento de nylon: 3 unidades (4x12)
- Cucharita con espátula de metal: 3 unidades.
- Pinza de madera para tubo de ensayo: 3 unidades.
- Cuchara de acero inoxidable: 3 unidades.
- Bolt de acero inoxidable 5 Lt.: 1 unidad
- Cuchillos de acero inoxidable: 2 unidades.
- Cubetas descartables de poliestireno para espectrofotómetro marca ISOLAB: 100 unidades.
- Tabla de plástico para picar: 1 unidad.
- Vaso de precipitación de vidrio marca Kyntel (500ml): 2 unidades.
- Vaso de precipitación de vidrio marca Kyntel (250 ml): 4 unidades.

2.2. Equipos.

- a)** Licuadora marca Oster de 1 Lt.
- b)** Brixómetro
- c)** Medidor de pH. Digital
- d)** Sensor de temperatura de vidrio con punta mercurio marca BOECO (100 °C)
- e)** Baño María eléctrico marca SUMSUNG.
- f)** Estufa
- g)** Bortex
- h)** Balanza Analítica digital marca A&D COMPANY, con capacidad máxima de 220 gr.
- i)** Espectrofotómetro marca UNICO, modelo UV2100PU, con un rango de longitud de 200- 1000 nm, con una alimentación eléctrica de 110V/50Hz ó 220V/60Hz de cambio manual, de cuatro cubetas y un ancho espectral de 5nm.
- j)** Colorímetro.

2.3. Métodos de investigación

2.3.1. Proceso de Pasteurización de pulpa de pitahaya (*Hylocereaus monacanthus*)

- Recepción/Pesaje: La fruta fue recepcionada y pesada, para realizar los balances de materia respectivos.
- Selección: Esta etapa se realizó en una mesa de acero, donde serán seleccionados los frutos sanos, evitando el uso de los frutos excesivamente verdes y estropeados.
- Lavado y Sanitización: El proceso se llevó a cabo en dos etapas: la primera fue hecha a través de un rociado directo de chorros de agua, para retirar el exceso de suciedad. La segunda etapa fue realizada a través de la inmersión de los frutos en baldes, con agua clorada a 10 ppm por 5 minutos.
- Despulpado: Se realizó un cortado y pelado para la eliminación de la cascara. Luego se procederá a licuar y refinar en una malla. Se evaluará las propiedades fisicoquímicas, contenido de vitamina y color de la pulpa.
- Envasado: Luego de obtener la pulpa de pitahaya, se envasó 15 gramos en cada uno de los tubos de ensayo y se taparon.
- Pasteurización: Se llevó a cabo en un baño maría, para lo cual se regulara la temperatura en las condiciones propuestas según el diseño experimental, una vez alcanzada la temperatura se colocar el zumo en un vaso precipitado con agitación manual, se registrara la temperatura y una vez que la pulpa alcance la temperatura deseada se controlara el tiempo según diseño experimental. Una vez concluido el proceso de pasteurización, el zumo se enfriara rápidamente en un baño con agua y hielo. La pulpa pasteurizada fue análisis de las propiedades fisicoquímicas, contenido de vitamina y color finales.
- Enfriado. Luego que se pasteurizó la pulpa de pitahaya se enfrió rápidamente a 10°C, para luego ser analizada.

Diagrama de Flujo para la pulpa de pitahaya

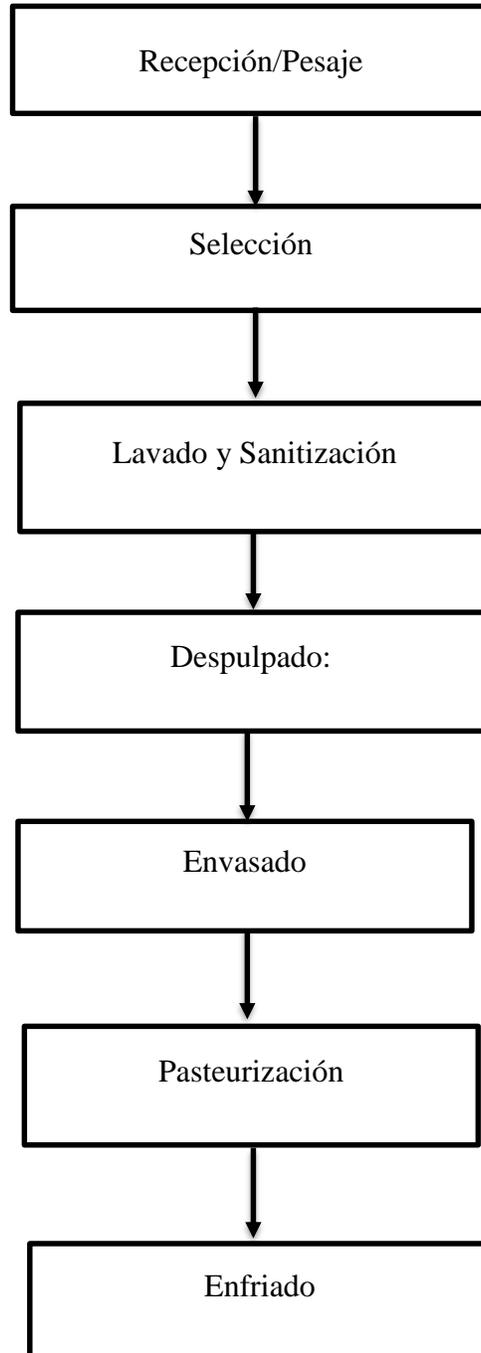


Figura 1: Proceso de pasteurización para la obtención de la pulpa de pitahaya.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2. Método de Análisis físico-químicos de la pulpa de pitahaya sin tratamiento térmico.

Los análisis físicos químicos se realizaron por triplicado, según las referencias:

- pH: Medido en un pHmetro.
- Acidez Titulable expresada como % de ácido cítrico: Realizada según el método de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC), conducida en pHmetro hasta alcanzar pH 8,2 referente al pH de cambio de coloración del indicador fenolftaleína. (AOAC, 1995)
- Sólidos solubles (°Brix): Medido en refractómetro, con correcciones de acidez y temperatura. (Kimball, 1991).

2.3.3. Determinación de la concentración de la vitamina C.

Para calcular la concentración de vitamina C existente en las muestras se realizara según el método oficial de la AOAC 967,21 - Método espectrofotometrico 2,6-dicloroindofenol (2-6 DFIF) para la determinación de ácido ascórbico en jugos y preparados vitamínicos (AOAC, 1995). El método utiliza una solución de ácido oxálico para la extracción del ácido ascórbico de la muestra.

Reactivos:

- Preparar una solución de ácido oxálico al 0.4 % pesar 4gr. De este ácido y llevar a volumen de 1000 ml. Empelando agua destilada.
- Soluciones estándar (madre) de ácido ascórbico: Elaborar una solución de 0.1 % de ácido ascórbico en una solución ácida de 0.4 % de ácido oxálico. Pesar 100 mg. de ácido ascórbico y trasladar a volumen de 100 ml. Empleando una solución de ácido Oxálico al 0.4 %.
- Estándares de trabajo (ET): Tomar 1, 2, 3, 4 y 5 ml. de la solución madre de ácido ascórbico y trasladar a volumen de 100 ml. Usando una solución de ácido oxálico al 0.4 %. Esta solución numeradas del 1 al 5 contendrán 1, 2, 3, 4 y 5 mg. de ácido ascórbico por 100 ml. respectivamente.

- Solución coloreada (Colorantes): pesar 12 mg. de 2 – 6 DFIF disolver y llevar a 1000 ml. de volumen con agua destilada. Utilizar agua destilada hirviente. Almacenar en botella de color oscura y en refrigeración.

Preparación de la Curva Estándar:

- Tomar 4 tubos de ensayo y enumerarlas de I al IV y agregar lo siguiente:
 - 10 ml. de agua destilada
 - 1 ml. de ácido oxálico al 0.4%
 - 1 ml. de estándar de trabajo (ET) N° 1 + 9 ml. de agua
 - 1 ml. del estándar de trabajo (ET) N° 1
- Ajustar a cero la Absorbancia usando I y el filtro seleccionado.
- Al tubo II añadir 9 ml. del colorante e inmediatamente después de 15 segundos, leer la absorbancia.
- Ajustar a cero la absorbancia usando la solución del tubo III
- Al tubo IV añadir 9 ml. del colorante y exactamente después de 15 segundos, leer la absorbancia (L2).
- Repetir el paso 3
- Para cada estándar de trabajo (ET) y registrar los correspondientes valores de L1 y 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.

- 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.
- Establecer L1 como se describió anteriormente (paso 3)
- En el tubo III poner 1 ml. de filtrado (muestra) mas 9 ml de agua ajustar al cero la absorbancia.

- Luego en el tubo IV poner 1 ml. de filtrado (muestra) mas 9 ml de colorante y anotar la absorbancia L2 pasado 15 segundos.
- Calcular (L1 - L2) y hallar la concentración de ácido ascórbico a partir de la curva estándar.

2.3.4. Método de determinación de instrumental color.

El color se determinó a través del uso cubetas con dimensiones estandarizadas, con un colorímetro y los resultados se denotarán de acuerdo con el sistema CIELAB (observador 10° e iluminador D65). Se obtendrán los valores de las coordenadas de b* (que indica el color amarillo/azul), a* (que indican la cantidad de color rojo/verde) y L* (que simboliza la luminosidad y puede tomar valores entre 0 y 100). Luego, a partir de los valores de L*, a*, b*, se calculara el tono (h*) (Ec. 1), el croma (C*) (Ec. 2), la diferencia de color (ΔE*) (Ec. 3) entre las muestras elaboradas de los diferentes tratamientos y la muestra sin tratamiento correspondiente en cada caso.

$$h^* = \arctan \frac{b^*}{a^*} \dots\dots\dots (1)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \dots\dots (2)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} + \Delta L^{*2}} \dots\dots(3)$$

2.3.5. 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.

Esquema de parámetros cinéticos para la investigación

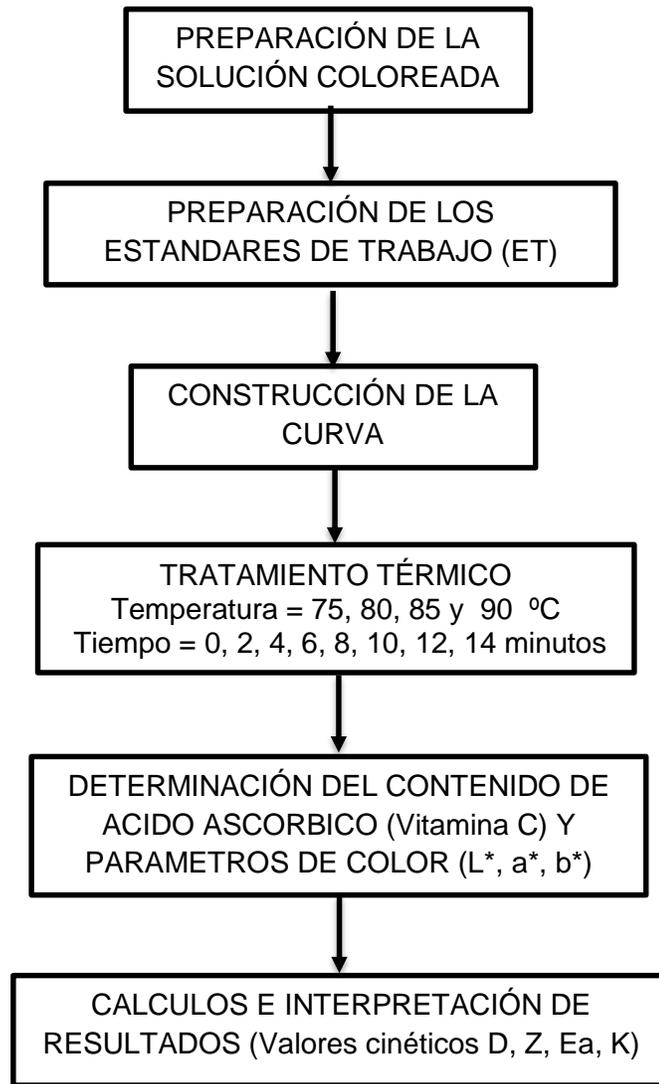


Figura 2: Esquema experimental para la determinación de los parámetros cinéticos de degradación térmica de vitamina C y color.

Fuente: Elaboración propia

Cada una de las formulaciones se realizara por triplicado. La cinética de degradación térmica de la vitamina C en zumo de naranjilla, se calculara con las ecuaciones 1-6, detalladas a continuación por (Toledo, 1991):

$$[A] = [A_0] \pm k \cdot t \quad (1)$$

$$[A] = [A_0] \pm e^{\pm kt} \quad (2)$$

$$k = k_0 \exp^{-E_a/RT} \quad (3)$$

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

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

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

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

En el cual la ecuación 1 y 2 son los modelos cinéticos de orden cero y primer orden, donde; $[A_0]$ es la concentración inicial del atributo medido y $[A]$ la concentración del atributo medido a un tiempo t , y k es una velocidad constante de reacción expresada en min^{-1} ; t = tiempo en minutos. En la ecuación 3, k es la constante de velocidad de reacción, k_0 es el factor pre- exponencial, E_a = energía de activación en kcal/mol ; R es la constante universal de los gases ($1,987 \text{ cal/Kmol}$) y; T = temperatura absoluta en grados kelvin (K); En la ecuación 4, 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 graficará 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 obtendrán las constantes de velocidad de degradación a partir de un ajuste de los datos aplicando la ecuación 1 y 2, el ajuste que presente mayor R² es el modelo que mejor predecirá nuestros resultados. A partir de las constantes de velocidad de degradación se calcularán los parámetros D, empleando la ecuación 4.

Se realizó para las diferentes temperaturas estimadas. Con los valores de los parámetros D (log D) y la relación con la temperatura se calcularán los valores z para la degradación de ácido ascórbico y cambios en color.

Para la obtención de las energías de activación (E_a) se calcularán 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.

2.3.6. Métodos estadísticos.

Se aplicó un experimento factorial de 4A x 8B en Diseño Bloque Completo al Azar (DBCA) con 3 repeticiones, donde el modelo estadístico fue:

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

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

Donde:

y_{ij} = Variable respuesta

μ = Media general

A_i = Efecto del factor Temperatura: 75, 80, 85 y 90 °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

Se aplicó 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.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Caracterización fisicoquímica de la pitahaya.

Los estudios cinéticos de degradación de vitamina C y color fueron conducidos a partir de la pulpa de pitahaya (*Hylocereaus monacanthus*) de variedad cáscara roja pulpa roja, producida en la cosecha de 2018, con las características descritas en la Tabla 1.

Tabla 1:

*Caracterización físico-química de la pulpa de pitahaya (*Hylocereaus monacanthus*) de variedad cáscara roja pulpa roja.*

Propiedad	Variedad cáscara roja pulpa roja
Sólidos Solubles	12 ± 0.25
pH	5.067 ± 0.15
Acidez titulable (g de ácido cítrico/100g de pulpa)	8.71 ± 0.24
Vitamina C (mg/100g)	4.185 ± 0.104

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Cinética de degradación de vitamina C.

Los datos obtenidos de la degradación de ácido ascórbico en las cuatro 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 2 y la Figura 3.

Tabla 2:

Resultados obtenidos de concentraciones de ácido ascórbico (mg / 100g) en los diferentes tratamientos térmicos para pulpa de pitahaya (*Hylocereaus monacanthus*) de variedad cáscara roja pulpa roja.

Tiempo (min)	Contenido de Ácido Ascórbico (mg/100g)			
	75°C	80°C	85°C	90°C
0	4.088 ± 0.176	4.273 ± 0.063	4.206 ± 0.088	4.172 ± 0.088
2	3.156 ± 0.050	3.496 ± 0.063	3.727 ± 0.081	3.408 ± 0.076
4	2.938 ± 0.038	2.879 ± 0.140	2.594 ± 0.052	2.426 ± 0.050
6	2.854 ± 0.025	2.417 ± 0.077	2.191 ± 0.077	1.922 ± 0.091
8	2.678 ± 0.050	2.207 ± 0.077	1.939 ± 0.038	1.460 ± 0.052
10	2.409 ± 0.119	1.989 ± 0.077	1.746 ± 0.067	1.183 ± 0.105
12	2.199 ± 0.050	1.779 ± 0.038	1.485 ± 0.038	0.662 ± 0.091
14	1.527 ± 0.077	1.149 ± 0.077	0.906 ± 0.101	0.411 ± 0.101

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico del comportamiento de ácido ascórbico vs la temperatura para pulpa de pitahaya (*Hylocereaus monacanthus*) de variedad cáscara roja pulpa roja.

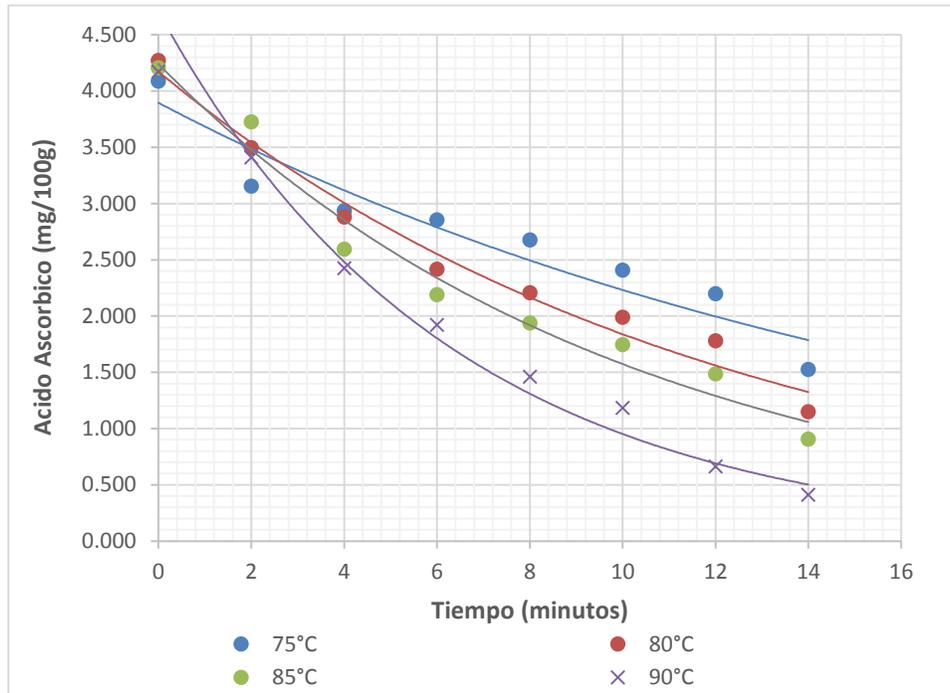


Figura 3: Cinética de degradación del ácido ascórbico en pulpa de pitahaya (*Hylocereaus monacanthus*) de variedad cáscara roja pulpa roja a 75, 80, 85 y 90 °C.

Fuente: Elaboración propia.

La concentración de ácido ascórbico en las muestras de pulpa pitahaya (*Hylocereaus monacanthus*) disminuyó con el aumento del tiempo de calentamiento en las cuatro temperaturas (75, 80, 85, y 95 °C). Se ha degradado más del 50% del ácido ascórbico inicialmente medido en las condiciones estudiadas (62.64% a 75 °C, 73.10% a 80 °C, 78.46% a 85°C y 87.74% a 90 °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 Texteira, Vitali, & Moura, (2004) 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 3.

Tabla 3:

Comparación entre los modelos de orden cero y primer orden para describir la cinética de degradación de ácido ascórbico en pulpa de pitahaya (Hylocereus monacanthus) de variedad cáscara roja pulpa roja.

Parámetros	Cinética orden cero				Cinética de primer orden			
	75°C	80°C	85°C	90°C	75°C	80°C	85°C	90°C
k	-0.1457	-0.1984	-0.2209	-0.2634	-0.0557	-0.0820	-0.0991	-0.1598
C₀	3.7509	3.9125	3.8950	3.7992	3.8956	4.1728	4.2405	4.7046
R²	0.9098	0.9484	0.9320	0.8990	0.8955	0.9581	0.9576	0.8976

Fuente: Elaboración propia.

Tanto la evaluación visual del gráfico de la Figura 3 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 pitahaya.

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".

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 cuatro temperaturas, 75, 80, 85 y 95°C. En la Figura 3 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 ($R^2 = 0,95$). 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 4.

Tabla 4:

Parámetros cinéticos para la degradación de ácido ascórbico en pulpa de pitahaya (Hylocereaus monacanthus) de variedad cáscara roja pulpa roja.

Pulpa de pitahaya (<i>Hylocereaus monacanthus</i>)			
Arhenius		Bigelow	
$K_{75^{\circ}\text{C}}(\text{min}^{-1})$	0.0557	$D_{75^{\circ}\text{C}}(\text{min}^{-1})$	41.3358
$K_{80^{\circ}\text{C}}(\text{min}^{-1})$	0.0820	$D_{80^{\circ}\text{C}}(\text{min}^{-1})$	28.0947
$K_{85^{\circ}\text{C}}(\text{min}^{-1})$	0.0991	$D_{85^{\circ}\text{C}}(\text{min}^{-1})$	23.2242
$K_{90^{\circ}\text{C}}(\text{min}^{-1})$	0.1598	$D_{90^{\circ}\text{C}}(\text{min}^{-1})$	14.4078
$A_0(\text{min}^{-1})$	203884	Z (°C)	3.43438
$Ea \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}\right)$	70.4168		

Fuente: Elaboración propia.

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, Zaroni (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 de la cinética de degradación de ácido ascórbico en pulpa de pitahaya, demuestran dependencia térmica dentro de las bandas reportadas en literatura para productos similares.

3.3. Análisis experimental de Vitamina C en el programa Statgraphics Centurion.

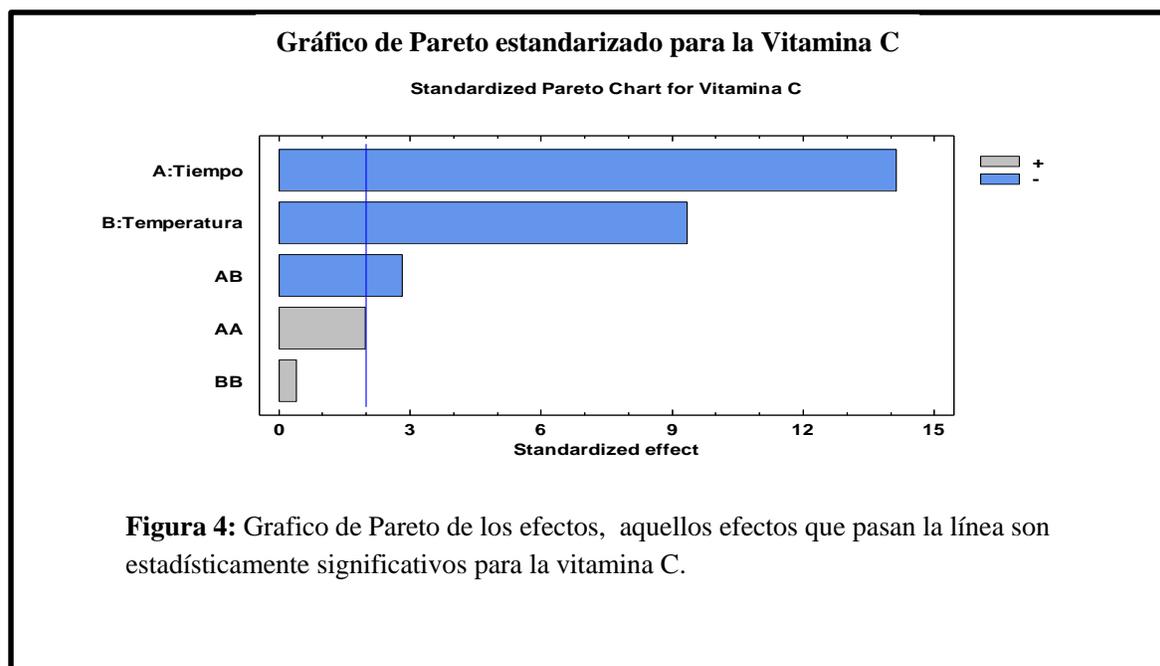
Tabla 5:

Efectos estimados para la concentración de Vitamina C.

Efecto	Estimación	Stnd. Error	V.I.F.
Promedio	2.24313	0.103951	
A:Tiempo	-2.28051	0.161328	1.0
B:Temperatura	-1.3247	0.141696	1.0
AA	0.55859	0.282324	1.0
AB	-0.61095	0.216445	1.0
BB	0.0973125	0.237632	1.0
block	0.0116667	0.149361	1.33333
block	-0.0362083	0.149361	1.33333

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla 5, se aprecia cada uno de los efectos e interacciones estimados. También se muestra el error estándar de cada uno de los efectos, que mide su error de muestreo. Tenga en cuenta también que el mayor factor de inflación de varianza (V.I.F.) es igual a 1.0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían iguales. 1. Los factores de 10 o más se suelen interpretar como indicadores de confusión entre los efectos.



3.4. Análisis de varianza de los parámetros de temperatura y tiempo de en la pasteurización de pulpa de pitahaya (*Hylocereus monacanthus*) de variedad cáscara roja pulpa roja.

La tabla 6 se presenta el ANOVA para la variable dependiente concentración de vitamina C, el cual participa la variabilidad de la Vitamina C en piezas separadas para cada uno de los efectos, probando la significancia estadística de cada efecto como la temperatura de pasteurización y el tiempo, comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental.

Tabla 6:

*Análisis de Varianza para la variable Vitamina C en la pulpa pasteurizada de pitahaya (*Hylocereus monacanthus*) bajo el efecto de los tratamientos de Temperatura (A) y Tiempo (B)*

Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Medio Cuadrado	F-Valor	P-Valor Prob >F
A:Tiempo	53.4934	1	53.4934	199.82	0.0000
B:Temperatura	23.3977	1	23.3977	87.40	0.0000
AA	1.04796	1	1.04796	3.91	0.0510
AB	2.13291	1	2.13291	7.97	0.0059
BB	0.0448935	1	0.0448935	0.17	0.6832
Residual	0.0163956	2	0.00819779	0.03	0.9699
Error Total	23.558	88	0.267704		
Total (corr.)	103.691	95			
R^2	77.2807%				
R^2 (por Df)	75.4734%				
S_{est}	0.517401				
MAE	0.37457				
DW	1.097 (P=0.00)				

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6 se puede observar que hay 3 efectos que tienen un valor-P menor que 0.05, como son el tiempo (A), y el tiempo (B) y la interacción de temperatura por tiempo (AB) indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El R^2 de 77.2807 % de la variabilidad en la vitamina C, indica un buen ajuste del modelo a los datos experimentales el modelo de 1er orden para vitamina C se presenta en la Ecuación (8) y la superficie de respuesta en la Figura 5. El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.517401. El error absoluto medio (MAE) de 0.37457 es el valor promedio de los residuos.

$$\text{Vitamina C} = 13.4757 + 0.23734 * \text{Tiempo} - 0.190308 * \text{Temperatura} + 0.0056999 * \text{Tiempo}^2 - 0.00581857 * \text{Tiempo} * \text{Temperatura} + 0.000865 * \text{Temperatura}^2 \quad \text{Ec. (8)}$$

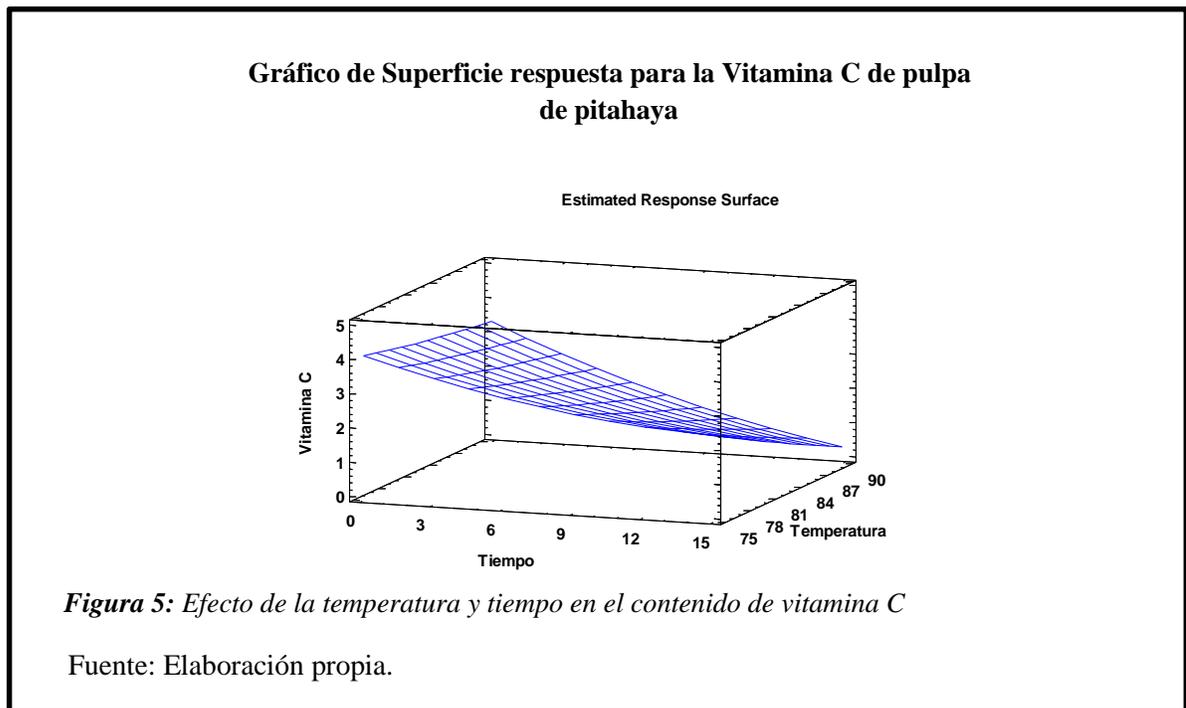


Gráfico de Contorno de Superficie Respuesta para Vitamina C en la pulpa de pitahaya

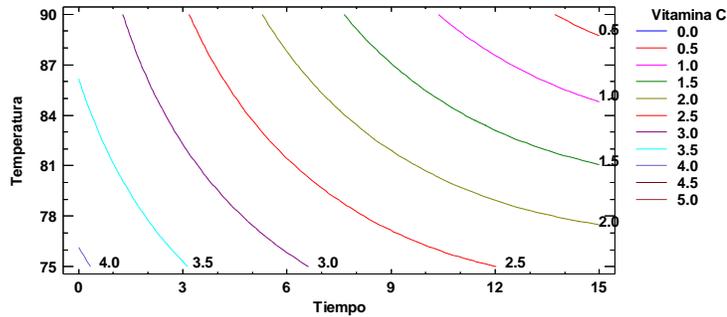


Figura 6: Efecto de la temperatura y tiempo en el contenido de vitamina C

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Cinética de degradación de color de pulpa de pitahaya pasteurizada.

En la tabla 7 se presentan los resultados obtenidos de los parámetros de color para los diferentes tratamientos térmicos para pulpa de pitahaya (*Hylocereaus monacanthus*) de variedad cáscara roja pulpa roja.

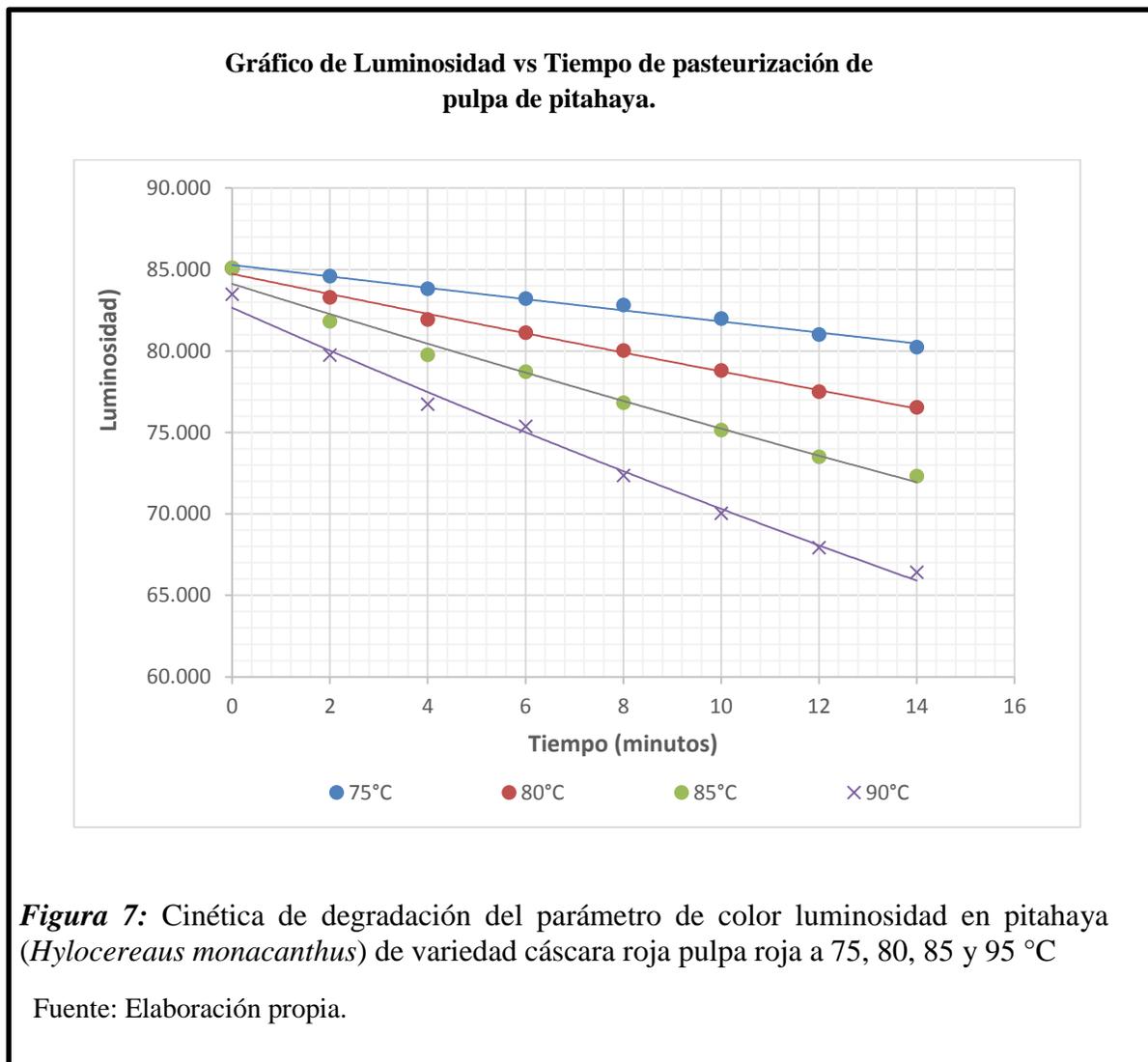
Tabla 7:

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)	Luminosidad (L*)			
	75°C	80°C	85°C	90°C
0	85.080 ± 0.017	85.080 ± 0.017	85.080 ± 0.017	83.484 ± 0.017
2	84.600 ± 0.044	83.300 ± 0.044	81.818 ± 0.044	79.743 ± 0.044
4	83.830 ± 0.010	81.930 ± 0.010	79.764 ± 0.010	76.732 ± 0.010
6	83.227 ± 0.006	81.127 ± 0.006	78.733 ± 0.006	75.381 ± 0.006
8	82.827 ± 0.015	80.027 ± 0.015	76.835 ± 0.015	72.366 ± 0.015
10	82.003 ± 0.012	78.803 ± 0.012	75.155 ± 0.012	70.048 ± 0.012
12	81.007 ± 0.006	77.507 ± 0.006	73.517 ± 0.006	67.931 ± 0.006
14	80.243 ± 0.006	76.543 ± 0.006	72.325 ± 0.006	66.420 ± 0.006

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos para los parámetros de color luminosidad (L^*), durante el calentamiento de la pulpa de pitahaya cáscara roja y pulpa roja, a las cuatro temperaturas se presentan en la Tabla 7. En la figura 7 se observa como disminuye el valor de luminosidad mientras transcurre el tiempo. Para la determinación del orden de reacción, se han trazado los valores de cada parámetro frente al tiempo de calentamiento a cada temperatura.



La Tabla 8 se 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 8:

*Comparación entre los modelos de orden cero y primer orden para describir la cinética de degradación de los parámetros de color en pulpa de pitahaya (*Hylocereaus monacanthus*) de variedad cáscara roja pulpa roja*

Parámetros	Cinética orden cero				Cinética de primer orden			
	75°C	80°C	85°C	90°C	75°C	80°C	85°C	90°C
k	-0.3435	-0.5905	-0.8721	-1.1999	-0.0042	-0.0073	-0.0112	-0.0162
C₀	85.2564	84.6731	84.0081	82.4121	85.2801	84.7301	84.1210	82.6530
R²	0.9886	0.9936	0.9827	0.9621	0.9871	0.9949	0.9876	0.9723

Fuente: Elaboración propia.

Como se esperaba, todos los valores de color (L^*) disminuyeron con el aumento del tiempo de calentamiento, a las cuatro 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 cuatro 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 .

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 9:

Parámetros cinéticos para la degradación de ácido ascórbico en pulpa de pitahaya (Hylocereaus monacanthus) de variedad cáscara roja pulpa roja.

Pulpa de pitahaya (<i>Hylocereaus monacanthus</i>)			
Arhenius		Bigelow	
$K_{75^{\circ}C}(min^{-1})$	0.0042	$D_{75^{\circ}C}(min^{-1})$	554.50
$K_{80^{\circ}C}(min^{-1})$	0.0073	$D_{80^{\circ}C}(min^{-1})$	314.25
$K_{85^{\circ}C}(min^{-1})$	0.0991	$D_{85^{\circ}C}(min^{-1})$	206.33
$K_{90^{\circ}C}(min^{-1})$	0.0112	$D_{90^{\circ}C}(min^{-1})$	142.40
$A_0(min^{-1})$	7.00.51E	Z (°C)	2.5590
$E_a (\frac{kJ}{mol})$	94.69		

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Análisis experimental de Vitamina C en el programa Statgraphics Centurion.

Tabla 10:

Efectos estimados para en color (Luminosidad) de la pulpa pasteurizada de pitahaya.

<i>Efecto</i>	<i>Estimación</i>	<i>Std. Error</i>	<i>V.I.F.</i>
Promedio	79.068	0.392631	
A:Tiempo	-9.2792	0.609351	1.0
B:Temperatura	-8.84301	0.535199	1.0
AA	0.112919	1.06636	1.0
AB	-4.74931	0.81753	1.0
BB	-0.954656	0.897556	1.0
block	0.00583333	0.56415	1.33333
block	-0.0116667	0.56415	1.33333

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla muestra cada uno de los efectos e interacciones estimados. También se muestra el error estándar de cada uno de los efectos, que mide su error de muestreo. Tenga en cuenta también que el mayor factor de inflación de varianza (V.I.F.) es igual a 1.33333. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían iguales. 1. Los factores de 10 o más se suelen interpretar como indicadores de confusión entre los efectos.

**Gráfico de Pareto estandarizado para el color
(Luminosidad) de la pulpa de pitahaya**

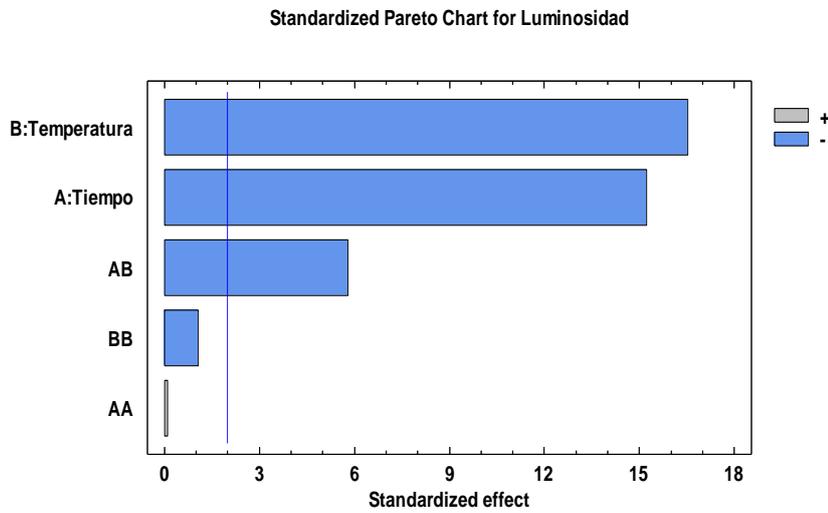


Figura 8: Gráfico de Pareto de los efectos, donde aquellos efectos que pasan la línea son estadísticamente significativos para el color

Fuente: Elaboración propia.

3.7. Análisis de varianza de los parámetros de temperatura y tiempo de en la pasteurización en el color (Luminosidad) de la pulpa de pitahaya (*Hylocereaus monacanthus*) de variedad cáscara roja pulpa roja.

La tabla 11 se presenta el ANOVA para la variable dependiente Luminosidad, el cual particiona la variabilidad de Luminosidad en piezas separadas para cada uno de los efectos, probando la significancia estadística de cada efecto como la temperatura de fritura y el tiempo, comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental.

Tabla 11:

Análisis de Varianza para la variable Luminosidad en la pulpa pasteurizada de pitahaya (Hylocereus monacanthus) bajo el efecto de los tratamientos de Temperatura (A) y Tiempo (B)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F- Valor	P-Valor Prob >F
A:Tiempo	885.636	1	885.636	231.89	0.0000
B:Temperatura	1042.65	1	1042.65	273.00	0.0000
AA	0.0428243	1	0.0428243	0.01	0.9159
AB	128.891	1	128.891	33.75	0.0000
BB	4.32056	1	4.32056	1.13	0.2904
Residual	0.00163333	2	0.00081666	0.00	0.9998
Error Total	336.088	88	3.81918		
Total (corr.)	2397.63	95			
R^2	85.9825%				
R^2 (por Df)	84.8675%				
S_{est}	1.95427				
MAE	1.07785				
DW	1.584 (P=0.0038)				

Fuente: Elaboración propia.

En este caso, 3 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, como son el tiempo (B), el término cuadrático de temperatura (AA) e interacción temperatura x tiempo (AB), indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El R^2 de 85.9825% de la variabilidad en luminosidad, indica un buen ajuste del modelo a los datos experimentales el modelo de primer orden para luminosidad se presenta en la Ecuación (9) y la superficie de respuesta en la Figura 11.

$$\text{Luminosidad} = -48.5228 + 3.05267 * \text{Tiempo} + 1.12725 * \text{Temperatura} + 0.00115223 * \text{Tiempo}^2 - 0.0452315 * \text{Tiempo} * \text{Temperatura} - 0.00848583 * \text{Temperatura}^2 \text{ Ec. (9)}$$

Gráfico de Superficie respuesta para la luminosidad de la pulpa de pitahaya

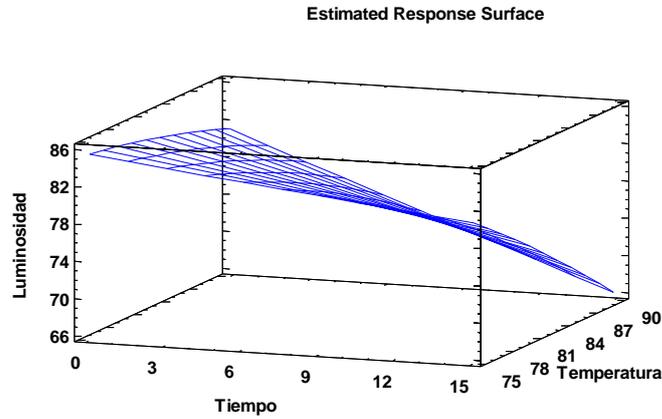


Figura 9: Efecto de la temperatura y tiempo en el color (Luminosidad).

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico de Contorno de Superficie Respuesta para la luminosidad de la pulpa de pitahaya

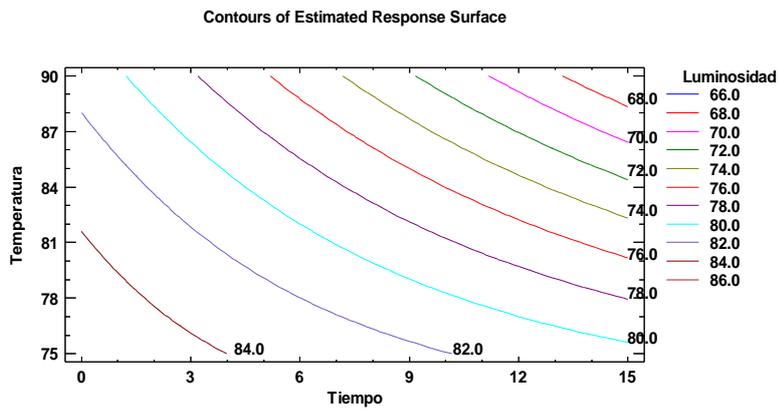


Figura 10: Efecto de la temperatura y tiempo en el color (Luminosidad).

Fuente: Elaboración propia.

IV. DISCUSIONES

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, entre las más importantes: desarrollo microbiano, degradación de vitaminas y pigmentos durante el procesamiento y almacenamiento, inactivación enzimática y destrucción de toxinas por calentamiento.

Robertson y Samaniego (1986) reportaron un resultado similar al estudiar la degradación de ácido ascórbico en jugo de limón. Para Lin y Agalloco (1979) 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, como en el presente estudio en que la incorporación de aire en la muestra no fue controlada, los autores reportan que la cinética de segundo orden observada puede representar que la reacción depende tanto de la concentración de oxígeno, cuando la de 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 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 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.

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.

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.

V. 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 estudiadas.
- Tanto la degradación del ácido ascórbico como la degradación de los parámetros de color (luminosidad) 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.

VI. RECOMENDACIONES

- Para estudios futuros, se sugiere el seguimiento de las variaciones de los parámetros textura y consistencia de la pulpa y evaluar en almacenamiento para una mejor comprensión de la influencia del tiempo y de las variaciones reales de temperatura ambiente sobre los atributos estudiados.
- Los estudios con control de 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.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barboza, G., & Ibarz, A. (2003). *Unit Operations in Food Engineering*. Boca Raton: CRC Press LLC, 920 p.
- Barreiro, J., Milano, M., & Sandoval, A. (1997). Kinetics of colourchange of doubleconccratedtomato paste duringthermaltreatment. *Journal of Food Engineering* 33, 359-371.
- Codex Alimentarius. (2005). *CODEX STAN 247-2005: NORMA GENERAL DEL CODEX PARA ZUMOS (JUGOS) Y NÉCTARES DE FRUTAS* . Obtenido de www.codexalimentarius.net/web/index_es.jsp
- Corradini, M., & Peleg, M. (2006). Prediction of vitamins loss during non-isothermal heat process and atorage with non-linear kinetic models. *Trends in Food Science & Technology*, V.17., 24-34.
- De Jong, P. (2008). *Thermal Processing of Milk in Advanced Dairy Science and Technology .1ed* (Britz, T. J.; Robinson, R. K. UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Fellows , P. (2000). *Food processing technology: principles and practice. 2nd ed.* Boca Raton: Woodhead publishing Ltda e CRC Press LLC. .
- Hiatt, A., Taylor, L., & Mauer, L. (2010). Influence of simultaneous variations in temperature and relative humidity on chemical stability of two vitamin C forms and implications for shelf life models. *J Agric Food Chem*, 3532-3540. doi:10.1021/jf903342f
- House, J. (2007). *Principles of Chemical Kinetics. 2nd Ed.* Burlington: Academic press.
- Huachi , L., Yugsi, E., Paredes, M., Coronel, D., Verdugo, K., & Coba, P. (2015). DEVELOPMENT OF PITAHAYA(CereusSP.)INECUADOR. *Revista de Ciencias de la Vida. n.22, 24 - 22.*
- Jung , A., & Fryer, P. (1999). Optmising the quality of safe food: computational modelling of a continuous sterilisation process. *Chemical Engineering Science*, v.54, n.6, 717-730.
- Kimball, D. (1991). *Citrus processing quality control and technology*. New York: Chapman & Hall-ITP.
- Le Bellec, F., Vaillant, F., & Imbert, E. (2006). Pitahaya (Hylocereus spp.): a new fruit crop, a market with a future. *EDP Sciences*, Vol. 61, 237-250.
- Legaria, J., Alvarado, M., & Gaspar, R. (2005). GENETIC DIVERSITY IN PITAHAYA (Hylocereus undatusHaworth. Britton and Rose). *ed de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 179-185.

- Lewis, M., & Heppell, N. (2000). Continuous thermal processing of foods: pasteurization and UHT sterilization. *Gaithersburg: Aspen Publishers.*, 447.
- Ordoñez, L., Ospina, M., & Rodriguez, D. (2013). Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Rev. Lasallista Investig.* vol. 10 no.2, 44-55.
- Robertson, G., & Samaniego, C. (1986). Effect of Initial Dissolved Oxygen Levels on the Degradation of Ascorbic Acid and the Browning of Lemon Juice during Storage. *Journal of Food Science*, 80.
- Rodriguez, S., de Olivera, E., & Souza, E. (2011). *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits*. Brazil: Elsevier.
- Tavares, J., Silva, C., Carvalho, L., Silva, M., & Santos, C. (2000). Estabilidade do Ácido ascórbico em suco de laranja submetido a diferentes tratamentos. *Magistra Cruz das Almas- BA*, v. 12, n1/2.
- Teixeira, R., Vitali, A., & Quast, D. (1996). *Reações de transformação e vida-de-prateleira de alimentos processados. (Manual Técnico, 6)*. Campinas.: ITAL.
- Texteira, R., Vitali, A., & Moura, S. (2004). *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.)*. Brazil.: Campinas: ITAL. 3 ed.
- Toledo, R. (1991). *Fundamentals of food process engineering. 2nd ed.* New York: Van Nostrand Reinhold .
- Van Boekel, M. (1996). Statistical Aspects of Kinetic Modeling for Food Science Problems. *Journal of Food Science Volume 61*,, 185.
- Van Boekel, M. (2008). *Journal of Food Science Volume 61*,. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety Volume 7*, 161.
- Wysecki, G., & Stiles, W. (1982). *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae. 2nd edition*. . New York: John Wiley and sons.

ANEXOS



Figura 11: Cortado y Pelado de la pitahaya



Figura 12: Etapa de pulpeado de la pitahaya.



Figura 14: Obtención de la pulpa de pitahaya.



Figura 13: Muestras de pulpa de pitahaya para el tratamiento térmico a 75°C.



Figura 16: Medición de la temperatura en el tratamiento térmico a 75°C.



Figura 15: Lectura de las absorbancias en las muestras del tratamiento térmico en el espectrofotómetro.



Figura 18: Análisis de los sólidos totales de la pitahaya en fresco.



Figura 17: Lectura de pH en la pitahaya fresca.

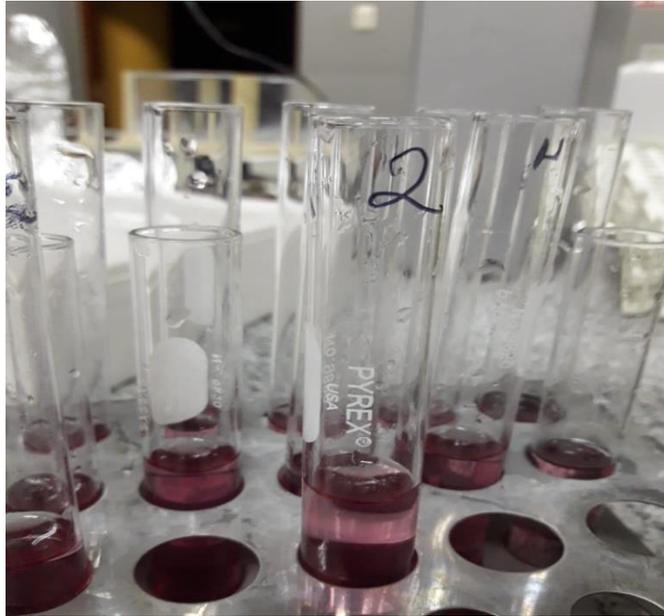


Figura 20: Muestras ya analizadas en el espectrofotómetro.



Figura 19: Calibración del pHmetro a cargo de un experto, Ing. Solano Cornejo.

