UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

Modelado matemático de la cinética de degradación térmica del color de la cereza china (*Dovyalis abyssinica* (A. Rich.) Warb.) en la elaboración de mermelada

---

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo la obtención del Título de Ingeniero en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Mario Israel Arias Pucuji

Tutora: Mg. Liliana Patricia Acurio Arcos

Ambato – Ecuador

Agosto – 2024

APROBACIÓN DE LA TUTORA

Mg. Liliana Patricia Acurio Arcos

CERTIFICO:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 1 de Julio de 2024.

Firmado electrónicamente por:
LILIANA PATRICIA
ACURIO ARCOS

Mg. Liliana Patricia Acurio Arcos

1804067088

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Mario Israel Arias Pucuji, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Mario Israel Arias Pucuji

0550130447

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Informe Final del Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Mario Israel Arias Pucuji

0550130447

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Firmado electrónicamente por:
MIRARI YOSUNE ARANCIBIA SORIA

Presidente del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
NELLY ESTHER FLORES TAPIA

Dra. Nelly Esther Flores Tapia

1716253305

Firmado electrónicamente por:
CARLOS SANTIAGO MORENO MIRANDA

Dr. Carlos Santiago Moreno Miranda

1804285342

Ambato, 02 de agosto de 2024

DEDICATORIA

Me gustaría dedicar este trabajo de investigación a mi sobrino Mathyus que siempre nos ha cuidado con tanto cariño, también a Leonel, Jesús y Eithan que me siguen llenando de alegría e inspiración.

AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a Dios por guiarme en este largo camino de esfuerzos y sacrificios durante estos años en la Universidad, permitiéndome terminar con éxito este gratificante período de mi vida.

Agradezco a mis padres que han sido un apoyo fundamental en mi carrera y en mi vida. Siempre gracias por su confianza.

A mi mamá, por ser la persona más fuerte, valiente y trabajadora que conozco, por ser la primera voz que escucho cada mañana durante tantos años y por levantarse cada día para prepararnos para el día. Gracias, porque a pesar de las diferencias, siempre buscó mi bienestar, apoyando mis ideas locas.

A mi papá, nunca olvidaré los juegos de fútbol en la sala cuando tenía cinco años, los partidos de la selección por la tarde, cuando me llevaba en sus brazos y por cada viaje repentino que hemos hecho. Lo veo reflejado en el esfuerzo y la dedicación de un buen padre por mantener esta familia unida. Gracias por heredarme esa pasión de conducir por la vida.

También agradezco a mis abuelitos, Papá Mario y Mamita Olguita, por cuidar de mí. Mi primer recuerdo es correr por sus cultivos de maíz o ir a la cocina por un vaso porque ya era hora de ordeñar a las vacas. A mi abuelita Diocelina, por siempre recibirme con cariño y mostrarme el amor a la vida

A mis hermanas, Deysi y Paty. El baile del olé olé nunca podía faltar. Gracias por incluirme en sus juegos, películas y hacerme sentir parte de ustedes hasta el día de hoy. A Deysi, por el aliento que me ha dado durante toda la carrera. Por todas las noches de Grey's Anatomy. A Paty, por cada mensaje de aliento y su ilusión de verme triunfar.

Me gustaría agradecer también a mis amigos: Liz Flores y Liz Gavilanes, por formar parte de este increíble trayecto. A Yannick y Monse, por todas las noches conduciendo a nuestras casas. A Carlitos, Rommel, Ibeth, María, Nathy y Daniel, por hacer más llevadera la ingeniería y a todo el grupito de química por darme una familia completa fuera de casa. Son parte principal de este trayecto y apoyo incondicional.

A Luzmila Sandoval, y su apoyo incondicional en cada uno de los semestres y en mi vida personal, por siempre mostrarme una perspectiva positiva en las dificultades. Gracias por cada tarde de prácticas y hacer que este trayecto tenga un final especial, además de apoyar mis ideas y decisiones, como este proyecto.

A mis mascotas Lolita, Sarita, Mimi, Negra y Sasha, por siempre recibirme con alegría en casa.

Por último, a la Facultad (FCIAB) y a mi Tutora, Ing. Liliana Acurio, por ver el potencial de este proyecto y su continuo apoyo. Al igual que a los profesores que me han inspirado a ser mejor: Ing. Dayana Morales, Ing. Jacqueline Ortiz, Ing. Mayra Paredes e Ing. Diego Salazar.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TUTORA ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii
ÍNDICE DE TABLAS xi
ÍNDICE DE FIGURAS xiv
RESUMEN EJECUTIVO xv
ABSTRACT xvi
CAPÍTULO I 1
MARCO TEÓRICO 1
1.1 Antecedentes investigativos 1
1.1.1. Calidad 1
1.1.2. Frutas 2
1.1.2.1. Industria alimentaria 2
1.1.2.2. Producción mundial de frutas 2
1.1.2.3. Producción de frutas cítricas 3
1.1.2.4. Ecuador como productor de fruta 3
1.1.2.5. Ecuador productor de frutas cítricas 4
1.1.3. *Dovyalis abyssinica* (A. Rich.) Warb 5
1.1.3.1. Caracterización de la fruta 5
1.1.3.2. Composición nutricional y físicoquímica 6
1.1.3.3. Contenido de vitamina C 7
1.1.3.4. Compuestos antioxidantes 7
1.1.4 Elaboración de mermeladas 8
1.1.4.1. Producción de mermeladas no tradicionales 9
1.1.5. Requerimientos tecnológicos de la mermelada 9
1.1.5.1 Normativa 9
1.1.5.2. Calidad 10
1.1.5.3. Aditivos alimentarios 10

1.1.6. Color....10
1.1.6.1. Aceptabilidad en los consumidores....10
1.1.6.2. Cinética de la degradación térmica del color....11
1.2. Objetivos....11
1.2.1 Objetivo General....11
1.2.2. Objetivos específicos....11
CAPÍTULO II....12
METODOLOGÍA....12
2.1. Materiales....12
2.1.1 Materia Prima....12
2.2. Métodos....12
2.2.1. Evaluación de la cinética de térmica del color de la cereza china en la elaboración de mermelada....12
2.2.2. Modelación matemática de la degradación térmica del color....12
2.2.3. Determinación de las características fisicoquímicas y proximales de la cereza china fresca....14
2.2.3.1. Determinación de sólidos solubles....14
2.2.3.2. Determinación del pH....14
2.2.3.3. Determinación de acidez titulable....15
2.2.3.4 Determinación de humedad....15
2.2.3.5. Determinación de proteína....15
2.2.3.6. Determinación de grasa....15
2.2.3.7. Determinación de fibra dietética....16
2.2.3.8. Determinación de cenizas....16
2.1.3.9. Determinación de carbohidratos totales....16
2.1.3.10. Determinación de actividad antioxidante....16
CAPÍTULO III....18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN....18
3.1. Análisis y discusión de resultados....18
3.1.1. Evaluación de la cinética de degradación térmica del color....18
3.1.1.2. Luminosidad (L*)....20
3.1.1.2. Coordenadas a* y b*....22
3.1.1.3. Croma (C*)....23
3.1.1.4. Tono (h*)....25
3.1.1.5. Relación L*(a*/b*)....27
3.1.1.6. Variación de la luminosidad (ΔL*)....28
3.1.1.7. Variación del croma (ΔC*)....29
3.1.1.8. Variación del tono (Δh*)....30

3.1.1.9. Variación global de color (ΔE*) 31
3.1.2. Modelamiento matemático de la cinética de degradación térmica del color 32
3.1.2.1. Luminosidad (L*) 32
3.1.2.2. Croma (C*) 33
3.1.2.3. Tono (h*) 34
3.1.2.4. Relación L*(a*/b*) 35
3.1.2.5. Variación de la luminosidad (ΔL*) 36
3.1.2.6. Variación del croma (ΔC*) 37
3.1.2.7. Variación del tono (Δh*) 38
3.1.2.8. Diferencia global de color (ΔE*) 39
3.1.3. Determinación de las características fisicoquímicas y proximales de la cereza china fresca 42
3.1.3.1 Análisis fisicoquímicos 42
3.1.3.2 Análisis proximal 43
3.1.3.3 Actividad antioxidante 43
CAPITULO IV 45
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 45
4.1. Conclusiones 45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Composición nutricional de Dovyalis caffra* 6
Tabla 2 *Propiedades químicas de Dovyalis Caffra y Dovyalis abyssinica* 6
Tabla 3 *Contenido de Vitamina C de Dovyalis caffra* 7
Tabla 4 *Ecuaciones para calcular atributos de color* 13
Tabla 5 *Coordenadas de color L*, a*, b* C* y h* de la pulpa cereza china en tres estados de madurez* 19
Tabla 6 *Ecuaciones de la recta para Luminosidad (L*)* 21
Tabla 7 *Ecuaciones de la recta para croma (C*)* 24
Tabla 8 *Ecuaciones de la recta para tonalidad (h*)* 27
Tabla 9 *Ecuaciones de la recta para valor (La/b*)* 28
Tabla 10 *Ecuaciones de la recta para variación de luminosidad (ΔL*)* 29
Tabla 11 *Ecuaciones de la recta para variación de croma (ΔC*)* 30
Tabla 12 *Ecuaciones de la recta para variación de tonalidad (ΔH*)* 31
Tabla 13 *Ecuaciones de la recta para la variación global de color (ΔE *)* 32
Tabla 14 *Constantes de reacción del valor L*, parámetro de color en función del tiempo y temperatura* 33
Tabla 15 *Constantes de reacción del valor C*, parámetro de color en función del tiempo y temperatura* 34
Tabla 16 *Constantes de reacción del valor h*, parámetro de color en función del tiempo y temperatura* 35
Tabla 17 *Constantes de reacción del valor L(a/b) *, parámetro de color en función del tiempo y temperatura* 36
Tabla 18 *Constantes de reacción del valor ΔL*, parámetro de color en función del tiempo y temperatura* 37
Tabla 19 *Constantes de reacción del valor ΔC*, parámetro de color en función del tiempo y temperatura* 38
Tabla 20 *Constantes de reacción del valor ΔH*, parámetro de color en función del tiempo y temperatura* 39
Tabla 21 *Constantes de reacción del valor ΔE*, parámetro de color en función del tiempo y temperatura* 40
Tabla 22 *Energía de activacacion de los valores L*, C*, H* y L(a/b) parámetros de color en función del tiempo y temperatura.* 41
Tabla 23 41
Tabla 24 *Propiedades químicas de la pulpa fresca de cerezo chino Dovyalis abyssinica (A. Rich.) Warb* 42

Tabla 25 *Composición proximal de la fruta fresca de cerezo chino Dovyalis abyssinica (A. Rich.) Warb* 43
Tabla 26 *Actividad antioxidante in vitrio por DPPH de cerezo chino Dovyalis abyssinica (A. Rich.) Warb* 44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Producción de fruta fresca a nivel nacional*..... 2
Figura 2 *Producción de diferentes frutas cítricas entre 1961 y 2021 a nivel mundial*..... 3
***Figura* 3** *Producción y rendimiento de frutas cítricas entre 1994 y 2022 en Ecuador.* 4
Figura 4 *Dovyalis abyssinica (A. Rich.) Warb.*..... 5
Figura 5 *Árbol de Dovyalis abyssinica (A. Rich.) Warb.* 5
Figura 6 *Fruto de cereza china (Dovyalis abyssinica (A. Rich.) Warb.)*..... 18
Figura 7 *Proceso de desarrollo de frutos de cereza china Dovyalis abyssinica (A. Rich.) Warb* 18
Figura *8* *Pulpa de cereza china (Dovyalis abyssinica (A. Rich.) Warb.) a diferentes estados de maduración.*..... 19
Figura 9 *Degradación térmica del valor L* en función del tiempo y temperatura, a)120 C° b)130 C° c)140 C° d) 150 C°* 20
Figura 10 *Degradación térmica del valor L* parámetro de color en función del tiempo y temperatura* 21
Figura 11 *Degradación térmica del valor a* en función del tiempo* 22
Figura 12 *Degradación térmica del valor b* en función del tiempo* 23
Figura 13 *Degradación térmica del valor C* en función del tiempo a) T1 (120 C°) b) T2 (130 C°) c) T3 (140 C°) d) T4 (150 C °)*..... 24
Figura 14 *Degradación térmica del valor C*, parámetro de color en función del tiempo y temperatura* 24
Figura 15 *Degradación térmica del valor C* parámetro de color en función del tiempo y temperatura, a) T1 (120 C°) b) T2 (130 C°) c) T3 (140 C°) d) T4 (150 C°).*..... 26
Figura 16 *Degradación térmica del valor h*, parámetro de color en función del tiempo y temperatura* 26
Figura 17 *Degradación térmica del valor L(a/b), parámetro de color en función del tiempo y temperatura* 27
Figura 18 *Degradación térmica del valor ΔL*, parámetro de color en función del tiempo y temperatura* 28
Figura 19 *Degradación térmica del valor ΔC*, parámetro de color en función del tiempo y temperatura* 29
Figura 20 *Degradación térmica del valor ΔH*, parámetro de color en función del tiempo y temperatura* 30
Figura 21 *Degradación térmica del valor ΔE*, parámetro de color en función del tiempo y temperatura* 31

RESUMEN EJECUTIVO

En la actualidad, el color es considerado un criterio de calidad medible en los alimentos como la calidad nutricional, estado sanitario, concentración de colorantes, grado de madurez, control de calidad y automatización de procesos. De la misma el desarrollo de modelos matemáticos para determinar la perdida de color de los alimentos en reacciones enzimáticas o no enzimáticas debido a que permite predecir su comportamiento a en función del tiempo y la temperatura. El proceso incluyó la determinación del índice de maduración de la cereza china (*Dovyalis abyssinica* (A. Rich.) Warb.) al igual que su composición nutricional, características fisicoquímicas y actividad antioxidante. Del mejor prospecto se convirtió en pulpa para analizar su cambio de color en el espacio CIELab mediante Luminosidad, Croma y Tonalidad durante la elaboración de la mermelada a cuatro diferentes temperaturas, 120, 130, 140 y 150 grados Celsius. El estudio indicó una mayor luminosidad en estado de maduración tres, que posterior al proceso térmico sugiere una regresión línea para la pérdida de los valores de luminosidad, croma, ángulo de tonalidad y variación global de color. A medida que avanza el proceso térmico, pasando de colores naranjas y rojos intensos a colores más oscuros, pálidos y menos intensos. utilizando un modelo de Arrhenius, los cambios en los valores de estos factores se ajustan a una reacción de primer orden. Los resultados develaron que la cereza china posee una valiosa composición nutricional, actividad antioxidante, además de características fisicoquímicas que influyen tecnológicamente en la elaboración de la mermelada.

Palabras claves:

Cereza china, Mermelada, Degradación de color, Cinética

ABSTRACT

Currently, color is considered a measurable quality criterion in foods such as nutritional quality, sanitary condition, colorant concentration, degree of maturity, quality control and process automation. The development of mathematical models to determine the loss of color of foods in enzymatic or non-enzymatic reactions was also carried out, since it allows predicting their behavior as a function of time and temperature. The process included the determination of the ripening index of Chinese cherry (*Dovyalis abyssinica* (A. Rich.) Warb.) as well as its nutritional composition, physicochemical characteristics and antioxidant activity. From the best prospectus, pulp was converted to analyze its color change in CIELab space by Luminosity, Chroma and Hue during jam making at four different temperatures, 120, 130, 140 and 150 Celsius degrees. The study indicated a higher luminosity at ripening stage three, which after the thermal process suggests a line regression for the loss of luminosity, chroma, hue angle and overall color variation values. As the thermal process progresses from intense orange and red colors to darker, paler and less intense colors, using an Arrhenius model, the changes in the values of these factors conform to a first order reaction. The results revealed that the Chinese cherry has a valuable nutritional composition, antioxidant activity, as well as physicochemical characteristics that technologically influence the production of jam.

Key words:

Chinese cherry, Jam, Color degradation, Kinetics

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

1.1.1. Calidad

La Organización Mundial de la Salud (OMS), recomienda que la población debe consumir un promedio de 400 g diarios entre frutas y verduras. Estos alimentos proporcionan al cuerpo la cantidad y concentración de vitaminas A, B, C y E, necesarias para la ejecución de las funciones básicas del organismo. Además, las frutas tienen compuestos bioactivos como glucosinolatos, carotenoides y polifenoles, que presentan capacidad antioxidante. Sin embargo, en Ecuador según la última encuesta Nacional de Salud y Nutrición (Freire et al., 2012), existe un déficit de consumo de frutas y verduras, lo que genera problemas gastrointestinales, enfermedades cardiovasculares y malnutrición (Gavilanes, 2021)**.**

Dentro de los frutos menos consumidos en Ecuador se encuentra la cereza silvestre. El árbol de esta fruta se conoce como *cerezo*, y su nombre científico es *Dovyalis abyssinica* (A. Rich.) Warb. Tiene origen sudafricano y se caracteriza por su resiliencia al permanecer productivo en condiciones ambientales adversar como heladas y sequias. En Ecuador el árbol es sembrado como una planta ornamental en las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Azuay y Loja. Pese a no ser una planta de producción, existen agricultores que comercializan los frutos en pequeñas cantidades, en mercados mayoristas del centro del país (Cerón et al., 2021).

El fruto de este árbol se conoce como *cereza china* y tiene un alto valor nutritivo (Waweru et al., 2022b), debido a que posee un alto contenido de minerales, vitaminas, compuestos antioxidantes y aminoácidos esenciales. Además, posee un gran potencial para el desarrollo de conservas, por su nivel de acidez y contenido de pectina, características que mejoran la formación de geles en la elaboración de mermeladas o jaleas (Waweru et al., 2022b).

Por otro lado, Chirchir et al., (2018), sugieren realizar una investigación que evalúe el cambio de color en la elaboración de productos alimenticios con *Dovyalis*, debido a que los estudios de la degradación térmica del color en función de las condiciones de procesamiento posibilitan elegir procesos más eficientes y así minimizar las pérdidas de nutrientes y potenciar las características organolépticas del producto final. Sin embargo, no existen muchos estudios de este tipo para líquidos con alta viscosidad (Torres & Vidaurre, 2015).

1.1.2. Frutas

1.1.2.1. Industria alimentaria

La producción agrícola de frutas y hortalizas es el segmento más grande y cuenta con la tasa de crecimiento comercial más rápida del mundo. Las zonas con alta producción de fruta se establecen por su ubicación geográfica, logística, aranceles y facilidad de exportación. En el sector alimentario con ellas se realizan una gran variedad de alimentos procesados como mermeladas, jugos, fruta deshidratada, chocolate, cerveza, entre otros (Del Rio Osorio et al., 2021). Nutricionalmente son una fuente excelente de energía y nutrientes como fibra dietética, vitaminas, antioxidantes y minerales, necesarios para una buena salud (Slavin y Lloyd, 2012).

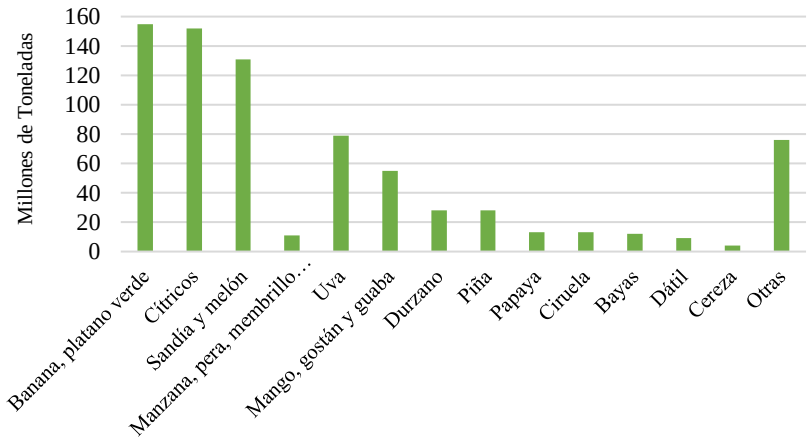
El comercio internacional de la industria alimentaria es uno de los flujos comerciales más consolidado a través del tiempo, superando problemas económicos y sociales como guerras y pandemias. Esto se debe políticas internacionales que facilitan la comercialización de frutas y verduras. Además de políticas internas que permiten mantener estable el precio de comercialización de las frutas e incluso incrementar su volumen de producción (Ardisana et al., 2018).

1.1.2.2. Producción mundial de frutas

En el año 2018 la producción de frutas a nivel mundial alcanzó un total de 868 millones de toneladas. Como se puede observar en la Figura 1, las frutas con mayor producción son el plátano y el banano, junto con los frutos cítricos como la naranja, mandarina y el pomelo. En el orden de producción le siguen la sandía y el melón. Sin embargo, estos datos estadísticos no abarcan todas las especies de frutas que se cultivan y son consumidas alrededor del mundo (FAO, 2023).

Figura 1

Producción de fruta fresca a nivel mundial



Nota: Adaptado de FAO, (2023).

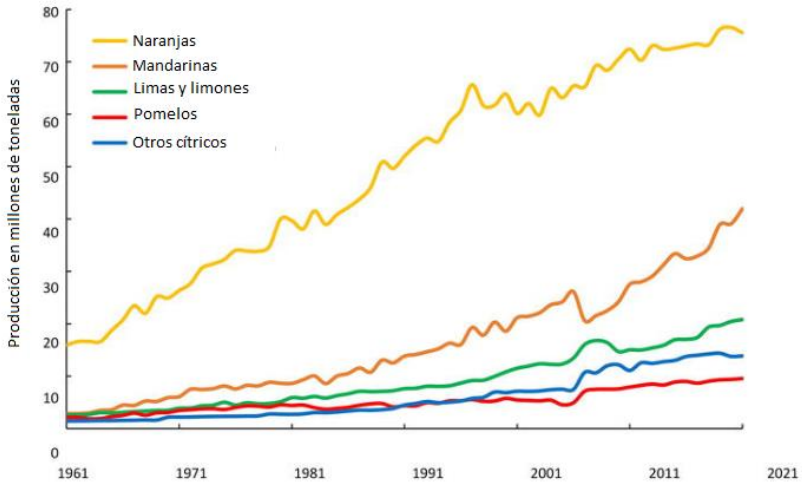
1.1.2.3. Producción de frutas cítricas

Una considerable cantidad de frutas son fuentes ricas en Vitamina C, principalmente las frutas cítricas como las naranjas, mandarinas, limones, limas y toronjas. A diferencia de otras vitaminas, el contenido de Vitamina C en diversas frutas además de las cítricas es relativamente alto, de 10 a 100mg/100g. La carambola, la guayaba, la grosella negra, el kiwi y la fresa son buenas fuentes de vitamina C, esto debido a que la vitamina C está formada a partir de azucares, presente en la mayor parte de las frutas. En la actualidad la mayor parte de la ingesta de vitamina C es proveniente de las frutas o zumos de frutas. La vitamina C es un antioxidante y mejora la absorción de hierro (Doseděl et al., 2021).

Entre las frutas con mayor producción en el mundo destacan los cítricos, son el grupo de frutas con mayor producción a nivel mundial después del banano y plátano en 2021, con 161,8 millones de toneladas a nivel mundial. Como se observa en la Figura 2 dentro de las que más destacan son las naranjas, seguido de la mandarina, limas, limones y pomelos (Pereira Gonzatto & Scherer Santos, 2023).

Figura 2

Producción de diferentes frutas cítricas entre 1961 y 2021 a nivel mundial



Nota: Adaptado de Pereira Gonzatto & Scherer Santos, (2023)

1.1.2.4. Ecuador como productor de fruta

Ecuador tiene microclimas con zonas agroecológicas por su ubicación geográfica, donde se desarrolla el cultivo de frutas. En el país existe un estimado de 163.000 hectáreas destinadas a la actividad frutícola en las regiones de la Costa, Sierra y Amazonía. La actividad frutícola abarca a 120.000 productores. Es importante resaltar que en ninguno de los datos reportados se incluyeron los datos del cultivo de banano (Castro & Pazos, 2024).

La producción de frutas es una alternativa de viabilidad económica para los sistemas campesinos familiares de producción a pequeña, mediana y gran escala. En el país se destina el cultivo de frutas para el consumo propio, comercio local y exportación. El sector productivo de frutas en el Ecuador ha incrementado en los últimos años, con un aumento del 16% en el PIB agrícola del país, sin tomar en cuenta la producción del banano(Moreno-Miranda et al., 2019).

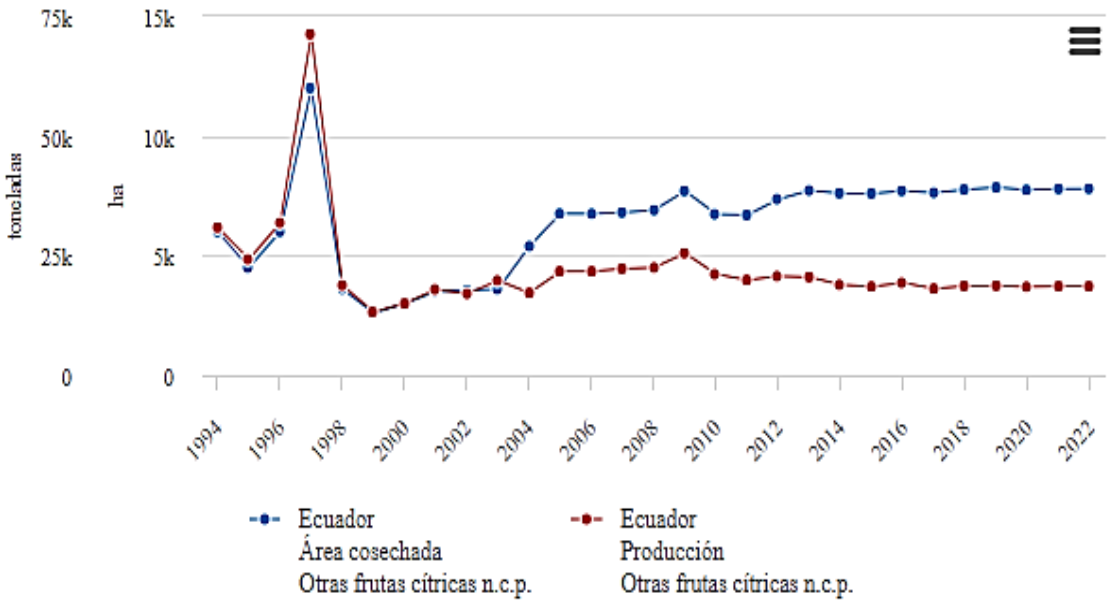
En el país los agricultores priorizan los árboles frutales que tengan una mayor producción, mejor tamaño, buen sabor, y que no sean propensos a enfermedades. El INIAP es el centro de investigaciones agropecuarias del país, el cual selecciona las mejores frutas de diferentes especies frutales que se pueden cultivar dependiendo loa zona del país (Álvaro et al., 2015).

1.1.2.5. Ecuador productor de frutas cítricas

Ecuador es un país potencialmente productor de frutos cítricos, especialmente en la región costa, cultivando un total 10.219 hectáreas de cultivos de Naranja, limón y mandarina. Entre las provincias con mayor producción están Manabí. Los Ríos, Bolívar, Guayas, Pichincha y Tungurahua **(Cañarte y Navarrete, 2019).** En base a la Figura 3, se observa un crecimiento mínimo en la producción de frutas cítricas en el Ecuador a pesar de ser una fuente potencial para estos cultivos, con una producción aproximada de 25 mil toneladas al año. Los principales destinos de exportación de cítricos están África, América, Asia, Europa y Oceanía (FAOSTAT, 2023).

***Figura* 3**

Producción y rendimiento de frutas cítricas entre 1994 y 2022 en Ecuador.



Nota: Adaptado de FAOSTAT, (2023).

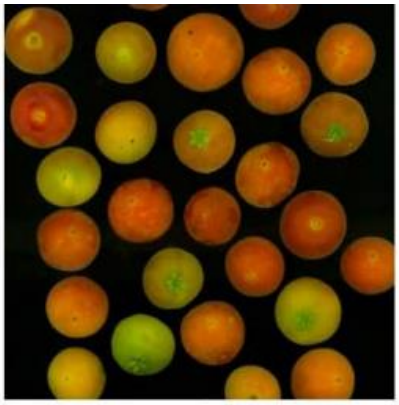
1.1.3. *Dovyalis abyssinica* (A. Rich.) Warb.

1.1.3.1. Caracterización de la fruta

El género *Dovyalis* es parte de la familia Salicaceae y está conformado por 11 especies, entre ellas *Dovyalis abyssinica* (A. Rich.) Warb.. Este género es originario de África, específicamente de Kenia a Malawi. *Dovyalia abyssinica* (A. Rich.) Warb. también es conocida como grosella espinosa africana. Esta especie no ha tenido muchos protagonismos alrededor del mundo (Chirchir et al., 2018).

Figura 4

Dovyalis abyssinica (A. Rich.) Warb.



Fuente: Chirchir et al., (2018)

El arbusto crece aproximadamente de 3,5 metros de altura y cuenta con espinas. Las hojas son verdes, miden entre 5,11 y 7,6 cm de largo. Los frutos tienen un diámetro promedio de 2,54 cm, son de color albaricoque cuando están maduros. La piel fina y dura se puede pelar fácilmente cuando la fruta está madura. La pulpa es jugosa y se parece ligeramente al albaricoque en sabor. Con la fruta madura se elaboran gelatinas y ponches de frutas muy sabrosos (Ayala-Silva et al., 2014b).

Figura 5

Árbol de Dovyalis abyssinica (A. Rich.) Warb.



Fuente: Ayala et al., (2014)

1.1.3.2. Composición nutricional y físicoquímica

La fruta muestra una composición nutricional similar a la de una naranja, como se muestra en la tabla 1 con alto contenido en agua alrededor del 86% y un bajo contenido en proteína, grasa y fibra. Así también el contenido de carbohidratos y minerales no es muy alto. EL cometido de aminoácidos de este fruto muestra una alta variedad en aminoácidos, de los cuales se pudo perfilar a diecisiete dentro de los que destacan leucina, valina, lisina, fenilamina, isoleucina, metionina, histidina y tirosina, todos aminoácidos esenciales (Waweru et al., 2022b).

Tabla 1

Composición nutricional de Dovyalis caffra

Parámetros	Dovyalis cafrra (g/100g)	Recomendación diaria
Humedad	85,9	2,1-2,6 L/día
Proteína	0,4	28-65 g/ día
Grasa	0,4	44-77 g/día
Minerales	0,3	≤5mg/día
Fibra	0,3	18-35 g/día
Carbohidratos	4,7	130 g/día

Fuente: Waweru et al. (2022b)

Las propiedades químicas básicas de la pulpa de Dovyalis Caffra y Dovyalis abyssinica presentan similitudes y diferencias considerables. De manera general el valor de pH es bajo al igual que el valor de acidez titulable. Los Solidos totales presentes en la pula de esta fruta es alto y se hace una relación con la acidez titulable para determinar la dulzura o acidez de la fruta (Augustyn et al., 2018).

Tabla 2

Propiedades químicas de Dovyalis Caffra y Dovyalis abyssinica

Variedad	Parámetros			
	pH	TTA (%)	TSS (Brix)	TSS/TAA
Dovyalis caffra – KT	2,72 ± 0,04[a]	2,30 ± 0,03[a]	10,97 ± 0,04[b]	4,76 ± 0,07[c]
Dovyalis caffra – GF	2,65 ± 0,07[a]	2,49 ± 0,02[b]	10,87 ± 0,04[b]	4,36 ± 0,06[b]
Dovyalis abyssinica - GF	2,65 ± 0,01[a]	2,50 ± 0,02[b]	10,37± 0,04[a]	4,14 ± 0,08[a]

Fuente: Augustyn, et al., (2018).

1.1.3.3. Contenido de vitamina C

El contenido de vitamina C en el fruto *Dovyalis caffra* se ha identificado como una excelente fuente de ascorbatos. El fruto Dovyalis caffra tiene un contenido de 658mg/L en comparación a la naranja 441mg/L, considera una de las frutas con mayor contenido de vitamina C. Es decir, más del doble de la porción diaria requerida (45mg al día) (Waweru et al., 2022b). Aunque las soluciones acuosas de vitamina C son inestables ya que el oxígeno y otros agentes oxidantes, el alto pH, la alta temperatura y los iones metálicos provocan su descomposición (Doseděl et al., 2021).

Tabla 3

Contenido de Vitamina C de Dovyalis caffra

Vitaminas	*Dovyalis Cafrra* **(mg/100g)**	**Naranja** *Citrus sinesis* **(mg/100g)**
Vitamina C	117	50
Niacina	0,3	0,18
Riboflavina	0,05	0,02
Tiamina	0,01	0,04

Fuente: (Waweru et al., 2022b)

1.1.3.4. Compuestos antioxidantes

Los compuestos antioxidantes del fruto *Dovyalis* poseen una estructura química apropiada para oxidarse fácilmente con un radical libre y quitarle su reactividad, convirtiéndose en moléculas notablemente "más estables" para su entorno. Los antioxidantes son sustancias químicas que, aunque se encuentre a concentraciones mucho más bajas que las de cualquier sustrato biológico oxidable, reaccionan con dicho sustrato. En el organismo de las personas tienen la capacidad de reaccionar con los radicales para restringir sus efectos nocivos (Jamanca & Alfaro, 2017).

Los antioxidantes tienen una gran influencia sobre la salud de las personasEl cuerpo humano puede producir antioxidantes endógenos. Aunque, estos pueden ser complementados a través de la dieta. Los productos alimentarios con una mayor fuente de antioxidantes son las frutas y las verduras. Los antioxidantes están conformados por glucosinolatos, carotenoides y polifenoles (Ramirez, 2014).

Además del ácido ascórbico, el β-caroteno es otra vitamina antioxidante (provitamina A) que se encuentra en Dovyalis en un rango de β-caroteno de (1,41–4,78 mg/100 g) en varias accesiones de frutos de Dovyalis caffra. En comparación con las zanahorias (23,25 mg/100 g) (Mpai et al., 2018). El valor rango de β-caroteno es bastante bajo. Aun así, el rango sigue siendo más alto que el de varias frutas comerciales comunes. Por ejemplo, los cultivares de manzana Beni Shogun (0,32 mg/ 100 g) y

Gala (0,11 mg/ 100 g FW) poseen un menor contenido de β-caroteno que los frutos Dovyalis caffra (Fikselová et al., 2010).

La fruta de *Dovyalis caffra* es una rica fuente de compuestos antioxidantes derivados de plantas (vitamina C y β-caroteno) además de los numerosos compuestos fenólicos, que se analizan posteriormente (Sección 3), todos los cuales tienen notables propiedades promotoras de la salud. Si bien *Dovyalis caffra* es una fruta muy poco explotada, es evidente que se puede proponer o más bien recomendar como una fuente novedosa de estos compuestos en el sistema alimentario (Waweru et al., 2022b)

1.1.4 Elaboración de mermeladas

Anualmente existe una pérdida de alimentos en todo el mundo en grandes cantidades, esto se debe a factores de transporte y mala conservación. Las pérdidas de fruta fresca representan un desperdicio de los recursos utilizados para su producción, como agua tierra, energía, mano de obra y recursos económicos (Ennis, 2019). La mermelada surge como una alternativa para la reducción de estas pérdidas, permitiendo conservar la fruta un periodo de tiempo mayor. Además, la mermelada de fruta facilita su transporte y almacenamiento (Arango et al., 2023).

La mermelada es un producto alimenticio que se obtiene de la cocción de fruta entera, en trozos o tamizada, a la cual se agrega azúcar o edulcorantes permitidos a los cuales se les somete a un tratamiento térmico esto en base a la norma para confituras, jaleas y mermeladas CXS 296 (2022), en la que se indica que la mermelada deberá presentar una consistencia untable, tener un equilibrio de componentes de frutas que le otorguen sabores y aromas propios de la fruta de origen.

En el país la industria alimentaria de procesamiento y conservación de frutas es parte fundamental del sector agroindustrial ecuatoriano, debido al potencial agrícola con el que cuenta la nación. El consumo de alimentos procesados según Aguirre y Viteri (2016)**,** está ligado a los ingresos económicos en las familias, junto a una cultura dirigida a la globalización, donde se destina menos tiempo a la preparación de alimentos.

A nivel nacional existen 16 marcas de mermeladas registradas; 10 son parte del capital privado y 6 restantes corresponden a asociaciones. Entre ellas destacan Snob, Gustadina, Guayas, Facundo y Watts; gran parte de estas empresas están ubicadas en la provincia del Guayas. En el caso de asociaciones están distribuidas en varias provincias del país (Aguirre & Viteri, 2016).

Las familias ecuatorianas consideran a las frutas en su estado natural como productos de primera necesidad. Por lo que las mermeladas surgen como alternativa para satisfacer esta necesidad y conservar frutas por más tiempo. Los principales sabores que se comercializan en el mercado interno

son mora, guayaba, frutilla y piña. Sin embargo, en varias provincias o regiones del país se elaboran mermeladas de diferentes frutas que representan su cultura y sus tradiciones (Guamán, 2019).

1.1.4.1. Producción de mermeladas no tradicionales

Una de las ventajas competitivas que caracteriza a nuestro país es la variedad de frutas que se pueden encontrar en cada una de sus regiones (Apolinario, 2021). La industria de mermeladas aprovecha y utilizas estas frutas para darles un proceso de elaboración. A pesar de esto su producción está ligada con el consumo local. Entre las frutas mayormente utilizadas para la elaboración de mermeladas se encuentra el babaco, uvillas, sambo, pimiento rojo, tomate riñón, cocona, arazá, papaya, café arábigo, entre otros (Acevedo et al., 2022).

Las empresas productoras de mermeladas con frutas no tradicionales están conformadas por Asesoagro S.A., Asociación Kallampa, Planhofa, Grial, La Qabra tira al norte, Tantum, Warmi, El Alfarero, La huerta del Inca, Golden, Ahuana, La Carlita, Amazonas, Fundación Maquita y el Salinerito. Adicionalmente a estas empresas de mermeladas, hay otras micro y pequeñas empresas que sustentan su existencia en el Ministerio de Industrias y Productividad con Razón Social (Aguirre & Viteri, 2016).

Los sabores que se ofertan van más allá de lo tradicional, estos sabores son apreciados principalmente en Europa y Estados Unidos, al ser un mercado que busca lo exótico y natural. En países de estas zonas, la mermelada es parte fundamental del desayuno. Los principales países destino en exportaciones de mermelada están Rusia, Holanda, Francia, Finlandia, Grecia, Reino Unido, Turquía entre otros (BCE, 2021).

1.1.5. Requerimientos tecnológicos de la mermelada

1.1.5.1 Normativa

Los factores principales de composición y calidad que debe tener una mermelada según la normativa (RTE INEN 182, 2013), se establecen en cada apartado. Para las confituras y jales se deberán cumplir de cierta con un porcentaje mínimo de los ingredientes básicos que la conforman. La fruta y los productos alimentarias que le añaden un sabor dulce que están conformados por todos los azúcares que se definen en la norma (CXS 212, 2022).

Para la mermelada los productos se elaborarán de forma que la cantidad de fruta utilizada no sea menor al 45 %, excepto las siguientes. Grosellas, mangos, membrillos, escaramujos 35%. Guanábana y arándano 30%. Banano 25%. Darían 20%, Tamarindo 10% y 8 % para frutas de gran acidez y fuerte aroma. Los porcentajes elevados de varias frutas pueden dar resultados variables de acuerdo con la preferencia del consumidor (CXS 296, 2022).

1.1.5.2. Calidad

El contenido final de solidos solubles en base a la RTE INEN 182 (2013) para la mermelada como producto terminado deberá estar con un valor de Solidos Solubles totales entre el 60 y 65%. Lo que le otorgue una consistencia gelatinosa, con un color y sabor propios de la fruta utilizada para la elaboración de la mermelada. Los productos como la mermelada regulados en esta normal no deberán estar exentos de defectos como la presencia de materia vegetal como la piel de la fruta, carozos o minerales. Para frutas como la mora, granadilla y pitahaya a las semillas son un como componente natural de la fruta y no se las considera como un defecto.

1.1.5.3. Aditivos alimentarios

En la norma RTE INEN 182 (2013) se enlistan las sustancias que tecnológicamente pueden usarse al elaborar la mermelada. Los aditivos alimentarios permitidos están los reguladores de acidez (tartratos), agentes antiespumantes (Polidimetilsiloxano), colorantes, conservantes (Sorbatos, benzoatos y sulfitos), espesantes (Pectina) y aromatizantes.

1.1.6. Color

En la elaboración de la mermelada, el balance adecuado de componentes como azúcar, acidez y agente gelificante afectan directamente al color de la mermelada. El color de la mermelada tiene que expresar el color de la fruta, acompañado de una buena correcta homogeneidad mediante la gelificación, sin llegar a la rigidez. La acidez de la mermelada confiere un brillo propio a la mermelada, evitando la cristalización de la azúcar y prologando su vida útil (Zielińska et al., 2020).

1.1.6.1. Aceptabilidad en los consumidores

La primera impresión para valorar la calidad de un producto alimenticio se da por su apariencia. En varias investigaciones se ha tratado de estudiar como el color tienen una influencia en la identificación de los sabores, la intensidad que se percibe y como es un rol fundamental para la aceptabilidad, Además intensidad que se percibe del sabor está directamente relaciona los niveles del color altos (Garg et al., 2019).

El color en los alimentos es un criterio de calidad medible, con el que se puede establecer la calidad nutricional de un alimento, su estado sanitario, concentración de colorantes, grado de madurez de una fruta. Facilitando el control de calidad y optimización de los procesos (Afoakwah et al., 2023)**.** El color de un alimento se puede medir mediante los factores a*, b* y L* del CIELAB, los cuales varían en función de las sustancias que conforman al alimento y la cantidad de luz que refleja. El color en un producto alimenticio puede condicionar la evaluación de sus atributos, muchas veces para influenciar en la decisión de los consumidores (Salam et al., 2020).

1.1.6.2. Cinética de la degradación térmica del color

La aplicación de tratamiento térmico produce reacciones químicas en los alimentos durante su procesamiento. Algunas reacciones resultan en la pérdida de la calidad nutricional y reacciones que dan lugar a la formación de sabores o colores indeseados, acortando la vida del alimento en anaquel (Badin et al., 2021). Los parámetros cinéticos están dados por la orden de reacción (n), la constante de velocidad (k) y la energía de activación (E_a). Estos parámetros son determinados en el transcurso del estudio, puesto que indican el cambio en la concentración de la sustancia de interés, con relación a los cambios de temperatura y tiempo (Fan et al., 2019).

Para evaluar la variación del color al elaborar mermelada de cereza china a diferentes temperaturas, este estudio plantea analizar la cinética de color. Esta variación de color puede analizarse con la luminosidad (L*), el incremento de color o los parámetros colorimétricos a* y b*, que varían según el contenido de nutrientes cambia (Díaz, 2018)**.**

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Modelar matemáticamente la cinética de degradación térmica del color de la cereza china (*Dovyalis abyssinica* (A. Rich.) Warb.) en la elaboración de mermelada.

1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar la cinética de la degradación térmica del color de la cereza china (*Dovyalis abyssinica* (A. Rich.) Warb.) en la elaboración de mermelada, a diferentes temperaturas.

- Modelar matemáticamente la cinética de degradación térmica del color de la cereza china (*Dovyalis abyssinica* (A. Rich.) Warb.) en la elaboración de mermelada.

- Determinar las características fisicoquímicas y proximales de la cereza china (*Dovyalis abyssinica* (A. Rich.) Warb.) fresca.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

2.1.1 Materia Prima

La materia prima utilizada para la elaboración de la mermelada, cereza china (*Dovyalis abyssinica* (A. Rich.) Warb.), fue obtenida de árboles frutales ubicados en la ciudad de Latacunga. La pectina y el azúcar fueron adquiridos en la Casa del lácteo, ciudad de Latacunga.

2.2. Métodos

2.2.1. Evaluación de la cinética de térmica del color de la cereza china en la elaboración de mermelada

Para evaluar la cinética de degradación térmica del color de la cereza china (*Dovyalis abyssinica* (A. Rich.) Warb.) en la elaboración de mermelada, se tomó como base la Normativa NTE INEN 2825, (2013), utilizando diferentes temperaturas de calentamiento.

Aproximadamente 12 ml de la mezcla pulpa:azúcar (porporción 40:60) fue colocada en cajas Petri de 50 mm de diámetro y 15 mm de altura (capacidad de 20 ml). La mezcla fue calentada hasta alcanzar la consistencia característica de una mermelada, propiedad que fue evaluada por medio de la "prueba de la gota" (Awulachew, 2021). Las temperaturas y tiempos de procesamiento fueron: 120°C por 49 minutos; 130°C por 24 minutos; 140°C por 17 minutos y 150°C por 13 minutos; valores que fueron establecidos mediante diferentes pruebas preliminares. Para evaluar la cinética térmica del color, cada cierto tiempo se extrajo una caja Petri, que fue enfriada rápidamente mediante inmersión en agua fría con hielo. Los intervalos de tiempo no fueron establecidos para todo el experimento, debido a que los tiempos de procesamiento son diferentes para cada temperatura.

2.2.2. Modelación matemática de la degradación térmica del color

Las propiedades del color se midieron con un colorímetro Lovibond RM-200, utilizando un iluminante D65 y observador 10º. A partir de las coordenadas CIE L*a*b* (luminosidad L*, coordenada a* y coordenada b*), se calcularon el tono ($h^* = arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$) y croma ($C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$). Además, se calcularon las variaciones de luminosidad, tono, croma y la diferencia global de color (ΔE*). Estas últimas variaciones se calcularon tomando como referencia las pulpas frescas (Lerma H. et al., 2015)**.** Las ecuaciones que se utilizaron se presentan en la Tabla 1.

Tabla 4
Ecuaciones para calcular atributos de color

Atributo	Ecuación	
Variación de luminosidad	$\Delta L^* = L_m - L_r$	(1)
Variación de tono	$\Delta h^* = \sqrt{(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2}$	(2)
Variación de croma	$\Delta C^* = \sqrt{(a^*_m)^2 + (b^*_m)^2} - \sqrt{(a^*_r)^2 + (b^*_r)^2}$	(3)
Diferencia global de color	$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2}$	(4)

Posteriormente se modeló matemáticamente la cinética de degradación térmica del color de la cereza china (*Dovyalis abyssinica* (A. Rich.) Warb.) en la elaboración de mermelada. Los valores obtenidos se ajustaron las ecuaciones cinéticas de orden cero, uno y dos (Ecuaciones 5 a 7).

Cinética de orden cero:

$$C = C_0 + (-K_0)\, t \qquad \text{Ecuación 5}$$

Cinética de primer orden:

$$C = C_0\, exp\, (-K_1)\, t \qquad \text{Ecuación 6}$$

Cinética de segundo orden:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + (-K_2)t \qquad \text{Ecuación 7}$$

La calidad de ajuste de los modelos se evaluó por medio del coeficiente de determinación (r^2), que que debe ser superiores a 0,85 para expresar buen ajuste (Soler Cárdenas, 2008), por el error medio estimado (Ecuación 8) y por el porcentaje de desvío medio relativo (Ecuación 9) (Montes et al., 2008).

$$SE = \sqrt{(\frac{\Sigma(V_{exp} - V_p)^2}{GRL})} \qquad \text{Ecuación 8}$$

Donde:
SE = Error medio estimado
V_{exp} = Humedad experimental
V_p = Humedad predicho (se calculó a partir de cada modelo)
GRL = Número de observaciones

$$P = \frac{100}{n} \Sigma_{i=1}^{n} \frac{|V_{exp} - V_p|}{V_{exp}}$$ Ecuación 9

Donde:

P = Porcentaje de desvío medio relativo

V_{exp} = Humedad experimental

V_p = Humedad predicho (Se calculo a partir de cada modelo)

n = Número de observaciones

La ecuación de Arrhenius (Ecuación 10) se aplicó para evaluar la influencia de la temperatura en la velocidad de degradación del color.

$$k = k_0 exp\ (-E_a/RT)$$ Ecuación 10

2.2.3. Determinación de las características fisicoquímicas y proximales de la cereza china fresca

2.2.3.1. Determinación de sólidos solubles

Para la determinación de sólidos solubles se utilizó la norma establecida NTE INEN-ISO 2173 (2013) con pocas modificaciones. Para lo cual, se pesó un vaso de precipitación previamente tarado, seguido de esto se adicionó 40 g de muestra, junto con 100 mL de agua destilada. Posteriormente la solución se llevó a ebullición por 3 minutos y se agitó con una varilla de vidrio. Tras el proceso de ebullición y mezcla, se dejó en reposo, se enfrió por 20 minutos. De esta mezcla se pesó 5 g de muestra, se colocó en el refractómetro y la temperatura de la muestra estaba entre 15 a 25 ± 0,5 °C, debido a la calibración del refractómetro. Finalmente se colocaron de 2 a 3 gotas de muestra en el refractómetro y se aplicó la siguiente fórmula:

- Refractómetro con escala para índice de refracción:

$$N_D^{20} = N_D^t + 0{,}00013(t - 20)$$ Ecuación 11

Donde:

N_D^{20} = índice de refracción a 20 °C.

N_D^t = índice de refracción a la temperatura a la que se efectuó el ensayo.

t = temperatura a la que se realizó el ensayo (en grados Centígrados).

2.2.3.2. Determinación del pH

Se siguió la metodología indicada en la norma (TNE INEN-ISO 1842, 2013).

2.2.3.3. Determinación de acidez titulable

La acidez titulable se determinó siguiendo la normativa establecida (NTE INEN-ISO 750, 2013).

$$A = \frac{V_1 \times N_1 \times M}{V_2} \qquad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

A = gramos de ácido en 1000 cm^3 del producto.

V_1 = cm^3 de NaOH utilizados para titular la alícuota.

N_1 = normalidad de la solución de NaOH.

M = peso molecular del ácido que se toma como referencia.

V_2 = volumen de la alícuota tomada para el análisis.

2.2.3.4 Determinación de humedad

La determinación de humedad se realizó en base a la AOAC 920.151 (2023). Para lo cual se colocaron 3 g de muestra en una cápsula pesada con antelación, y se puso en una balanza Mettler Toledo a una temperatura de 130°C, aproximadamente por 30 min.

2.2.3.5. Determinación de proteína

La determinación de proteínas se llevó a cabo siguiendo el método de Dumas descrito en la norma AOAC 990.03, (2005). Se pesaron 50 mg de muestra en cápsulas de papel aluminio y se analizó el contenido de proteína mediante combustión y detección de conductividad térmica utilizando el equipo Dumas Nitrogen Analyzer (Velp NDA 701). Previo al análisis de proteínas, se realizó una calibración con un patrón estándar. El experimento se ejecutó por triplicado, y se utilizó un factor de conversión de 6.25 para el cálculo del valor de proteína (%).

2.2.3.6. Determinación de grasa

La determinación de grasa se realizó en base a la metodología AOAC 2003.06 (2023). Se utilizó el extractor Soxhlet de la marca Velp Scientifica. Se pesaron los vasos de extracción vacíos y se colocaron 3 gramos de muestra en el papel filtro, el cual se ubicó en el dedal de celulosa. Se encendió el equipo de extracción, con una configuración de temperatura a 110 °C. Se ubicaron los dedales con la muestra y los vasos con 60 mL de éter de petróleo. Una vez se inició la ebullición del disolvente se sumergieron los dedales por 15 min, luego se levantaron para permitir la recirculación del disolvente por 30 min. Tras este tiempo se abrieron las válvulas de la cámara de recuperación y se procedió a recoger el disolvente por 40 min. Por último, se colocaron los vasos con la muestra obtenida de aceite por una hora a 96°C en una estufa para eliminar el disolvente. Se enfriaron a temperatura ambiente en un

desecador y se posaron en una balanza analítica. Una vez obtenidos los datos necesarios se calculó la grasa mediante la siguiente fórmula:

$$\%grasa = \frac{(peso\ del\ vaso\ con\ grasa\ tras\ extracción - peso\ del\ vaso\ vacío)}{Peso\ de\ la\ muestra\ antes\ de\ la\ extracción} \times 100 \qquad \text{Ecuación 13}$$

2.2.3.7. Determinación de fibra dietética

Para la determinación de fibra dietética total se utilizó un método gravimétrico-AOAC 985.29 (2023). El análisis se realizó en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos (LACONAL) de la FCIAB-UTA.

2.2.3.8. Determinación de cenizas

En base a la Norma Técnica Ecuatoriana, (NTE INEN 401 (2013), se utilizó el método gravimétrico, basado en la calcinación de materia orgánica por vía seca en una mufla a 550°C. Inicialmente se calcinaron los crisoles vacíos a 550°C por 30 minutos y se enfriaron en un desecador por 30 minutos, para poder tomar el peso inicial. Utilizando una balanza analítica se pesó la fruta completa como muestra y se los llevó a la mufla hasta obtener cenizas de un color gris claro, se revisó el estado de la muestra cada 15 minutos. Una vez la muestra se enfrió en un desecador, se pesaron los crisoles y se registró su peso final. El resultado se expresó como porcentaje de cenizas:

$$\%C = \frac{100 \times (m_2 - m)}{(100 - H)(m_1 - m)} \qquad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

C = contenido de cenizas, en porcentaje de masa.

m_1 = masa de la cápsula vacía, en gramos.

m_2 = masa de la cápsula con la muestra, en gramos.

m_3 = masa de la cápsula con las cenizas, en gramos.

2.1.3.9. Determinación de carbohidratos totales

Esta propiedad se determinó por cálculo, a partir de la siguiente ecuación

$$\mathrm{CT} = w_{total} - (w_{proteína\ bruta} + w_{grasa\ total} + w_{humedad} + w_{ceniza} \qquad \text{Ecuación 15}$$

2.1.3.10. Determinación de actividad antioxidante

La actividad antioxidante se determinó mediante la metodología del radical libre 2,2 difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) descrita por Poma et al., (2019). Se deshidrató la muestra con 24 horas de anticipación. El radical se diluyó con etanol al 85% y la mezcla se mantuvo en la oscuridad por 20 minutos. La muestra y la solución de DPPH se colocaron en tubos de 2 mL (proporción 1:4), se homogenizó y se dejó reposar por 45 minutos.

Se midió la absorbancia a 600 nm en un espectrofotómetro Thermo Scientific NanoDrop One. La curva de calibración se determinó utilizando Trolox (1000 μM/mL) como solución madre.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Evaluación de la cinética de degradación térmica del color

Previo a la elaboración de la mermelada de cereza china, se consideró el estado de madurez del fruto en el momento de la cosecha, debido a que los azúcares tienen un rol importante (Jiru et al., 2023); además porque un estado óptimo de maduración provee pigmentos más llamativos (Durán-Soria et al., 2020) (Figura 6).

Figura 6

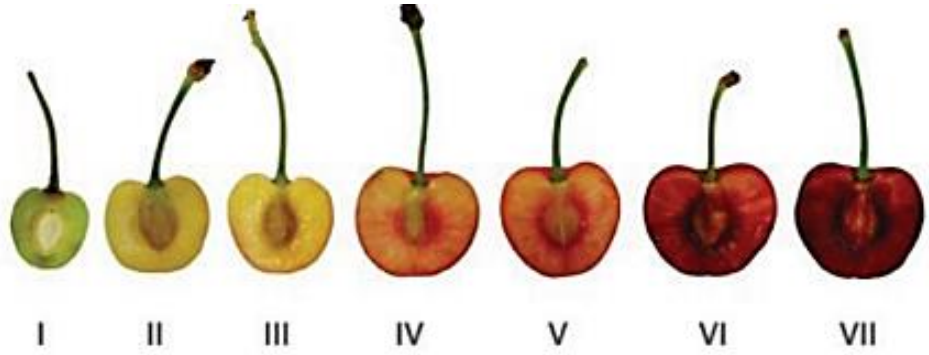
Cereza china (*Dovyalis abyssinica* (A. Rich.) Warb.)



Sin embargo, un fruto sobre madurado puede traer efectos indeseables como un excesivo ablandamiento de sus paredes celulares, dificultando su transporte. Esta sobre maduración se observa en la Figura 7 en las fases de maduración VI y VII (Prasanna et al., 2007). Además, en esta fase ocurre una gran pérdida de azúcares, ácidos y oligosacárido. Por esta razón en la presente investigación se trabajó con frutos en las fases de maduración III, IV y V (Figura 7).

Figura 7

Fases de maduración de los frutos de cereza china Dovyalis abyssinica (A. Rich.) Warb



La Tabla 5 muestra los parámetros de color de la pulpa de cereza china (*Dovyalis abyssinica* (A. Rich.) Warb.) fresca, en los tres estados de maduración. Se observa una mayor luminosidad (L*) en la pulpa en estado de maduración III (58,18), frente a las dos otras fases. El croma (*C), que mide la intensidad del color, evidenció valores superiores en las fases de madurez IV y V. Esta variación es evidente a simple vista, debido a que los frutos en estos estados presentan colores naranjas y rojos intensos. El valor del tono (h*) expresa el ángulo en el que se encuentra la pulpa en el espacio CIELab. Nótese un decremento en los valores de h* mientras aumenta el estado de madurez, esto indica que los frutos en fase V estarán más cercanos a los rojos intensos. Sin embargo, según Ayala-Silva et al., (2014), el color puede variar de acuerdo con la ubicación de los frutos en los árboles, con las diferentes zonas geográficas y con las condiciones del suelo (Waweru et al., 2022a).

Tabla 5

Coordenadas de color L, a*, b* C* y h* de la pulpa cereza china en tres estados de madurez*

Madurez	L*	a*	b*	C*	h*
Fase III	58,18	10,5	34,8	40,77	72,11
Fase IV	56,53	19,19	44,51	48,47	66,68
Fase V	47,25	22,2	52,3	50,1	49,30

La Figura 8 muestra el color de la pulpa en cada estado de maduración. Las diferencias de color son apreciables a simple vista.

Figura *8*

Pulpa de cereza china (Dovyalis abyssinica (A. Rich.) Warb.) en diferentes estados de madurez.



Fase III Fase IV Fase V

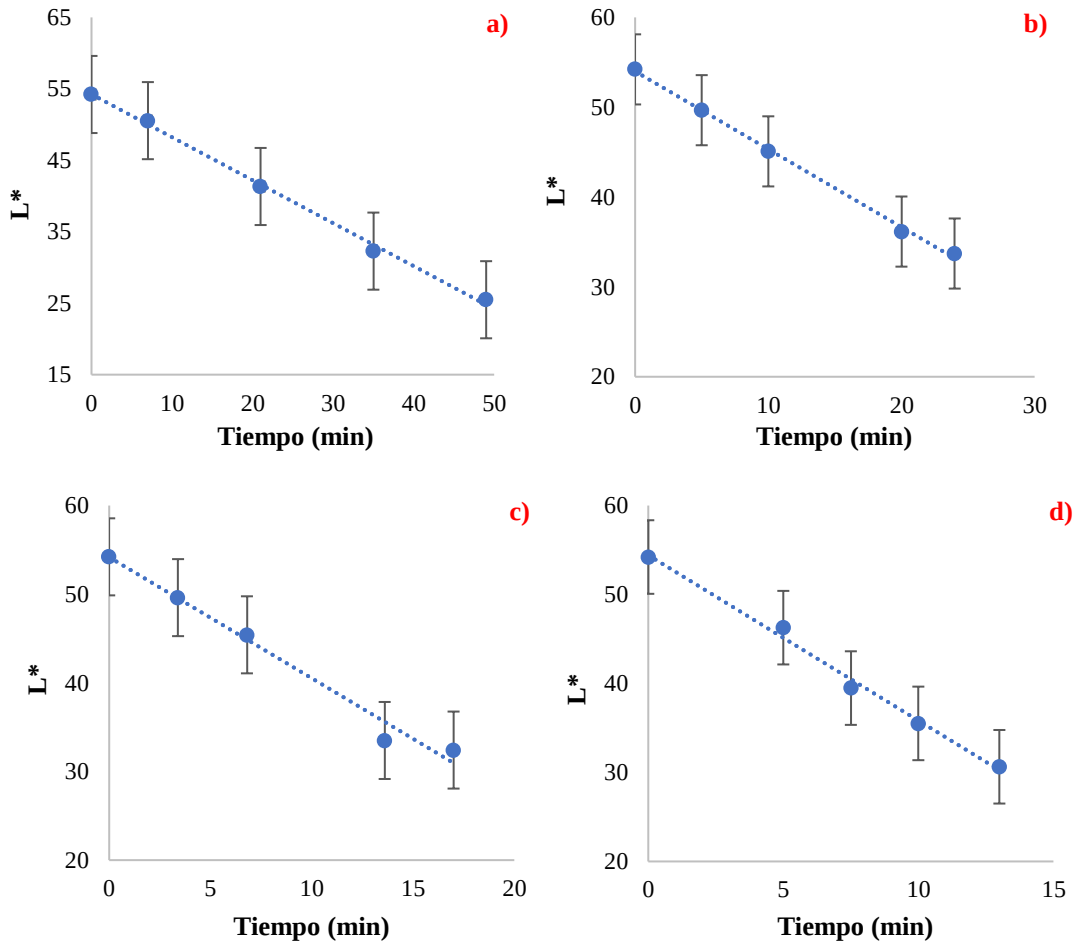
3.1.1.2. Luminosidad (L*)

En la Figura 9 se observa una clara disminución de los valores de luminosidad (L*) en todas las temperaturas ensayadas. Este efecto se debe a las reacciones de caramelización que se producen a altas temperaturas durante el tiempo de procesamiento (Kocadağli & Gökmen 2018). La luminosidad (L*) es un parámetro de color que mide la claridad de un producto, y su disminución indica un oscurecimiento. Este cambio de color es un factor de calidad importante en la mermelada, por lo que su control es crucial para obtener las características sensoriales deseadas (Talens Oliag, 2017).

Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con los hallazgos de Quintas et al., (2007), en mermelada de guayaba. En este caso se observó una disminución significativa en la luminosidad (L*) al finalizar el proceso térmico, atribuible a la formación de compuestos carbonílicos y a la interacción de la pectina presente en la fruta con el azúcar, durante la reacción de caramelización, otorgando a la mermelada su característico color marrón.

Figura 9

Variación del valor L en función del tiempo y de la temperatura*



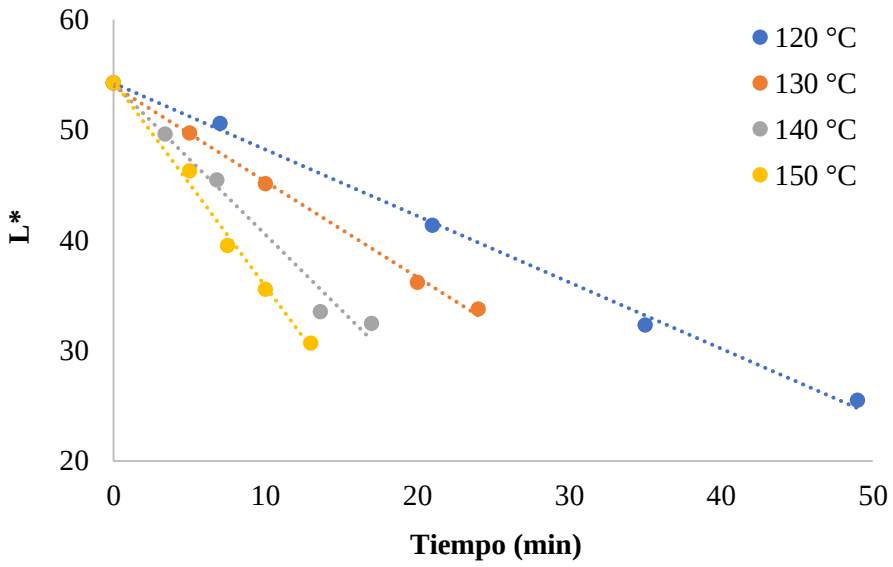
a) 120 C° b) 130 C° c) 140 C° d) 150 C°

La Figura 10 muestra una comparación de los valores de L* a las temperaturas evaluadas. Nótese el efecto de la temperatura en la disminución de L*; es decir, la disminución es más pronunciada al elaborar la mermelada a altas temperaturas. Este se alinea con lo reportado por Radhiah & Kasim (2010), quienes señalan que el incremento de productos pardeados se debe a que, a mayor temperatura, las reacciones de caramelización se aceleran, produciendo una mayor pérdida de luminosidad en un tiempo corto.

Sin embargo, a pesar de que la pendiente es menos pronunciada a 120°C, al finalizar el experimento (49 minutos), esta muestra presenta el valor de luminosidad más bajo (25,48) frente al resto de muestras. Esta tendencia coincide con lo reportado por Göncüoğlu Taş & Gökmen (2017), quienes asocian la mayor disminución de luminosidad, a un mayor tiempo de tratamiento. En este caso, el tratamiento permite que las reacciones de caramelización se desarrollen por un período más prolongado, generando una mayor formación de compuestos de colores oscuros (Narvaiz et al., 2015). Lo antes expuesto permite concluir que, si bien la temperatura juega un papel crucial en la aceleración de las reacciones de caramelización, el tiempo de tratamiento también es un factor determinante.

Figura 10

Variación del valor L en función del tiempo*



La Tabla 6 evidencia las ecuaciones lineales obtenidas al graficar la variación de L* frente al tiempo de procesamiento. Nótese que en todos los casos se reportan valores de coeficiente de correlación (r^2), superiores a 0,98. Además, se evidenció una pendiente más pronunciada en las ecuaciones para los tratamientos a mayor temperatura, lo que indica una mayor caramelización. Este comportamiento se alinea con los hallazgos de Pontes et al. (2023), quienes demostraron que la reacción de caramelización se intensifica con el aumento de la temperatura, produciendo diferencias significativas en la luminosidad de la mermelada.

Tabla 6

Ecuaciones de la recta para la variación de la luminosidad (L) en función del tiempo*

Temperatura (°C)	Ecuación	r^2
120	L* = -0,6011 (t) + 54,237	0,9971
130	L* = -0,8665 (t) + 53,995	0,9979
140	L* = -1,3654 (t) + 54,237	0,9819
150	L* = -1,8587 (t) + 54,422	0,9924

3.1.1.2. Coordenadas a* y b*

Las Figuras 11 y 12 evidencia el comportamiento de las coordenadas de color a* y b*, respectivamente, a todas las temperaturas evaluadas. Si bien se observan tendencias interesantes, no es conveniente discutir estos valores de forma independiente, ya que cada uno de ellos son coordenadas aisladas, que se deben analizar de forma conjunta en forma de croma (C*) y tono (h*). Sin embargo, se consideró prudente representarlas de cara a posteriores análisis comparativos.

Figura 11

Variación del valor a en función del tiempo*

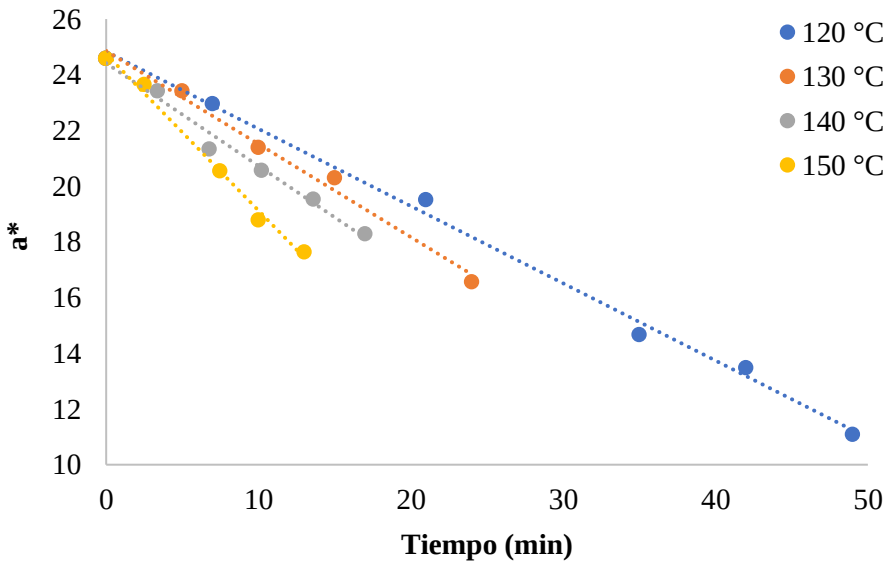
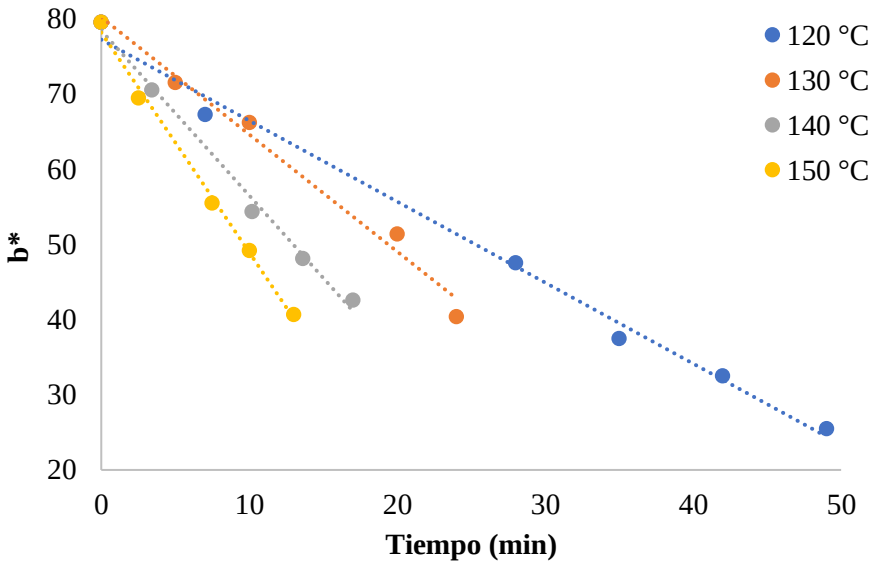


Figura 12

Variación del valor b en función del tiempo*



3.1.1.3. Croma (C*)

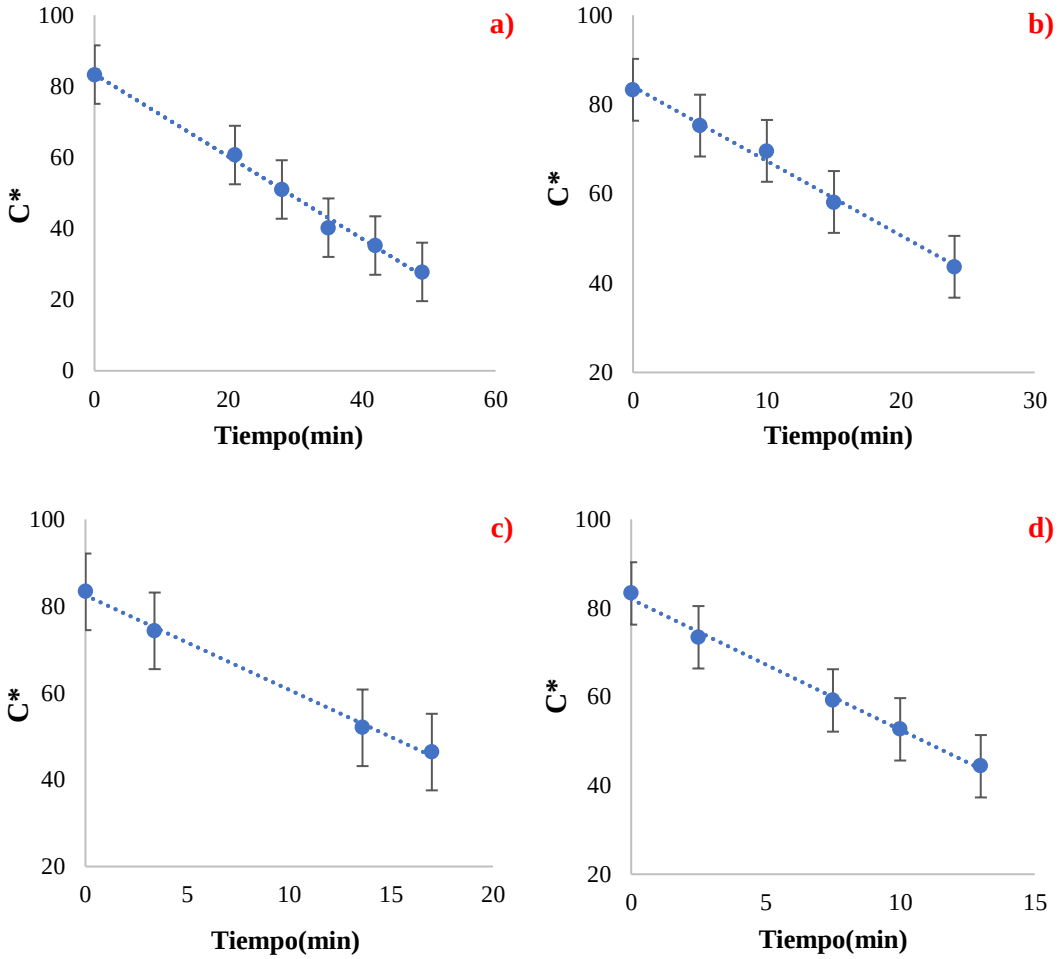
Los valores de a* y b* permitieron calcular los valores de croma (C*) y las tendencias halladas se observan en la Figura 13. En todas las temperaturas se observa una tendencia lineal decreciente a medida que avanza el tratamiento térmico. En el espacio CIELab el valor de croma (C*) representa la pureza o saturación del color. Un valor alto de croma indica un color altamente saturado, mientras que un valor bajo indica un color más pálido y menos intenso (Talens Oliag, 2017). Es decir, en este experimento se observan valores menos saturados con la ejecución del experimento.

Para observan la variación de este parámetro en función de la temperatura, se consolidó la información en una sola gráfica y el resultado se presenta en la Figura 14. Se observa un mayor decremento del tono a 150°C; es decir, la temperatura de procesamiento influye considerablemente en este parámetro.

Teóricamente el aumento de temperatura causa colores más oscuros, por lo que se podría inferir que se deberían observar colores más saturados; sin embargo, en este experimento se observan tonalidades menos saturadas. Para explicar este fenómeno es necesario hacer también un análisis de los valores de tono (h*), ya que quizás se observen colores menos saturados (tendencia en el croma decreciente), pero a su vez el experimento arroje también una tendencia decreciente en los valores de tono. Esto indicaría que las muestras cambian de ubicación en el espacio CIELab; es decir, se desplazan desde la zona de los amarillos (h* próximo a 90°), hacia la zona de los rojos (h* próximo a 0°). Es decir, que presenten valores de croma inferiores, pero a su vez también valores de tono inferiores, en función del tiempo de procesamiento. Este efecto ha sido observado previamente en mermeladas de fresa y frambuesa elaboradas a diferentes temperaturas (Berit, et al. 2020).

Figura 13

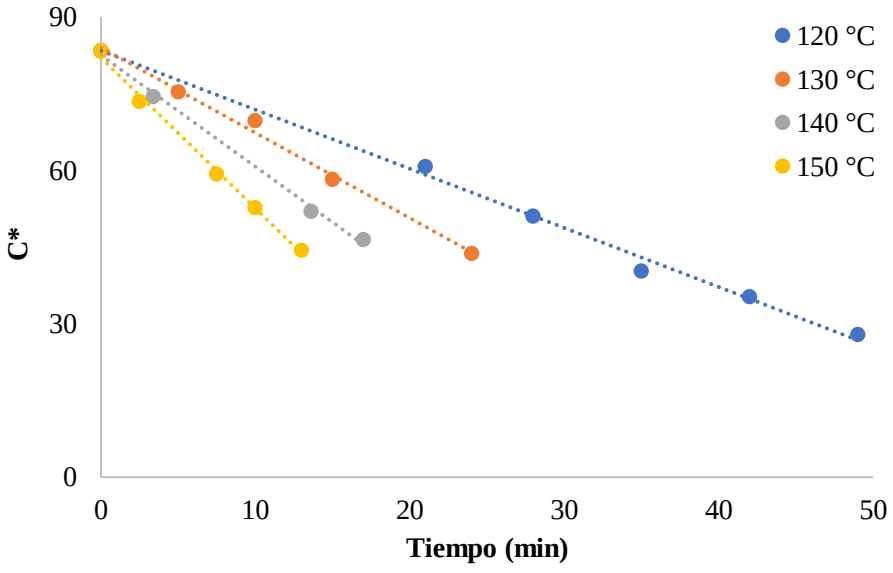
Variación del valor C en función del tiempo y de la temperatura*



a) 120 C° b) 130 C° c) 140 C° d) 150

Figura 14

Variación del valor C en función del tiempo*



En la Tabla 7 se reportan las ecuaciones lineales que describen el comportamiento del croma (C*) en función del tiempo. Nótese que en todos los casos se reportan valores de coeficiente de correlación (r^2), superiores a 0,993. Además, se observa una relación directamente proporcional entre la pendiente y la temperatura, mostrando el efecto de esta última propiedad física en este parámetro de color.

Tabla 7

Ecuaciones de la recta para la variación del croma (C) en función del tiempo*

Temperatura (°C)	Ecuación	r^2
120	C* = -1,1558 (t) + 83,416	0,9946
130	C* = -1,6650 (t) + 84,003	0,9930
140	C* = -2,1768 (t) + 82,490	0,9969
150	C* = -2,9432 (t) + 82,003	0,9958

3.1.1.4. Tono (h*)

Los valores del tono (h*) a las cuatro temperaturas evaluadas se reportan en la Figura 15. Los valores oscilan entre 64°y 74°, es decir se encuentran en la zona de los amarillos a naranjas (Talens Oliag, 2017).

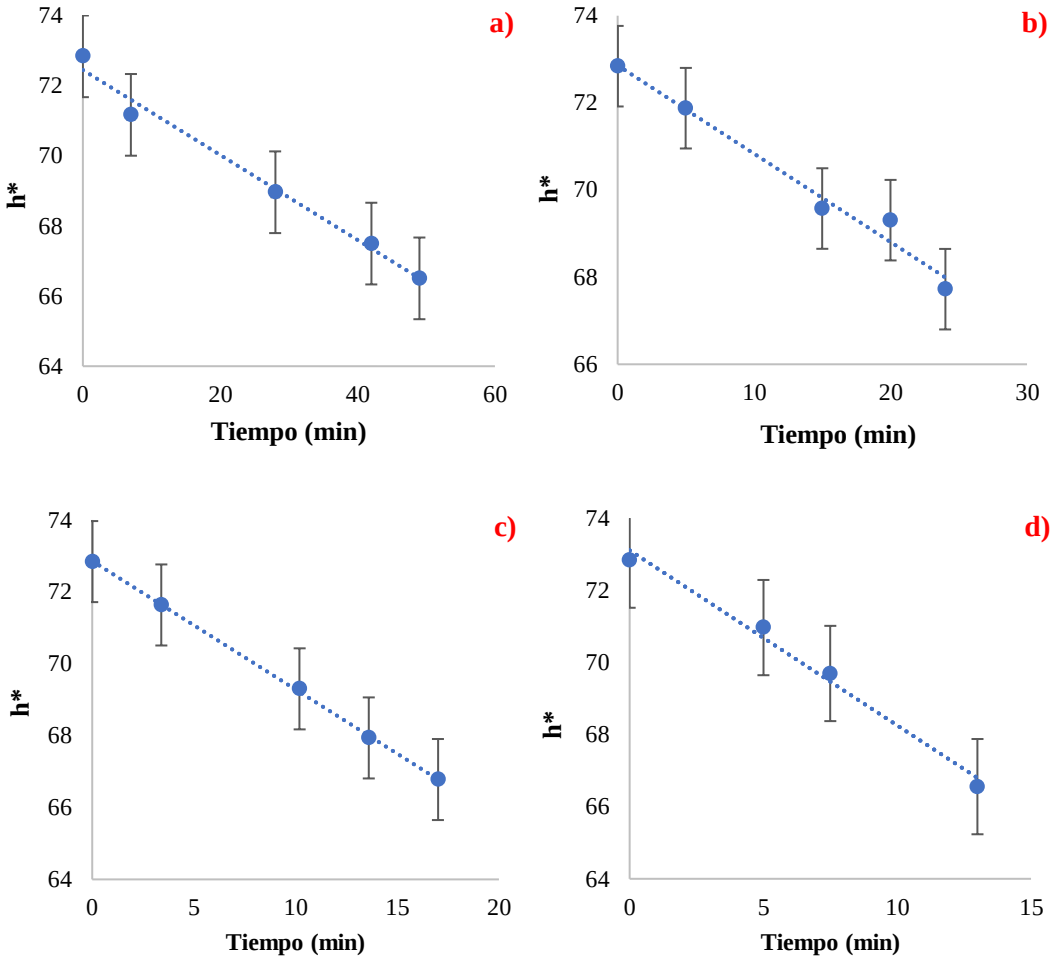
La Figura 16 consolida el comportamiento del tono para las cuatro temperaturas evaluadas. Se observa un claro desplazamiento del ángulo de tonalidad hacia la zona de los rojos en el espacio CIELab, debido al proceso de caramelización que causa colores que tienden hacia los colores naranja oscuros. Este efecto fue observado por Nowak et al. (2021), durante el proceso térmico, como consecuencia de la caramelización del azúcar.

Así mismo, este cambio se le atribuye a los productos formados en la reacción de Maillard, pero en pequeñas cantidades, debido a que las frutas no poseen un contenido de proteína elevado, componente principal para que se produzca esta reacción (Aksay et al., 2018).

Por otro lado, Rolim De Moura et al. (2011), demostró que en el proceso de elaboración de mermelada de fresa juega un papel importante la oxidación de la vitamina C, ya que puede dar origen a la formación de hidroximetilfurfural y furfural, que posteriormente dan lugar a las melanoidinas, las cuales se caracteriza por dar una apariencia más oscura a las mermeladas. La fruta *Dovyalis abyssinica* tiene un alto contenido de vitamina C (117 mg/100g), superior a de la una fresa (50 mg/100g) (Waweru et al., 2022b), lo que puede ser uno de los factores que influyeron en la variación de la tonalidad en la elaboración de mermelada de cereza china.

Figura 15

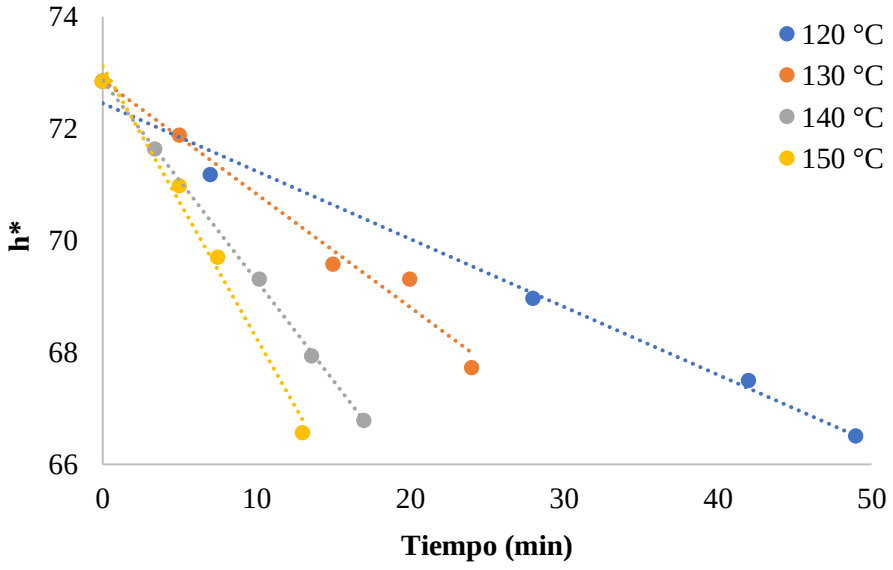
Variación del valor C en función del tiempo y de la temperatura de procesamiento*



a) 120 C° b) 130 C° c) 140 C° d) 150 C°

Figura 16

Variación del valor h en función del tiempo*



La Tabla 8 muestra las ecuaciones lineales decrecientes que describen la variación del tono (h*) en función del tiempo. Nótese que en todos los casos se reportan valores de coeficiente de correlación (r^2), superiores a 0,97. Además, se observa una relación directamente proporcional entre la pendiente y la temperatura, mostrando el efecto de esta última propiedad física en los parámetros de color.

Tabla 8

Ecuaciones de la recta para la variación del tono (h) en función del tiempo*

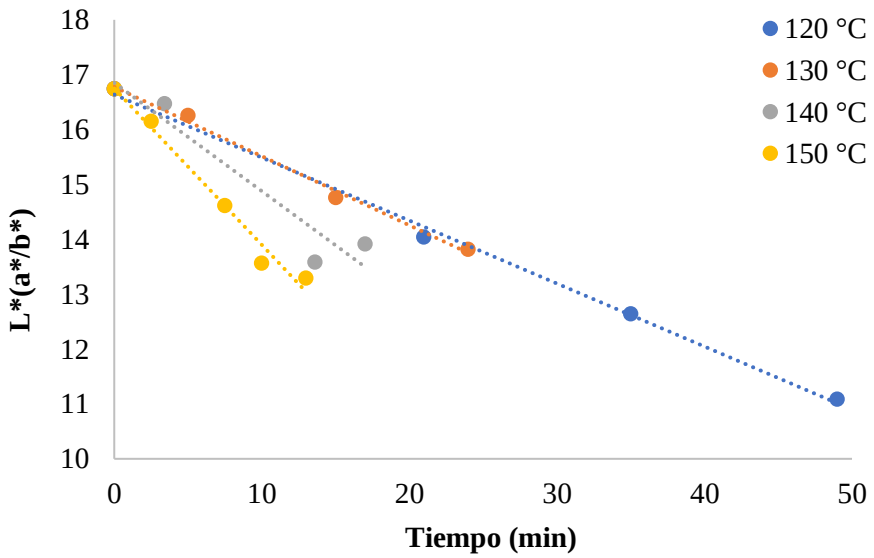
Temperatura (°C)	Ecuación	r^2
120	h* = -0,1212 (t) + 72,452	0,9865
130	h* = -0,2026 (t) + 72,859	0,9774
140	h* = -0,3575 (t) + 72,858	0,9995
150	h* = -0,4858 (t) + 73,113	0,9874

3.1.1.5. Relación L*(a*/b*)

Otro parámetro que es utilizado para el control de calidad en matrices alimentario y muestra degradación térmica del color es la relación L*(a*/b*). Se observa igualmente un valor decreciente (Figura 17), lo que indica una degradación del pigmento amarillo característico el alimento (Dutta et al., 2006).

Figura 17

Variación del valor L(a*/b*) en función del tiempo*



La Tabla 9 muestra las ecuaciones que describen la tendencia de la relación L*(a*/b*) en función del tiempo. Nótese que en todos los casos se reportan valores de coeficiente de correlación (r^2), superiores a 0,98, a excepción de la muestra a 140°C que presentó un valor inferior (0,9258).

Tabla 9

Ecuaciones de la recta para la variación de la relación L(a*/b*) en función del tiempo*

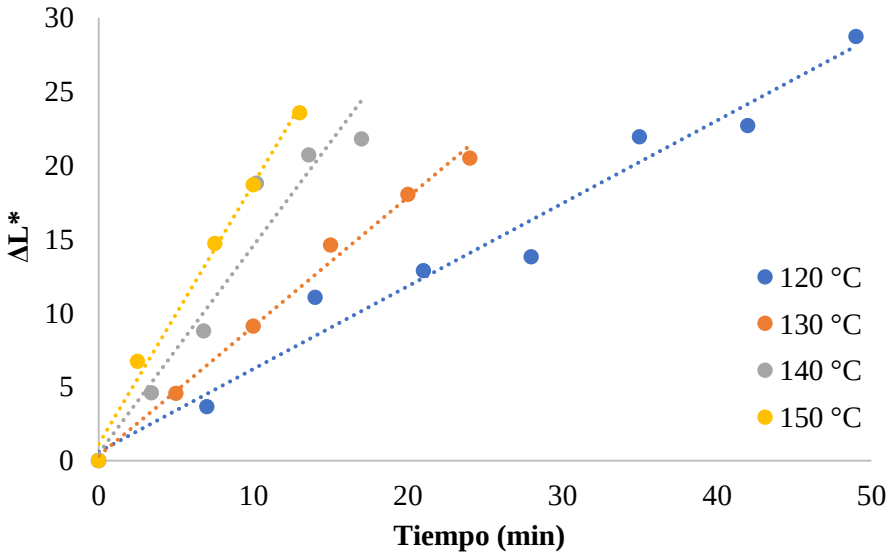
Temperatura (°C)	Ecuación	r^2
120	L*(a*/b*) = -0,1148 (t) + 16,638	0,9972
130	L*(a*/b*) = -0,1260 (t) + 16,776	0,9936
140	L*(a*/b*) = -0,1975 (t) + 16,852	0,9258
150	L*(a*/b*) = -0,2850 (t) + 16,749	0,9802

3.1.1.6. Variación de la luminosidad (ΔL*)

Se consideró oportuno evaluar la variación de diferentes parámetros de color, tomando como referencia las coordenadas de la pulpa fresca. La Figura 18 evidencia la variación de luminosidad (ΔL) en función del tiempo y a las cuatro temperaturas evaluadas. Similar a lo discutido en el apartado 3.1.1.1, se observa una mayor variación de L* a temperaturas altas.

Figura 18

Variación del valor ΔL en función del tiempo*



La Tabla 10 muestra las ecuaciones lineales que representan la variación de la luminosidad en función del tiempo. Nótese la tendencia creciente y la influencia de la temperatura en el aumento de los valores de las pendientes.

Tabla 10

Ecuaciones de la recta para la variación de luminosidad (ΔL) en función del tiempo*

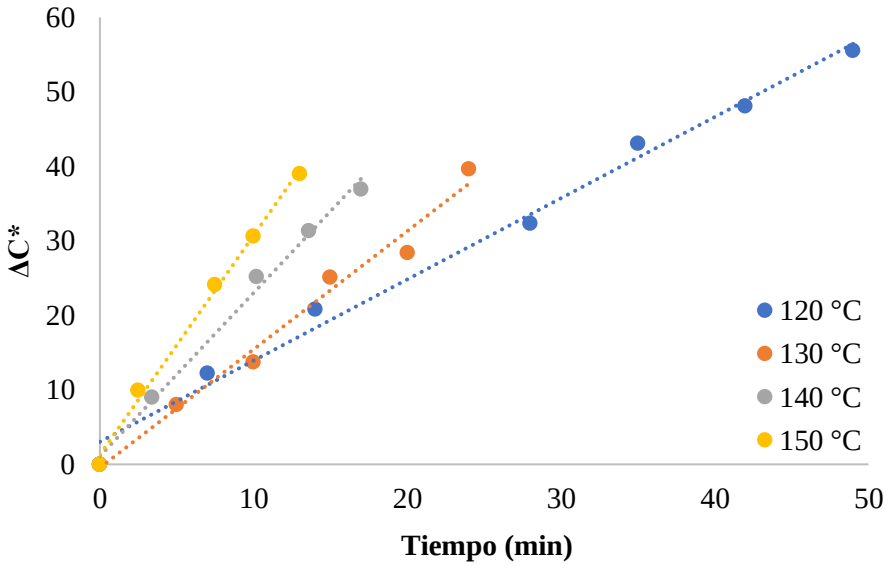
Temperatura (°C)	Ecuación	r^2
120	ΔL* = 0,5611 (t) + 0,5978	0,9704
130	ΔL* = 0,8755 (t) + 0,3381	0,9931
140	ΔL* = 1,4059 (t) + 0,4977	0,9393
150	ΔL* = 1,7598 (t) + 1,1317	0,9913

3.1.1.7. Variación del croma (ΔC*)

La recta de la variación del croma (ΔC*) en la Figura 19 muestra que los valores de croma (C*) obtenidos aumentan en función de tiempo. Según Garai & Horvath, (2018), los valores positivos ΔC*indican que las muestras presentan valores de croma menores al croma de referencia.

Figura 19

Variación del valor ΔC en función del tiempo*



La Tabla 11 muestra las ecuaciones que describen el comportamiento de la variación de croma (ΔC*) en función del tiempo. En todos los casos se obtuvieron valores del coeficiente de correlación (r^2) superiores a 0,98, lo que indica que estas ecuaciones pueden utilizarse para predecir los cambios de color durante el proceso de elaboración de la mermelada. Nótese un aumento de los valores de la pendiente en función del aumento de temperatura, lo que indica que la mermelada presentará colores más saturados si se procesa a temperaturas altas.

Tabla 11

Ecuaciones de la recta para variación de croma (ΔC) en función del tiempo*

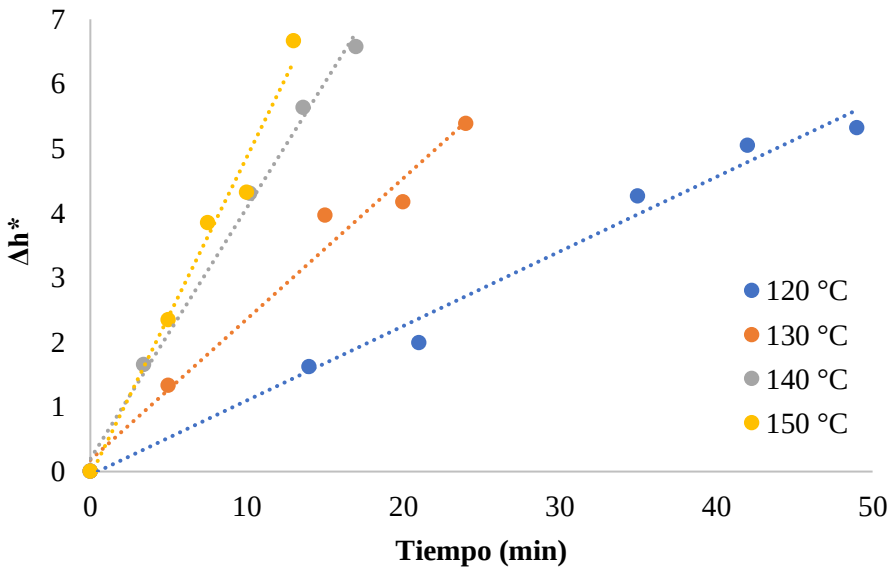
Temperatura (°C)	Ecuación	r^2
120	ΔC* = 1,0901 (t) + 3,0257	0,9900
130	ΔC* = 1,5880 (t) - 0,4440	0,9821
140	ΔC* = 2,1914 (t) + 1,1035	0,9933
150	ΔC* = 2,9431 (t) + 1,2930	0,9958

3.1.1.8. Variación del tono (Δh*)

Las rectas que describen la variación de la tonalidad Δh* se representa en la Figura 20. Nótese un claro aumento del ángulo de tono en todos los casos, siendo mayor la variación al trabajar a 150°C.

Figura 20

Variación del valor Δh en función del tiempo*



Las rectas que describen la variación de la tonalidad Δh* frente al tiempo se presenta en la Tabla 12. Nótese que muestran una clara tendencia lineal con un coeficiente de correlación (r^2) elevado.

Tabla 12

Ecuaciones de la recta para la variación del tono (Δh) en función del tiempo*

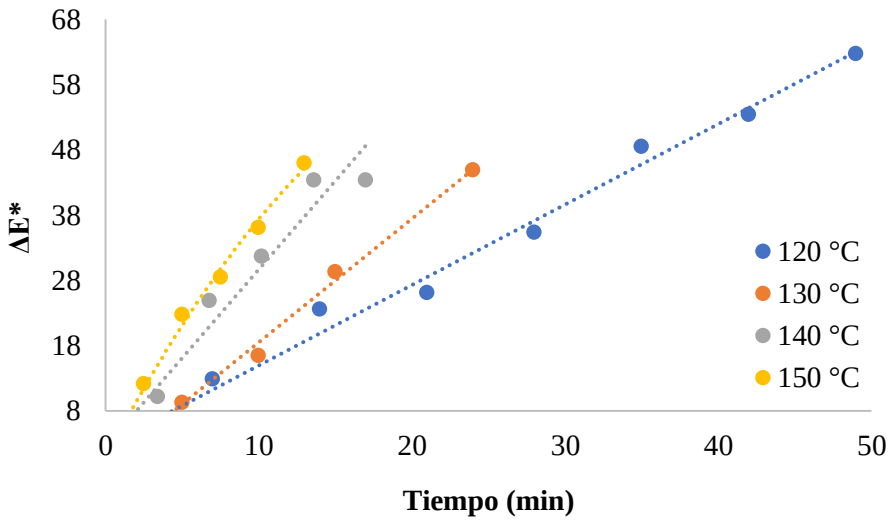
Temperatura (°C)	Ecuación	r^2
120	Δh* = 0,1153 (t) - 0,0532	0,9837
130	Δh* = 0,2180 (t) + 0,1798	0,9777
140	Δh* = 0,3886 (t) + 0,1962	0,9949
150	Δh* = 0,4933 (t) - 0,0667	0,9814

3.1.1.9. Variación global de color (ΔE*)

La variación global de color (ΔE*) para todas las muestras se representa en la Figura 16. Al comparar el color de los objetos, se observa que existen claras diferencia. Según Patel et al., (2023), indica que mientras más diferencia existe entre las coordenadas individuales (L*, a*, y b*), mayor será la variación global de color. Se estima que valores superiores a 15 en este parámetro, son perceptibles para el ojo humano. Por ende, en todos los casos las variaciones serán evidentes para el consumidor, sin importar la temperatura de procesamiento.

Figura 21

21Variación del valor ΔE en función del tiempo*



En la Tabla 13 se reportan las ecuaciones que describen la tendencia de la variación global de color (ΔE*) frente al tiempo.

Tabla 13

Ecuaciones de la recta para la variación global de color (ΔE) en función del tiempo*

Temperatura (°C)	Ecuación	r^2
120	ΔE* = 1,2336 (t) + 2,6127	0,9871
130	ΔE* = 1,8941 (t) - 0,4448	0,9950
140	ΔE* = 2,7151 (t) + 2,5152	0,9553
150	ΔE* = 3,4151 (t) - 2,6433	0,9862

3.1.2. Modelamiento matemático de la cinética de degradación térmica del color

Los cambios de color durante el tratamiento térmico en la elaboración de mermelada de cereza china son cuantificables mediante los factores de color: L*, C*, h*, L*(a*/b*), ΔL*, ΔC*, Δh* y ΔE*. Mediante estos parámetros se pudo establecer un modelo cinético para la evaluación de la pérdida de color de la pulpa de cerezo chino durante el tratamiento térmico.

Para dar lugar al modelo cinético se seleccionaron las constantes de velocidad (pendientes), para con ellas ajustar la ecuación de Arrhenius y determinar así el orden de reacción y la energía de activación (Giménez et al., 2015). Los valores obtenidos se reportan en las Tablas 22 y 23.

3.1.2.1. Luminosidad (L*)

La Tabla 14 muestra que la luminosidad a 120, 130, 140 y 150 se adapta de mejor manera a la ecuación de regresión lineal de orden cero, debido a que muestran valores de R2 más cercanos a 1. A diferencia del tratamiento a 150 que se adapta ligeramente mejor a la mejor a la de orden 1.

Tabla 14

Constantes de reacción del valor L, parámetro de color en función del tiempo y temperatura*

Temperatura (°C)	Constantes de modelo y r^2	Modelo cinético		
		Orden cero $C = C_0 + (-\ k_0)\ t$	**Primer orden** $C\ =\ C_0\ exp\ (-\ k_1)\ t$	**Segundo orden** $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + (-k_2)t$
120	Constantes del modelo	k: 0,6011 C_0: 54,237 SE: 1,68 P (%): 0,5	k: 0,004 C_0: 4,0267 SE: 0,44 P (%): 9,53	k: 0,0004 C_0: 58,480 SE: 0,15 P (%): 1,56
	r^2	0,9971	0,9533	0,9740
130	Constantes del modelo	k: 0,8665 C_0: 53,995 SE: 0,35 P (%): 0,004	k: 0,005 C_0: 4,054 SE: 0,36 P (%): 10,52	k: 0,0005 C_0: 55,556 SE: 0,13 P (%): 1,29
	r^2	0,9979	0,9973	0,9930
140	Constantes del modelo	k: 1,3654 C_0: 54,174 SE: 1,17 P (%): 0,23	k: 0,009 C_0: 4,0127 SE: 0,42 P (%): 9,87	k: 0,0008 C_0: 56,180 SE: 0,14 P (%): 1,67
	r^2	0,9819	0,9783	0,9716
150	Constantes del modelo	k: 1,8587 C_0: 54,422 SE: 0,72 P (%): 0,02	k: 0,011 C_0: 3,9895 SE: 0,40 P (%): 8,26	k: 0,0011 C_0: 56,180 SE: 0,17 P (%): 1,34
	r^2	0,9924	0,9957	0,9683

3.1.2.2. Croma (C*)

La Tabla 15 muestra que el Valor de croma a 120, 130 y 150 se adapta de mejor manera a la ecuación de regresión lineal de orden cero, debido a que muestran valores de R2 más cercanos a 1. A diferencia del tratamiento a 140 que se adapta ligeramente mejor a la mejor a la de orden 1.

Tabla 15

Constantes de reacción del valor C, parámetro de color en función del tiempo y temperatura*

Temperatura (°C)	Constantes de modelo y r^2	Modelo cinético		
		Orden cero $C = C_0 + (-\ k_0)\ t$	**Primer orden** $C\ =\ C_0\ exp\ (-\ k_1)\ t$	**Segundo orden** $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + (-k_2)t$
120	Constantes del modelo	k: 1,1558 C_0: 83,416 SE: 1,34 P (%): 0,03	k: 0,006 C_0: 4,4866 SE: 0,08 P (%): 1,03	k: 0,0005 C_0: 93,458 SE: 0,15 P (%): 6,62
	r^2	0,9946	0,9630	0,9620
130	Constantes del modelo	k: 1,1665 C_0: 84,003 SE: 1,52 P (%): 0,03	k: 0,006 C_0: 4,4611 SE: 0,12 P (%): 1,07	k: 0,0005 C_0: 90,909 SE: 0,16 P (%): 5,17
	r^2	0,9930	0,9542	0,9496
140	Constantes del modelo	k: 2,1768 C_0: 82,490 SE: 1,16 P (%): 0,02	k: 0,008 C_0: 4,4272 SE: 0,06 P (%): 0,98	k: 0,0006 C_0: 83,333 SE: 0,11 P (%): 8,34
	r^2	0,9969	0,9998	0,9857
150	Constantes del modelo	k: 2,9432 C_0: 82,003 SE: 1,38 P (%): 0,03	k: 0,012 C_0: 4,4291 SE: 0,05 P (%): 0,96	k: 0,0008 C_0: 84,746 SE: 0,13 P (%): 6,22
	r^2	0,9958	0,9955	0,9786

3.1.2.3. Tono (h*)

La Tabla 16 muestra que el Valor tonalidad a 130 y 140 se adaptan de mejor manera a la ecuación de regresión lineal de orden cero, debido a que muestran valores de R2 más cercanos a 1. A diferencia del tratamiento a 120 y a 150 que se adapta ligeramente mejor a la ecuación de orden 1.

Tabla 16

Constantes de reacción del valor h, parámetro de color en función del tiempo y temperatura*

Temperatura (°C)	Constantes de modelo y r^2	Modelo cinético		
		Orden cero $C = C_0 + (-\ k_0)\ t$	**Primer orden** $C\ =\ C_0\ exp\ (-\ k_1)\ t$	**Segundo orden** $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + (-k_2)t$
120	Constantes del modelo	k: 0,1212 C_0: 72,452 SE: 1,57 P (%): 0,003	k: 0,0004 C_0: 4,2914 SE: 0,06 P (%): 6,87	k: 3E-05 C_0: 72,993 SE: 0,11 P (%): 9,52
	r^2	0,9865	0,9869	0,9863
130	Constantes del modelo	k: 0,2026 C_0: 72,859 SE: 1,32 P (%): 0,002	k: 0,0007 C_0: 4,2888 SE: 0,05 P (%): 6,97	k: 4E-05 C_0: 72,993 SE: 0,11 P (%): 8,09
	r^2	0,9774	0,9759	0,9105
140	Constantes del modelo	k: 0,3575 C_0: 72,858 SE: 1,69 P (%): 0,004	k: 0,001 C_0: 4,2853 SE: 0,002 P (%): 6,34	k: 7E-05 C_0: 72,464 SE: 0,14 P (%): 8,52
	r^2	0,9995	0,9626	0,9639
150	Constantes del modelo	k: 0,4858 C_0: 73,113 SE: 1,81 P (%): 0,003	k: 0,001 C_0: 4,2882 SE: 0,002 P (%): 7,05	k: 9E-05 C_0: 72,993 SE: 0,12 P (%): 9,64
	r^2	0,9874	0,9907	0,9538

3.1.2.4. Relación L*(a*/b*)

La Tabla 17 muestra que el Valor tonalidad a 120, 140 y 150 se adaptan de mejor manera a la ecuación de regresión lineal de orden cero, debido a que muestran valores de R2 más cercanos a 1. A diferencia del tratamiento a 130 que se adapta ligeramente mejor a la ecuación de orden 1.

Tabla 17

*Constantes de reacción del valor L(a/b) *, parámetro de color en función del tiempo y temperatura*

Temperatura (°C)	Constantes de modelo y r^2	Modelo cinético		
		Orden cero $C = C_0 + (-\ k_0)\ t$	**Primer orden** $C\ =\ C_0\ exp\ (-\ k_1)\ t$	**Segundo orden** $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + (-k_2)t$
120	Constantes del modelo	k: 0,1148 C_0: 16,638 SE: 1,27 P (%): 0,002	k: 0,003 C_0: 2,8107 SE: 0,51 P (%): 9,76	k:0,0006 C_0: 16,750 SE: 0,17 P (%): 1,12
	r^2	0,9972	0,9894	0,987
130	Constantes del modelo	k: 0,126 C_0: 16,776 SE: 1,36 P (%): 0,004	k: 0,003 C_0: 2,8225 SE: 0,47 P (%): 9,83	k: 0,0006 C_0: 16,539 SE: 0,16 P (%): 1,12
	r^2	0,9936	0,9946	0,8954
140	**Constantes** del modelo	k: 0,1974 C_0: 16,852 SE: 1,32 P (%): 0,002	k: 0,005 C_0: 2,842 SE: 0,54 P (%): 10,76	k: 0,0009 C_0: 16,892 SE: 0,12 P (%): 1,35
	r^2	0,9258	0,6575	0,915
150	Constantes del modelo	k: 0,285 C_0: 16,749 SE: 1,21 P (%): 0,002	k: 0,007 C_0: 2,8282 SE: 0,47 P (%): 9,57	k: 0,0013 C_0: 17,065 SE: 0,15 P (%): 1,14
	r^2	0,9802	0,9687	0,9446

3.1.2.5. Variación de la luminosidad (ΔL*)

La Tabla 18 muestra que la variación de luminosidad es de 120, 130, 140 y 150°C se adaptan de mejor manera a la ecuación de regresión lineal de orden cero, debido a que muestran valores de r^2 más cercanos a 1.

Tabla 18

Constantes de reacción del valor ΔL, parámetro de color en función del tiempo y temperatura*

Temperatura (°C)	Constantes de modelo y r^2	Modelo cinético		
		Orden cero $C = C_0 + (-\ k_0)\ t$	**Primer orden** $C\ =\ C_0\ exp\ (-\ k_1)\ t$	**Segundo orden** $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + (-k_2)t$
120	Constantes del modelo	k: 0,5798 C_0: 0,51031 SE: 0,32 P (%): 0,003	k: 0,0097 C_0: 2,0688 SE: 0,36 P (%): 9,32	k: 0,0016 C_0: 8,811 SE: 0,15 P (%): 1,52
	r^2	0,9908	0,9842	0,989
130	Constantes del modelo	k: 0,8755 C_0: 0,3381 SE: 0,34 P (%): 0,004	k: 0,0427 C_0: 1,3228 SE: 0,36 P (%): 8,92	k: 0,0084 C_0: 4,454 SE: 0,12 P (%): 1,63
	r^2	0,9931	0,8973	0,8040
140	Constantes del modelo	k: 1,4059 C_0: 0,4977 SE: 0,36 P (%): 0,003	k: 0,0511 C_0: 1,4009 SE: 0,38 P (%): 9,08	k: 0,012 C_0: 4,583 SE: 0,16 P (%): 1,26
	r^2	0,9393	0,9019	0,7699
150	Constantes del modelo	k: 1,7598 C_0: 0,1317 SE: 0,31 P (%): 0,002	k: 0,0519 C_0: 1,6547 SE: 0,31 P (%): 9,81	k: 0,0109 C_0: 5,695 SE: 0,14 P (%): 1,68
	r^2	0,9913	0,9692	0,9676

3.1.2.6. Variación del croma (ΔC*)

La Tabla 19 muestra la variación del croma a las diferentes temperaturas analizadas. Se observan valores superiores de coeficiente de correlación (r^2) en el modelo cinético de orden cero, a excepción del tratamiento a 130°C, que se adapta ligeramente mejor a la ecuación de primer orden.

Tabla 19

Constantes de reacción del valor ΔC, parámetro de color en función del tiempo y temperatura*

Temperatura (°C)	Constantes de modelo y r^2	Modelo cinético		
		Orden cero $C = C_0 + (-\ k_0)\ t$	**Primer orden** $C\ =\ C_0\ exp\ (-\ k_1)\ t$	**Segundo orden** $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + (-k_2)t$
120	Constantes del modelo	k: 1,0901 C_0: 3,0257 SE: 1,75 P (%): 0,04	k: 0,0087 C_0: 2,6835 SE: 1,75 P (%): 0,04	k: 0,0009 C_0: 16,556 SE: 0,16 P (%): 1,34
	r^2	0,9900	0,9549	0,9571
130	Constantes del modelo	k: 1,588 C_0: -0,444 SE: 1,63 P (%): 0,05	k: 0,0289 C_0: 1,8675 SE: 0,17 P (%): 1,46	k: 0,0032 C_0: 10,183 SE: 0,13 P (%): 1,26
	r^2	0,9821	0,9848	0,9844
140	Constantes del modelo	k: 2,1914 C_0: 1,1035 SE: 1,59 P (%): 0,04	k: 0,0347 C_0: 2,0271 SE: 0,18 P (%): 1,58	k: 0,0017 C_0: 17,921 SE: 0,14 P (%): 1,23
	r^2	0,9933	0,8975	0,9844
150	Constantes del modelo	k: 2,9432 C_0: 1,293 SE: 1,61 P (%): 0,06	k: 0,0453 C_0: 2,1278 SE: 0,21 P (%): 1,73	k: 0,0028 C_0: 16,340 SE: 0,12 P (%): 1,18
	r^2	0,9958	0,9277	0,9924

3.1.2.7. Variación del tono (Δh*)

La Tabla 20 muestra que la variación de tonalidad a 120, 130, 140 y 150 se adaptan de mejor manera a la ecuación de regresión lineal de orden cero, debido a que muestran valores de r^2 más cercanos a 1.

Tabla 20

Constantes de reacción del valor Δh, parámetro de color en función del tiempo y temperatura*

Temperatura (°C)	Constantes de modelo y r^2	Modelo cinético		
		Orden cero $C = C_0 + (-\ k_0)\ t$	**Primer orden** $C\ =\ C_0\ exp\ (-\ k_1)\ t$	**Segundo orden** $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + (-k_2)t$
120	Constantes del modelo	k: 0,1153 C_0: -0532 SE: 0,22 P (%): 0,05	k: 0,0451 C_0: 0,266 SE: 0,43 P (%): 6,63	k: 0,0062 C_0: 2,175 SE: 0,15 P (%): 1,23
	r^2	0,9837	0,9521	0,8782
130	Constantes del modelo	k: 0,2180 C_0: 0,1798 SE: 0,25 P (%): 0,06	k: 0,0944 C_0: 0,2177 SE: 0,68 P (%): 10,63	k: 0,0301 C_0: 1,192 SE: 0,13 P (%): 1,19
	r^2	0,9777	0,7594	0,8708
140	Constantes del modelo	k: 0,3886 C_0: 0,1962 SE: 0,29 P (%): 0,07	k: 0,0997 C_0: 0,4133 SE: 0,47 P (%): 7,51	k: 0,0342 C_0: 1,493 SE: 0,14 P (%): 1,16
	r^2	0,9949	0,8307	0,8863
150	Constantes del modelo	k: 0,4933 C_0: -0,0660 SE: 0,21 P (%): 0,04	k: 0,1083 C_0: 1,5655 SE: 0,46 P (%): 6,14	k: 0,305 C_0: 1,867 SE: 0,13 P (%): 1,22
	r^2	0,9814	0,9698	0,9365

3.1.2.8. Diferencia global de color (ΔE*)

La Tabla 21 muestra que la variación global de color a 120, 130, 140 y 150°C se adaptan de mejor manera a la ecuación de regresión lineal de orden cero, debido a que muestran valores de r^2 más cercanos a 1.

Tabla 21

Constantes de reacción del valor ΔE, parámetro de color en función del tiempo y temperatura*

Temperatura (°C)	Constantes de modelo y r^2	Modelos		
		Orden cero $C = C_0 + (-\ k_0)\ t$	**Primer orden** $C\ =\ C_0\ exp\ (-\ k_1)\ t$	**Segundo orden** $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + (-k_2)t$
120	Constantes del modelo	k: 1,2336 C_0: 2,6127 SE: 1,36 P (%): 0,04	k: 0,0083 C_0: 2,8111 SE: 0,46 P (%): 9,59	k: 0,0008 C_0:18,868 SE: 0,14 P (%): 1,87
	r^2	0,9871	0,9632	0,9729
130	Constantes del modelo	k: 1,8941 C_0: -0,4448 SE: 1,33 P (%): 0,04	k: 0,0271 C_0: 2,0284 SE: 0,42 P (%): 9,27	k: 0,0042 C_0: 8,803 SE: 0,12 P (%): 1,28
	r^2	0,995	0,9767	0,8563
140	Constantes del modelo	k: 2,7151 C_0: 2,5152 SE: 1,34 P (%): 0,05	k: 0,0373 C_0: 2,1653 SE: 0,45 P (%): 10,14	k: 0,0018 C_0: 19,841 SE: 0,14 P (%): 1,16
	r^2	0,9553	0,8456	0,8905
150	Constantes del modelo	k: 3,4151 C_0: 2,6433 SE: 1,41 P (%): 0,05	k:0,0255 C_0: 2,7628 SE: 0,37 P (%): 9,56	k: 0,0028 C_0: 17,637 SE: 0,15 P (%): 1,31
	r^2	0,9862	0,9962	0,983

3.1.3 Determinación de la energía de activación (E_a)

La cinética reacción que predominó en todos los tratamientos, para cada uno de los factores, es la de orden cero. Las constantes de degradación (k) mostraron una evidente dependencia a la temperatura. La E_a se define como la energía mínima necesaria para que se dé lugar esta reacción. Al tener un aumento en la temperatura, el número de moléculas con engería también se incrementa, mejorando así la velocidad de reacción (Yu et al., 2018).

Tabla 22

Energía de activación de los valores L, C*, H* y L*(a*/b*) en función de la temperatura.*

Temperatura (°C)	Parámetros	Luminosidad (L*)	Croma (C*)	Tonalidad (h*)	L*(a*/b*)
120	k_0 (min^{-1})	0,1148	1,1558	0,0004	0,1148
	E_a (KJ/mol)	16,259	13,981	30,324	16,259
	r^2	0,9971	0,9946	0,9869	0,9972
130	k_0 (min^{-1})	0,8665	1,1665	0,2026	0,003
	E_a (KJ/mol)	13,845	14,330	19,718	22,940
	r^2	0,9979	0,9930	0,9774	0,9946
140	k_0 (min^{-1})	1,3654	0,008	0,3575	0,1974
	E_a (KJ/mol)	12,639	21,687	18,257	15,270
	r^2	0,9819	0,9998	0,9995	0,9258
150	k_0 (min^{-1})	0,011	2,9432	0,001	0,285
	E_a (KJ/mol)	20,726	11,701	29,413	14,326
	r^2	0,9957	0,09958	0,9907	0,9802

Tabla 23

Energía de activación de los valores ΔL, ΔC*, Δh* y ΔE* función de la temperatura*

Temperatura (°C)	Parámetros	Variación de Luminosidad ΔL*	Variación de croma ΔC*	Variación de tonalidad Δh*	Variación global de color ΔE*
120	k_0 (min^{-1})	0,5798	1,0901	0,1153	1,2336
	E_a (KJ/mol)	0,419	3,336	4,996	2,452
	r^2	0,9908	0,9900	0,9837	0,9871
130	k_0 (min^{-1})	0,8755	0,0289	0,218	1,8941
	E_a (KJ/mol)	3,188	13,967	0,645	4,855
	r^2:	0,9931	0,9848	0,977	0,9950
140	k_0 (min^{-1})	1,4059	2,1914	0,3886	2,7151
	E_a (KJ/mol)	3,566	2,356	2,347	0.263
	r^2	0,9393	0,9933	0,9949	0,9553
150	k_0 (min^{-1})	1,7598	2,9432	0,04933	3,4151
	E_a (KJ/mol)	9,117	2,893	7,074	0,0901
	r^2	0,9913	0,9958	0,9814	0,9862

3.1.3. Determinación de las características fisicoquímicas y proximales de la cereza china fresca

3.1.3.1 Análisis fisicoquímicos

Los frutos de *Dovyalis abyssinica* en las tres fases de maduración para los parámetros fisicoquímicos presentes en la Tabla 24 indican varias similitudes y diferencias a considerar. Los valores de pH para las tres fases de maduración registran apuntan a niveles bajos sin una diferencia numérica entre sus valores.

La acidez titulable de las frutas ya indica una diferencia numérica entre la fase 3 y la fase 4 y 5. Estás diferencias se pueden atribuir a que los ácidos presentes orgánicos presentes en la fruta Sotomayor et al. (2019). son utilizados como sustratos para la respiración del fruto y posteriormente son convertidos en azucares, generando una disminución en la acidez titulable a una mayor maduración de la fruta Africano P. et al., 2015). Concordando con los resultados obtenidos por Torres & Vidaurre (2015) en la cual obtienen un decremento de la acidez titulable con frutas más maduras.

Con respecto a los Solidos solubles totales, los frutos a la fase 5 de maduración presenta el mayor valor de SST (Brix), seguido de la fase 4 y fase 3 respectivamente. El brix muestra una correlación relativa con el contenido total de azúcar presente en la fruta. En consecuencia, estos datos pueden utilizarse para seleccionar una fruta otorgue una mayor calidad en productos elaborados, encontrando un punto equilibrado en contenido de azúcar y acidez (Pistón et al., 2017).

Los valores obtenidos de SST/TAA de la Tabla 24 muestran concordancia con la fase de maduración, la fruta de mayor madurez presenta un índice de madurez más alto. Esto La relación de SST/TAA tiene una característica química de importancia que evaluar las frutas, permitiendo relacionar SST y TAA juntos. Si el resultado de este índice es mayor, obtendremos una pulpa más dulce. debido a lo cual se optó para el estudio utilizar la fruta en la fase 4 de maduración (Nóbrega et al., 2021).

Tabla 24

Propiedades químicas de la pulpa fresca de cerezo chino Dovyalis abyssinica (A. Rich.) Warb

Fases de maduración	Parámetros			
	pH	TAA (%)	SST (°Brix)	SST/TTA
Fase III	2,62	4,22	15,9	3,53
Fase IV	2,65	3,45	16,7	4,55
Fase V	2,70	3,29	18,6	5,65

3.1.3.2 Análisis proximal

La fruta *Dovyalis abyssinica* como se muestra en la Tabla 25 su principal componente es la humedad, esto es bastante común en la composición nutricional de las frutas (Llerena et al., 2014). Con respecto al contenido de proteína obtenido (2,01%) desde una perspectiva global de los alimentos no son una gran fuente de proteína, pese a ello su porcentaje es superior al que normalmente presentan las frutas Hui & Barta, (2006) indica que van de 0,1 a 1,5%. Acercándose al contenido de proteína de la guayaba que oscila en los 2,5 % (IIFT, 2023). En cuanto al porcentaje de fibra dietética total presenta un valor de 3,66%, esto según (Adam, 2019) significa un valor importante de fibra, ya que alimentos como el maracuyá (*Passiflora edulis*) con un contenido de fibra del 3,8 % se considera un potencial reductor de enfermedades cardiovasculares.

Referente al contenido de cenizas para frutas oscila entre 0,2 al 0,6%. Para el contenido de cenizas no existe un porcentaje que determine que es rico en cenizas, sin embargo, la concentración obtenida en la Tabla 25 una importante presencia de estas (Marshall, 2010). Además de superar con diferencia a la variedad cerca *Dovyalis cafrra* (Waweru et al., 2022b). A lo que se refiere las frutas cítricas son una gran fuente de energía, tienen un contenido de grasa muy bajo, casi despreciable como es el caso de *Dovyalis* con 0,06%, Sin embargo, los cítricos aportan un porcentaje importante de hidratos de carbono, como se muestra en la Tabla 25 con un valor de 16,76 % (Liu et al., 2012).

Tabla 25

Composición proximal de la fruta fresca de cerezo chino Dovyalis abyssinica (A. Rich.) Warb

Parámetro (g/100g)					
Humedad	Proteína	Grasa	Ceniza	Fibra dietética total	Hidratos de carbono
76,40	2,01	0,06	1,05	3,66	16,76

3.1.3.3 Actividad antioxidante

Los resultados obtenidos para la capacidad antioxidante de cerezo chino *Dovyalis abyssinica* (A. Rich.) Warb mediante el método DPPH de la Tabla 26 muestran un mayor valor de la actividad antioxidante (10,53 µml ET/g $_{muestra}$) en comparación a lo alcanzado por el arándano (9,5 µml ET/g $_{muestra}$) según lo reporta (María Castro Fernández, 2016) en su estudio. De la misma manera supera la actividad antioxidante de la fresa (7,89 µml ET/g $_{muestra}$) (López do Campo, 2017). Estos compuestos bioactivos son buscados en la actualidad, ya que según Adam (2019), desempeñan un papel fundamental en el correcto funcionamiento de nuestro organismo.

Tabla 26

Actividad antioxidante in vitro por DPPH del cerezo chino y otras frutas

Muestra	**Parámetro (µml ET/g $_{\text{muestra}}$) DDDH**
Cereza china (*Dovyalis abyssinica* (A. Rich.) Warb)	10,53
Fresas (*Fragaria x ananassa*)*	7,89
Arándano (*Vaccinum corymbosum*)**	9,50

* López do Campo (2017)
** María Castro Fernández (2016)

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se observa una mayor luminosidad (L*) en la pulpa en estado de maduración III, frente a las fases de madurez IV y V. El croma (*C), que mide la intensidad del color, evidenció valores superiores en las fases de madurez IV y V. Esta variación es evidente a simple vista, debido a que los frutos en estos estados presentan colores naranjas y rojos intensos. El valor del tono (h*) expresa el ángulo en el que se encuentra la pulpa en el espacio CIELab. Se observó un decremento en los valores de h* mientras aumenta el estado de madurez, esto indica que los frutos en fase V estarán más cercanos a los rojos intensos.

- Se observa una clara disminución de los valores de luminosidad (L*) en todas las temperaturas ensayadas. Este efecto se debe a las reacciones de caramelización que se producen a altas temperaturas durante el tiempo de procesamiento. La luminosidad (L*) es un parámetro de color que mide la claridad de un producto, y su disminución indica un oscurecimiento. Se observó un claro efecto de la temperatura en la disminución de L*; es decir, la disminución es más pronunciada al elaborar la mermelada a altas temperaturas.

- En todas las temperaturas se observó una tendencia lineal decreciente del valor de croma (C*) a medida que avanza el tratamiento térmico. Un valor alto de croma indica un color altamente saturado, mientras que un valor bajo indica un color más pálido y menos intenso. Esto se explica mediante el análisis de la variación del tono que indicaría que las muestras cambian de ubicación en el espacio CIELab; es decir, se desplazan desde la zona de los amarillos (h* próximo a 90°), hacia la zona de los rojos (h* próximo a 0°).

- Se observa un claro desplazamiento del ángulo de tonalidad hacia la zona de los rojos en el espacio CIELab, debido al proceso de caramelización que causa colores que tienden hacia los colores naranja oscuros. Este efecto fue observado durante el proceso térmico como consecuencia de la caramelización del azúcar. Así mismo, este cambio se le atribuye a la oxidación de la vitamina C, ya que puede dar origen a la formación de hidroximetilfurfural y furfural, que posteriormente dan lugar a las melanoidinas, las cuales se caracteriza por dar una apariencia más oscura a las mermeladas.

- La variación global de color (ΔE*) evidenció diferencias claras en todas las muestras. Se estima que valores superiores a 15 en este parámetro, son perceptibles para el ojo humano. Por ende, en todos los casos las variaciones fueron evidentes para el consumidor, sin importar la temperatura de procesamiento.

4.2 Recomendaciones

- Realizar un análisis de la calidad de antioxidantes presentes en la cereza china fresca, para comparar el efecto del tratamiento térmico.

- Determinar el contenido de azúcares reductores en la muestra fresca para evaluar el efecto de cada uno de ellos en los cambios de coloración observados.

MATERIALES DE REFERENCIA

Acevedo, A., Romero, L., & Varela, J. (2022). *Rescate de frutas exóticas y/o autóctonas de la provincia metropolitana de Santander*.

Adam, I. A. A. F. (2019). Wild fruits: Composition, nutritional value and products. In *Wild Fruits: Composition, Nutritional Value and Products*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31885-7

Afoakwah, N. A., Amagloh, F. K., Mahunu, G. K., Ayyub, S. W., Tchabo, W., & Owusu-Ansah, P. (2023). Quality evaluation of orange-fleshed sweet potato-pineapple blended jam. *Journal of Agriculture and Food Research*, *12*. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100540

Africano P., K. L., Almanza-Merchán, P. J., & Balaguera-López, H. E. (2015). Una Revisión Fisiología y bioquímica de la maduración del fruto de durazno (Prunus persica (L.) Batsch). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *9*(1), 161. https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3754

Aguirre, A., & Viteri, D. (2016). *Análisis del impacto de la industria de mermeladas en el mercado nacional y su aporte al comercio exterior ecuatoriano desde el año 2010*.

Aksay, S., Tokbas, H., Arslan, R., & Cinar, F. (2018). Some physicochemical Properties of the whole Fruit Mandarin Jam. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, *6*(5), 632–635.

Álvaro, M., Viera, W., Moreira, R., Espinosa, O., & Román, E. (2015). *Informe anual Floricultura INIAP 2015*.

Alves de Oliveira, E. N., da Costa Santos, D., Gomes, J. P., Rocha, A. P. T., & Da Silva, W. P. (2015). Physicochemical stability of diet umbu-caja jams stored under ambient conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*, *39*(1), 70–79. https://doi.org/10.1111/jfpp.12209

AOAC 920.151. (2023). *Moinsture determination*.

AOAC 985.29. (2023). *Total dietary fiber in foods. Enzymatic.*

AOAC 990.03. (2005). *Protein (crude). Combustion method*.

AOAC 2003.06. (2023). *Fat determination by gravimetry*.

Arango, Y., Rodríguez, C., & Páez, K. (2023). *Modelo estratégico para el aprovechamiento de las frutas y verduras que impactan el indicador de filtración de Mercados Colsubsidio en el punto de venta Calle 26 sobre la ciudad de Bogotá*.

Ardisana, E., Gaínza Bárbara, Torres Antonio, & Fosado, O. (2018). Agricultura en Sudamérica: la huella ecológica y el futuro de la producción agrícola. *Revista Chakiñan de Ciencias Sociales y Humanidades*, 90–101.

Augustyn, W. A., Regnier, T., De Jager, K., Hajari, E., Du Preez, R., & Nonyane, D. (2018). A preliminary study on the chemical characteristics of Kei apple (Dovyalis caffra), an undervalued South African fruit. *South African Journal of Botany*, *117*, 268–275. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.05.032

Ayala-Silva, T., Salas, A., Reed, S., Gubbuk, H., & Winterstein, M. (2014a). Krome Section Physico-chemical Evaluation of Dovyalis. In *Proc. Fla. State Hort. Soc* (Vol. 127).

Ayala-Silva, T., Salas, A., Reed, S., Gubbuk, H., & Winterstein, M. (2014b). Physico-chemical Evaluation of Dovyalis. In *Proc. Fla. State Hort. Soc* (Vol. 127).

Badin, E., Ribotta, P., & Lespinard, A. (2021). *Modelado Cinético de la Degradación Térmica de Biocompuestos y de Color en Tomate Triturado*.

BCE. (2021). *Balanza Comercial por Países*.

Belwal, T., Singh, G., Jeandet, P., Pandey, A., Giri, L., Ramola, S., Bhatt, I. D., Venskutonis, P. R., Georgiev, M. I., Clément, C., & Luo, Z. (2020). Anthocyanins, multi-functional natural products of industrial relevance: Recent biotechnological advances. In *Biotechnology Advances* (Vol. 43). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107600

Castro, D., & Pazos, M. (2024). *Implementación de abonos orgánicos como alternativa para el incremento de la producción de árboles frutales en el Ecuador*.

Cerón, C., Reyes, C., & Simbaña, W. (2021). Contribución al conocimiento de la diversidad biológica, florística y etnobotánica del Volcán Ilaló, Quito DM, Pichincha – Ecuador. *Revista Cinchonia*, *16*(1), 111–124.

Chirchir, K. D., Cheplogoi, K. P., Omolo, O. J., & Langat, K. M. (2018). Chemical constituents of Solanum mauense (Solanaceae) and Dovyalis abyssinica (Salicaceae). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *12*(2), 999. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i2.29

CXS 212. (2022). *Norma para los azúcares*.

CXS 296. (2022). *Norma para las confituras, jaleas y mermeladas*.

Del Rio Osorio, L. L., Flórez-López, E., & Grande-Tovar, C. D. (2021). The potential of selected agri-food loss and waste to contribute to a circular economy: Applications in the food, cosmetic and pharmaceutical industries. In *Molecules* (Vol. 26, Issue 2). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/molecules26020515

Díaz, S. (2018). *Efecto del escaldado en el color y cinética de degradación térmica de la vitamina c del jugo de camu-camu (myrciaria dubia)*.

Doseděl, M., Jirkovský, E., Macáková, K., Krčmová, L. K., Javorská, L., Pourová, J., Mercolini, L., Remião, F., Nováková, L., & Mladěnka, P. (2021). Vitamin c—sources, physiological role, kinetics, deficiency, use, toxicity, and determination. In *Nutrients* (Vol. 13, Issue 2, pp. 1–36). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/nu13020615

Durán-Soria, S., Pott, D. M., Osorio, S., & Vallarino, J. G. (2020). Sugar Signaling During Fruit Ripening. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 11). Frontiers Media S.A. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.564917

Dutta, D., Dutta, A., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2006). Rheological characteristics and thermal degradation kinetics of beta-carotene in pumpkin puree. *Journal of Food Engineering*, *76*(4), 538–546. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.05.056

Ennis, R. (2019). *Una aproximación a la pérdida y desperdicio de alimentos a partir de la producción del Cinturón Hortícola Platense*. http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/tesis/te.1767/te.1767.pdfInformaciónadicionalenwww.memoria.fahce.unlp.edu.ar

Fan, L., Wang, Y., Xie, P., Zhang, L., Li, Y., & Zhou, J. (2019). Copigmentation effects of phenolics on color enhancement and stability of blackberry wine residue anthocyanins: Chromaticity, kinetics and structural simulation. *Food Chemistry*, *275*, 299–308. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.103

FAO. (2023, December 23). *Crecimiento verde producción sostenible*. Https://Openknowledge.Fao.Org/Server/Api/Core/Bitstreams/A0d8db5d-F798-43c6-8ccc-5ffe886b01d6/Content/Src/Html/Crecimiento-Verde.Html#:~:Text=En%202018%2C%20el%20mundo%20produjo,La%20uva%20(Figura%202).

FAOSTAT. (2023). *Cultivos y productos de ganadería*.

Fikselová, M., Mareček, J., & Mellen, M. (2010). Carotenes content in carrot roots (Daucus carota L.) as affected by cultivation and storage. *Vegetable Crops Research Bulletin*, *73*(1), 47–54. https://doi.org/10.2478/v10032-010-0017-8

Freire, W., Ramírez, M. J., Belmot, P., Mendieta, M. J., Silba, K., Sáenz, K., Piñeiros, P., Gómez, L., & Monge, R. (2012). *MSP_ENSANUT-ECU_06-10-2014*.

Garai, L., & Horvath, A. (2018). Modelling of human color perpception depending on quick color shifts on screen. *International Conference on Cognitive Infocormmunications*, *1*(9), 224–226.

Garg, S., Ghosh, P., Rana, S. S., & Pradhan, R. C. (2019). Preparation and Quality Evaluation of Nutritionally Enriched Jam Made from Blends of Indian Blackberry and Other Fruits. *International Journal of Fruit Science*, *19*(1), 29–44. https://doi.org/10.1080/15538362.2018.1536872

Gavilanes, P. (2021). *FAO pide más consumo de frutas y vegetales para prevenir enfermedades*.

Giménez, P. J., Fernández-López, J. A., Angosto, J. M., & Obón, J. M. (2015). Comparative Thermal Degradation Patterns of Natural Yellow Colorants Used in Foods. *Plant Foods for Human Nutrition*, *70*(4), 380–387. https://doi.org/10.1007/s11130-015-0499-0

Göncüoğlu Taş, N., & Gökmen, V. (2017). Maillard reaction and caramelization during hazelnut roasting: A multiresponse kinetic study. *Food Chemistry*, *221*, 1911–1922. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.159

Guamán, L. (2019). *Análisis de las exportaciones de las frutas ecuatorianas no tradicionales durante el periodo del 2013 -2017*.

Hui, Y. H. (Yiu H.), & Barta, J. (2006). *Handbook of fruits and fruit processing*. Blackwell Pub.

IIFT. (2023). *CULTIVO Y COMERCIALIZACIÓN DE LA GUAYABA*.

Ivanov, V. B., Bitt, V. V., Solina, E. V., & Samoryadov, A. V. (2019). Reversible and irreversible color change during photo and thermal degradation of polyphenylenesulfide composite. *Polymers*, *11*(10). https://doi.org/10.3390/polym11101579

Jamanca, N., & Alfaro, S. (2017). *Antioxidantes en los alimentos* (Editorial UNAB, Ed.; 1st ed., Vol. 1).

Jiru, N. A., Fekadu Gemede, H., & Keyata, E. O. (2023). Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Selected Underutilized Wild Edible Fruits in East Wollega Zone, Western Ethiopia. *International Journal of Fruit Science*, *23*(1), 34–45. https://doi.org/10.1080/15538362.2023.2166649

Kocadağli, T., & Gökmen, V. (2018). Caramelization in foods: A food quality and safety perspective. In *Encyclopedia of Food Chemistry* (pp. 18–29). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21630-2

Lerma H., T. A., Combatt., E. M., & Palencia L., M. S. (2015). Efecto de la temperatura sobre coloides de suelos agrícolas mediante dispersión dinámica de la luz. *Revista de Ciencias Agrícolas*, *32*(2), 94–103. https://doi.org/10.22267/rcia.153202.17

Liu, Y., Heying, E., & Tanumihardjo, S. A. (2012). History, Global Distribution, and Nutritional Importance of Citrus Fruits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *11*(6), 530–545. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00201.x

Llerena, W., Samaniego, I., Ramos, M., & Brito, B. (2014). Caracterización fisicoquímica y funcional de seis frutas tropicales y andinas ecuatorianas. *Alimentos, Ciencia e Ingeniería*, *22*(12), 13–22.

López do Campo, J. (2017). *Estudio comparativo de la actividad antioxidante en fresas de cultivos de origen tradicional versus ecológico*.

María Castro Fernández, A. (2016). *Mejora de la propagación in vitro de "Vaccinium corymbosum" y evaluación de la actividad antioxidante en arándanos comerciales*.

Marshall, M. R. (2010). *Ash Analysis* (pp. 105–115). https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1478-1_7

Montes, C., Joaquín, E., Gallo, T., Pizarro, A., David, R., Sierra, P., Andrés, O., Escobar, M., Luis, J., & Herazo, M. (2008). *Ingeniería e Investigación*. *28*(2), 45–52. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64328207

Moreno-Miranda, C., Moreno-Miranda, R., Pilamala-Rosales, A. A., Molina-Sánchez, J. I., & Cerda-Mejía, L. (2019). Sector hortofrutícola de Ecuador: Principales características socio-productivas de la red agroalimentaria de la uvilla (Physalis peruviana). *Ciencia y Agricultura*, *16*(1), 31–51. https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n1.2019.8809

Mpai, S., du Preez, R., Sultanbawa, Y., & Sivakumar, D. (2018). Phytochemicals and nutritional composition in accessions of Kei-apple (Dovyalis caffra): Southern African indigenous fruit. *Food Chemistry*, *253*, 37–45. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.099

Narvaiz, L. P., Alicia, L., & Gutiérrez, E. (2015). *"TRATAMIENTO DE MIEL CON RADIACION IONIZANTE: efectos sobre ciertos atributos de calidad a Tesista: Lic. María Constanza Cova*.

Nayaka, V. S. K., Tiwari, R. B., Narayana, C. K., Ranjitha, K., Azeez, S., Vasugi, C., Venugopalan, R., Bhuvaneswari, S., & Sujayasree, O. J. (2022). Comparative effect of different sugars instigating non-enzymatic browning and Maillard reaction products in guava fruit leather. *Journal of Horticultural Sciences*, *17*(1), 174–183. https://doi.org/10.24154/jhs.v17i1.1387

Nóbrega, D., Mendes, A., Pixoto, J., Vilela, M., Faleiro, F., Alencar, E., Carmino, R., & DeusSousa, R. (2021). Fruit quality fo wild, sweet and yellos pAssion genptypes in Distrito Federal, Brazil. *Bioscience Journal*, *37*.

Nowak, A., Janoszka, B., Szumska, M., & Tyrpién-Golder. (2021). Furfural, hydroxymethylfurfural and furosine as maillard reaction markers in fruit based foods including jams and baby food. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, *11*(3).

NTE INEN 401. (2013). *Conservas vegetales. Determinación de cenizas*.

NTE INEN 2825. (2013). *NORMA PARA LAS CONFITURAS, JALEAS Y MERMELADAS*.

NTE INEN-ISO 750. (2013). *Productos vegetales y de frutas - Determinación de la acidez titulable (IDT)*.

NTE INEN-ISO 2173. (2013). *Productos de frutas y hortalizas - Determinación de solubles sólidos - Método refrectométrico*.

Patel, J., Parhi, A., Tang, Z., Tang, J., & Sablani, S. S. (2023). Storage stability of vitamin C fortified purple mashed potatoes processed with microwave-assisted thermal sterilization system. *Food Innovation and Advances*, *2*(2), 106–114. https://doi.org/10.48130/fia-2023-0013

Patras, A., Brunton, N. P., O'Donnell, C., & Tiwari, B. K. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 21, Issue 1, pp. 3–11). https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.07.004

Pereira Gonzatto, M., & Scherer Santos, J. (2023). Introductory Chapter: World Citrus Production and Research. In *Citrus Research - Horticultural and Human Health Aspects*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.110519

Pistón, F., Pérez, A. G., Sanz, C., & Refoyo, A. (2017). Relationship between sugar content and brix as influenced by cultivar and ripening stages of strawberry. *Acta Horticulturae*, *1156*, 491–495. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1156.72

Poma, E., Inocente, M., Pardo, J., & Zarzosa, E. (2019). *Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante*.

Pontes, K., Pennachi, C., & De Góis, G. (2023). Effects of caramelization and Maillard reaction products on the physiology of Saccharomyces cerevisiae. *Fundal Biology*, *127*(12), 1534–1543.

Pop-Ciutrila, I. S., Colosi, H. A., Dudea, D., & Badea, M. E. (2015). Spectrophotometric color evaluation of permanent incisors, canines and molars. A cross-sectional clinical study. *Clujul Medical*, *88*(4), 537–544. https://doi.org/10.15386/cjmed-497

Prasanna, V., Prabha, T. N., & Tharanathan, R. N. (2007). Fruit ripening phenomena-an overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *47*(1), 1–19. https://doi.org/10.1080/10408390600976841

Quintas, M., Guimarães, C., Baylina, J., Brandão, T. R. S., & Silva, C. L. M. (2007). Multiresponse modelling of the caramelisation reaction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *8*(2), 306–315. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.02.002

Radhiah, K., & Kasim, B. T. (2010). *HEAT TREATMENT OF CARBOHYDRATES TO PRODUCE CARAMEL COLOR CORE View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk provided by UMP Institutional Repository*.

Ramirez, J. (2014). *Influencia de las técnicas culinarias sobre el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante en hortalizas de la dieta mediterranea*.

Rolim De Moura, S. C., Prati, P., Vissotto, F. Z., Ormenese, R. de C., & Rafacho, M. dos S. (2011). Color degradation kinetics in low-calorie strawberry and guava jellies. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, *31*(3), 758–764.

RTE INEN 182. (2013). *Norma para las confituras, jales y mermeladas*.

Saad, A., Ibrahim, A., & El-Bialee, N. (2016). *Internal quality assessment of tomato fruits using image color analysis* (Vol. 18, Issue 1). http://www.cigrjournal.org

Salam, Nafisah, Lydia, K., & Elizabeth, K. S. (2020). Production and Acceptability of Jam Produced from Pineapple, Watermelon and Apple Blends. *EAS Journal of Nutrition and Food Sciences*, *2*(6), 321–325. https://doi.org/10.36349/easjnfs.2020.v02i06.003

Salgado, D. L., Oliveira, É. R., Andrade, L. A., Guimarães, K. C., Carvalho, G. R., Ribeiro, A. E. C., Queiroz, F., & Carvalho, E. E. N. (2022). Effect of different types of sugar on guava jams' physical, physicochemical, and sensory properties. *Acta Scientiarum - Technology*, *44*. https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v44i1.59397

Slavin, J. L., & Lloyd, B. (2012). Health benefits of fruits and vegetables. In *Advances in Nutrition* (Vol. 3, Issue 4, pp. 506–516). https://doi.org/10.3945/an.112.002154

Sotomayor, A., Pitizaca, S., Sánchez, M., Burbano, A., Díaz, A., Nicolalde, J., Viera, W., Caicedo, C., & Vargas, Y. (2019). Evaluación físico química de fruta de pitahaya (Selenicereus megalanthus) en diferentes estados de desarrollo. *Enoque UTE Revista*, *10*(1), 89–96.

Talens Oliag, P. (2017). *Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB* (p. 7).

TNE INEN-ISO 1842. (2013). *Productos vegetales y de frutas - Determinación de pH (IDT)*.

Torres, Y., & Vidaurre, J. (2015). Cinética de la degradación de compuestos fenoles y antocianinas en una bebida funcional a base de arándano azul (Vaccinium corymbosum L.). *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación* , *2*(2).

Touati, N., Tarazona-Díaz, M. P., Aguayo, E., & Louaileche, H. (2014). Effect of storage time and temperature on the physicochemical and sensory characteristics of commercial apricot jam. *Food Chemistry*, *145*, 23–27. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.037

Vukoja, J., Pichler, A., & Kopjar, M. (2019). Stability of anthocyanins, phenolics and color of tart cherry jams. *Foods*, *8*(7). https://doi.org/10.3390/foods8070255

Waweru, D. M., Arimi, J. M., Marete, E., Jacquier, J. C., & Harbourne, N. (2022a). Chemical and antioxidant characterization of Dovyalis caffra and Dovyalis abyssinica fruits in Kenya. *Heliyon*, *8*(10). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11064

Waweru, D. M., Arimi, J. M., Marete, E., Jacquier, J. C., & Harbourne, N. (2022b). Current status of utilization and potential of Dovyalis caffra fruit: Major focus on Kenya - A review. In *Scientific African* (Vol. 16). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01097

Waweru, D. M., Arimi, J. M., Marete, E., Jacquier, J.-C., & Harbourne, N. (2022c). Current status of utilization and potential of Dovyalis caffra fruit: Major focus on Kenya - A review. *Scientific African*, *16*, e01097. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01097

Yu, A. N., Li, Y., Yang, Y., & Yu, K. (2018). The browning kinetics of the non-enzymatic browning reaction in l-ascorbic acid/basic amino acid systems. *Food Science and Technology (Brazil)*, *38*(3), 537–542. https://doi.org/10.1590/1678-457x.08717

Zielińska, D., Bilska, B., Marciniak-łukasiak, K., Łepecka, A., Trząskowska, M., Neffe-skocińska, K., Tomaszewska, M., Szydłowska, A., & Kołożyn-krajewska, D. (2020). Consumer understanding of the date of minimum durability of food in association with quality evaluation of food products after expiration. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(5). https://doi.org/10.3390/ijerph17051632