



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
MAESTRÍA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS

TESIS

**CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y
DEL SISTEMA ANTIOXIDANTE DURANTE EL
DESARROLLO DE LOS FRUTOS DE *Passiflora tarminiana***

Para obtener el grado de

Maestra en ciencia de los alimentos

PRESENTA

L. N. Sandra Susana Santos Meza

Director

Doctor Sergio Soto Simental

Codirector

Doctor César Uriel López Palestina

Comité tutorial

Doctora Alma Delia Hernández Fuentes

Doctor Jorge Gutiérrez Tlahque

Tulancingo de Bravo Hidalgo a 02 de agosto 2023



COORDINACION DE INVESTIGACION Y POSGRADO DEL ICAP

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencia de los Alimentos
Apertura:

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada: "Cambios en las propiedades fisicoquímicas y del sistema antioxidante durante el desarrollo de los frutos de *Passiflora tarminiana*", que desarrolla la estudiante Sandra Susana Santos Meza

Asistentes:

- Dr. Sergio Soto Simental
- Dr. César Uriel López Palestina
- Dra. Alma Delia Hernández Fuentes
- Dr. Jorge Gutiérrez Tlahque

A. Revisión de Trabajo de Tesis

Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por la estudiante, comunicando a la estudiante, Sandra Susana Santos Meza, oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. La estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

B. Acuerdos

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que la estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría respectivo.

ATENTAMENTE
 "AMOR, ORDEN Y PROGRESO"

Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 02 de agosto de 2023

Dr. Sergio Soto Simental

Dr. César Uriel López Palestina

Dra. Alma Delia Hernández Fuentes

Dr. Jorge Gutiérrez Tlahque



Handwritten signatures of the committee members over horizontal lines.



Avenida Universidad Km. 1 s/n, Exhacienda Aquetzalpa,
 Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México; C.P. 43600
 Teléfono +52 (771) 71 72000 ext. 2425
maestria_alimentos@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar este espacio para expresar mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que han contribuido de manera significativa en la realización de esta tesis de maestría.

De manera particular a mi director, el doctor Sergio Soto Simental, por su dedicación, compromiso, orientación y consejos a lo largo de este proceso. Sus valiosos comentarios me han ayudado a mejorar constantemente.

Agradezco también de una manera muy especial a mi codirector el doctor César Uriel López Palestina, quien generosamente compartió sus conocimientos y me brindó consejos invaluable. Su perspectiva y experiencia me han permitido ampliar mi comprensión en el área de estudio. Por su dedicación, compromiso, orientación y consejos a lo largo de este proceso ya que con esa forma de ser que lo caracteriza me ha permitido abordar los desafíos que se han presentado de una manera más efectiva.

Mis sinceros agradecimientos también a mis asesores, la doctora Alma Delia Hernández Fuentes también pendiente del desarrollo del proyecto, aportando sus valiosos consejos, gracias por su apoyo. Al doctor Jorge Gutiérrez Tlaque siempre dispuesto y atento para brindarme su apoyo, consejo y comentarios de gran utilidad para mejorar este trabajo de tesis.

Estos agradecimientos por supuesto también los extiendo a mis compañeros de laboratorio, quienes me han brindado su apoyo en momentos de duda y compartieron sus valiosos

conocimientos. Anay, César, Mire, Iza, Ara, Cris, Erasto la convivencia diaria han sido parte de buenos momentos durante esta etapa.

No puedo dejar de mencionar a mi familia, quienes han sido mi roca durante todo este proceso. Su constante ánimo, palabras de aliento y comprensión han sido un apoyo invaluable. Gracias por creer en mí.

Asimismo, quiero agradecer al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) y a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, instituciones que proporcionaron el respaldo financiero e instalaciones necesarias para llevar a cabo esta investigación. Su inversión en mi formación académica ha hecho posible la realización de este proyecto y ha sentado las bases para futuros avances en el campo.

Por último, este trabajo no habría sido posible sin el respaldo y colaboración de todas estas personas especiales.

¡Nuevamente, muchas gracias a todos!

DEDICATORIAS

A mis padres quienes han sido mi fuente inagotable de amor, apoyo y sabiduría. Su dedicación y sacrificios han sido el motor que me impulsó a alcanzar este logro académico. Gracias por creer en mí y por ser mi inspiración constante. Esta tesis es un tributo a su amor y enseñanzas.

A mi esposo quien ha estado a mi lado en cada paso de este emocionante viaje académico. Tu apoyo incondicional, paciencia y comprensión han sido fundamentales para superar los desafíos y perseverar en momentos difíciles. Gracias por ser mi compañero de vida y mi motivación. Esta tesis es un reflejo del amor y fortaleza que compartimos juntos.

A mi hermana, tus palabras de aliento, tu presencia constante aún en la distancia han sido un bálsamo en los momentos de estrés y agotamiento. Gracias por ser mi admiradora y por recordarme que puedo lograr cualquier cosa que me proponga. Esta tesis está dedicada a nuestra unión y al vínculo eterno que compartimos como hermanas. Te quiero hermanita.

A mis abuelos quienes desde la tierra y el cielo han guiado cada uno de mis pasos en esta travesía académica. Gracias por inculcarme los valores de perseverancia y trabajo. Esta tesis es un tributo a su legado y a la influencia eterna que ejercen en mi vida.

Por último, pero no menos importante para mi hija Anya, tu presencia ha venido a transformar nuestras vidas. Esperamos ansiosos tu llegada habiendo culminado este proyecto los últimos meses en tu maravillosa compañía.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	9
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	12
II. OBJETIVOS	14
Objetivo general.....	14
Objetivos específicos.....	14
III. DIAGRAMA METODOLÓGICO	15
Capítulo I. Frutos de la familia <i>Passifloraceae</i> diversidad y beneficios a la salud	16
1. INTRODUCCIÓN.....	17
2. Generalidades sobre las <i>Pasifloras</i>	18
3. Beneficios asociados a la salud.....	21
4. Producción en México.....	25
5. El fruto de <i>Passiflora tarminiana</i> , variedad silvestre.....	27
6. CONCLUSIÓN.....	29
REFERENCIAS.....	31
Capítulo II. Cambios en la calidad fisicoquímica durante el crecimiento y desarrollo de los frutos de <i>Passiflora tarminiana</i>	36
RESUMEN	36
1. INTRODUCCIÓN.....	37
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
2.1 Reactivos.....	39
2.2 Material vegetal.....	39
2.3 Análisis fisicoquímico durante el crecimiento y desarrollo de los frutos de <i>P. tarminiana</i>	42
2.4 Color.....	42
2.5 Determinación de azúcares totales, reductores y no reductores.....	43
2.6 Análisis estadístico.....	43
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
3.1 Caracterización fisicoquímica del fruto de <i>Passiflora tarminiana</i>	44
3.1.1 Cambios en las dimensiones durante el desarrollo de los frutos de <i>P. tarminiana</i>	44
3.1.2 Cambios en sólidos solubles totales, pH y acidez titulable durante el desarrollo de los frutos de <i>P. tarminiana</i>	46
3.1.3 Cambios de color.....	49

3.2 Azúcares totales, reductores y no reductores	51
3.3 Índice de madurez (IM) e índice de sabor (IS).....	52
4. CONCLUSIÓN.....	54
REFERENCIAS	55
Capítulo III. Cambios en el sistema antioxidante durante el desarrollo del fruto de <i>P. tarminiana</i>	59
<i>RESUMEN</i>	59
1. INTRODUCCIÓN	61
2. MATERIALES Y MÉTODOS	63
2.2 Variables de respuesta.....	65
2.2.1 Evaluación de compuestos bioactivos.....	65
2.2.2 Determinación de actividad antioxidante	67
2.2.3 Actividad antioxidante vía enzimática	67
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	71
3.1 Composición de carotenoides y clorofila	71
3.2 Ácido ascórbico.....	73
3.3 Compuestos fenólicos	74
3.4 Actividad antioxidante por ensayos ABTS Y DPPH	76
3.5 Actividad antioxidante enzimática	78
3.6 Parámetros de daño asociados a estrés durante el desarrollo de los frutos de <i>P. tarminiana</i>	82
4. CONCLUSIONES	88
REFERENCIAS	89
ANEXOS	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo I.

- Figura 1. Frutos de *P. edulis purpurea*, *P. tarminiana*, *P. edulis flavicarpa*19
- Figura 2. Adaptado de Distribución del género *Passiflora* en México (Segura *et al.*, 2018). 26
- Figura 3. Fruto silvestre de *P. tarminiana*, que crece en el estado de Hidalgo, México, tomada en mayo 2022..... 28

Capítulo II.

- Figura 1. Fotografías ilustrativas para la identificación botánica de la planta *P. tarminiana* tomadas en Acaxochitlán, Hidalgo, México, 2022.....369
- Figura 2. Estados en el desarrollo del fruto *P. tarminiana* de acuerdo a parámetros físicos y días transcurridos después de antesis. Fotografías tomadas en Acaxochitlán, Hgo., México.....43
- Figura 3. Cambios en tamaño de longitud (A) y diámetro (B) de los frutos de *P. tarminiana*44
- Figura 4. Cambios en las variables peso (A), SST (B), pH (C) y acidez titulable (D) por estado de desarrollo del fruto. 47
- Figura 5. Cambios en el color de la cáscara Cromo, Hue (h°) (A) y luminosidad (B), por estado de desarrollo del fruto. Cambios en el color de la pulpa Cromo, Hue (h°) (C) y luminosidad (D). 49
- Figura 6. Azúcares totales y azúcares reductores en los diferentes estados de desarrollo de los frutos de *P. tarminiana*.....51
- Figura 7. Índice de madurez (A) e índice de sabor (B) de los frutos de *P. tarminiana* durante su desarrollo..... 46

Capítulo III.

- Figura 1. Contenido de clorofila A – B, total y carotenoides en el fruto durante los estados de desarrollo.....71
- Figura 2. Comparación del contenido de ácido ascórbico en los siete estados de desarrollo de los frutos de *P. tarminiana*.....72
- Figura 3. Evolución del contenido de fenoles totales (A) y flavonoides (B) en los siete estados de desarrollo de los frutos de *P. tarminiana*.....74

Figura 4. Actividad antioxidante por los ensayos ABTS y DPPH en los estados de desarrollo de los frutos de *P. tarminiana*.....76

Figura 5. Actividad antioxidante enzimática A) SOD, B) CAT, C) APX y D) POD en los estados de desarrollo de los frutos de *P. tarminiana*.....80

Figura 6. A) Contenido de peróxido de hidrogeno (H_2O_2), B) malondealdehido (MDA) y C) Polifenoloxidasas (PPO) durante el desarrollo de los frutos de *P. tarminiana*..... 85

RESUMEN

Los frutos del género *Passiflora* son consumidos en diferentes países del mundo, por ejemplo, en Colombia, Brasil, Perú y México, así como en países europeos. En los últimos años han ganado popularidad debido a los beneficios a la salud humana. Particularmente en México en el estado de Hidalgo. Existen variedades que crecen de forma silvestre como los frutos de *Passiflora tarminiana* Coppens & V.E. Barney, sin embargo, aún se desconoce su fisiología y los cambios bioquímicos que ocurren durante su desarrollo. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios fisicoquímicos, el comportamiento en el contenido de compuestos bioactivos y la actividad de las enzimas antioxidantes durante el desarrollo de los frutos de *P. tarminiana* Coppens & V.E. Barney. Los frutos se recolectaron de abril a julio 2022 en Nuevo San Juan, Acaxochitlán, Hidalgo ubicado en 20°10' 08.1" N, 98°09' 54.6" O a una altura 2,187 msnm. Se establecieron siete estados de desarrollo (E1 a E7) considerando los días transcurridos después del amarre del fruto. Del análisis fisicoquímico se identificó el estado E6 con una mayor concentración de sólidos solubles totales, color característico con un registro de las coordenadas CIELab de luminosidad de 67.88, valores de croma 67.30 y ángulo hue de 74.49, un incremento en el índice de sabor y madurez. En relación con los compuestos antioxidantes se observó que las clorofilas, ácido ascórbico, fenoles totales y flavonoides se encuentran en mayor concentración en los E1 y E2, posteriormente decrecen considerablemente. Estos compuestos aportaron la mayor actividad antioxidante de los frutos con valores de 769 μM Trolox g^{-1} peso seco de acuerdo con el ensayo de ABTS. Por otro lado, los carotenoides registran valores máximos hasta el E6 (86 mg g^{-1} PS) que es cuando se desarrolla el color típico de los frutos. Contrario a la mayoría de los compuestos bioactivos, las enzimas antioxidantes superóxido dismutasa

(SOD), catalasa (CAT), peroxidasas (POD) y ascorbato peroxidasa (APX) presentan significativamente una mayor actividad catalítica a partir de E3 manteniéndose constante hasta la madurez del fruto. La concentración de H_2O_2 ($42.61 \text{ nmol g}^{-1} \text{ PS}$), malondialdehído $1.84 \mu\text{M g}^{-1} \text{ PS}$ y actividad de polifenol oxidasa (PPO) como marcadores de daño presentan los valores más altos en E7 cuando inicia la senescencia del fruto. De acuerdo con los resultados se considera el estado E6 como el periodo de ventana de cosecha y consumo. Además, se encontró que el sistema enzimático antioxidante y no enzimático, actúan en sincronía para reducir el daño ocasionado por las especies reactivas de oxígeno durante el desarrollo del fruto.

Palabras claves: antioxidantes, crecimiento del fruto, cosecha, *Passiflora tarminiana*.

SUMMARY

Passiflora fruits are consumed in different countries worldwide and have been related to different health benefits. However, there are poorly studied varieties, such as *Passiflora tarminiana* fruits, which grow wild in the state of Hidalgo, and their physiology and changes during development are unknown. This study aimed to evaluate the physicochemical changes, enzymatic and non-enzymatic antioxidant activity during the development of *Passiflora tarminiana* fruits produced in the state of Hidalgo. The fruits were collected in Nuevo San Juan Acaxochitlán located at 20°10' 08.1" N, 98°09' 54.6" W, at an altitude of 2,187 masl. Seven stages of development were established considering the days elapsed after the fruit set. Identified stage E6 with a higher concentration of total soluble solids, characteristic color, an increase in taste and maturity index. Ascorbic acid, total phenols, and flavonoids were found at higher concentrations. These compounds contributed to the highest antioxidant activity of the fruits with values of 769 μM Trolox g⁻¹ dry weight according to the ABTS assay. On the other hand, carotenoids reached maximum values up to E6 (86 mg g⁻¹ DW) when the typical fruit color developed. In contrast to most bioactive compounds, antioxidant enzymes SOD, CAT, POD, and APX showed significantly higher catalytic activity from E3 onwards, remaining constant until fruit maturity. H₂O₂ concentration, MDA, and PPO activity as damage markers showed the highest values in E7 when fruit senescence began. E6 is considered the harvest and consumption window period. Additionally, it was found that the enzymatic and non-enzymatic antioxidant systems act synchronously to reduce damage caused by reactive oxygen species during fruit development.

Keywords: antioxidants, fruit growth, harvest, *Passiflora tarminiana*

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La gran biodiversidad de nuestro país permite la existencia de diferentes frutos nativos que se pueden encontrar en forma silvestre o huertos traspatio, estos son consumidos por los pobladores de la región donde se encuentran y en ocasiones se comercializan en mercados locales (Hernández-Fuentes *et al.*, 2023). Esto permite que la dieta tradicional mexicana sea rica en alimentos naturales que son fuentes de antioxidantes y compuestos bioactivos (Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2021). Por lo que resulta relevante promover y revalorar el consumo de alimentos naturales ya sean silvestres y/o cultivados que sean de fácil acceso para la población y más aquellos que otorguen beneficios a la salud humana (Ballesteros Pomar & Bretón Lesmes, 2020). Como ejemplo se puede mencionar el fruto de *Passiflora tarminiana* Coppens & V.E. Barney; este fruto fue introducido en nuestro país y se mantiene como una variedad criolla creciendo de forma silvestre o en huertos familiares convirtiéndose en un fruto de recolección en la región, el cual pertenece a la familia *Pacifloracea* originaria de Brasil (Ocampo *et al.*, 2010). El fruto de *P. tarminiana* se caracteriza por poseer un pericarpio blando, de color verde claro convirtiéndose en amarillo al madurar y gracias a sus características organolépticas lo ubican dentro de las pasifloras más apetecidas, pero poco estudiadas (Rodríguez *et al.*, 2020).

En algunas especies de pasifloras se han encontrado compuestos bioactivos de interés como los ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas, entre otros, lo que ha permitido se les relacione con propiedades antitumorales, hepatoprotectoras, antiinflamatorias, antidiabéticas, antivirales, antibacterianas y antifúngicas (Gadioli *et al.*, 2018; Holanda *et al.*,

2020). Sin embargo, la información relacionada con *P. tarminina* y en especial de sus componentes bioactivos y de los cambios que ocurren durante su proceso de maduración aún es nula. De acuerdo a la literatura se sabe que durante el desarrollo de los frutos se llevan a cabo una serie de cambios bioquímicos en sus componentes, dentro de los cuales se encuentran cambios en sus características fisicoquímicas y en sus componentes bioactivos (Santos *et al.*, 2021). Sin embargo, estos cambios solo han sido reportado para frutos de mayor consumo, por lo que aún se desconoce lo que ocurre con frutos nativos y el papel fisiológico que desempeñan durante el proceso de maduración (Fischer *et al.*, 201; Yahia, 2018).

Por lo anterior, *Passiflora tarminiana* es una alternativa de alimento accesible y saludable que debido a las condiciones de clima y suelo en nuestro país y específicamente en la región del Valle de Tulancingo, Hidalgo han propiciado su adaptación con muy buena aceptación entre los pobladores de las comunidades donde se recolecta, además que al ser un fruto exótico hasta ahora subexplotado pudiera despertar un gran interés para la tecnología de los alimentos y posibles aplicaciones industriales. Por lo que, la caracterización de *Passiflora tarminiana* permitirá identificar sus propiedades fisicoquímicas de calidad, propiedades funcionales, compuestos bioactivos y actividad de las enzimas antioxidantes a lo largo de su desarrollo; permitiendo tener información sobre el papel fisiológico que juegan durante dicho proceso y así contribuir al conocimiento de la fisiología del fruto.

II. OBJETIVOS

Objetivo general

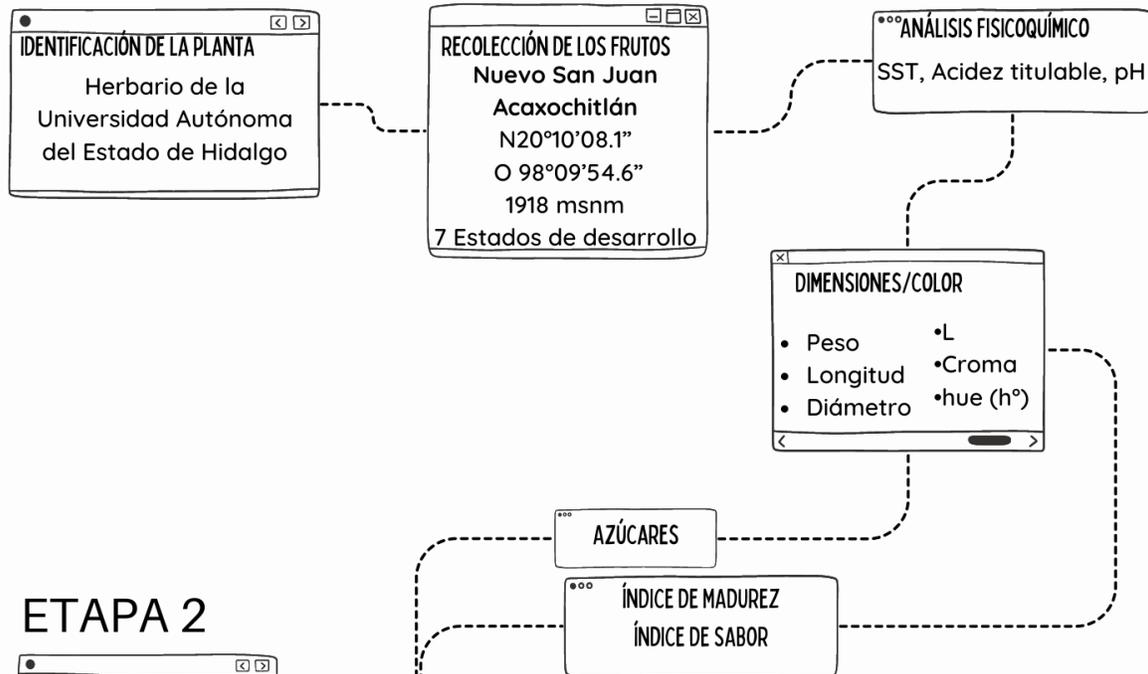
Evaluar los cambios fisicoquímicos y el comportamiento del sistema antioxidante enzimático y no enzimático durante el desarrollo de los frutos de *Passiflora tarminiana* que se producen en Nuevo San Juan, Acaxochitlán, Hidalgo.

Objetivos específicos

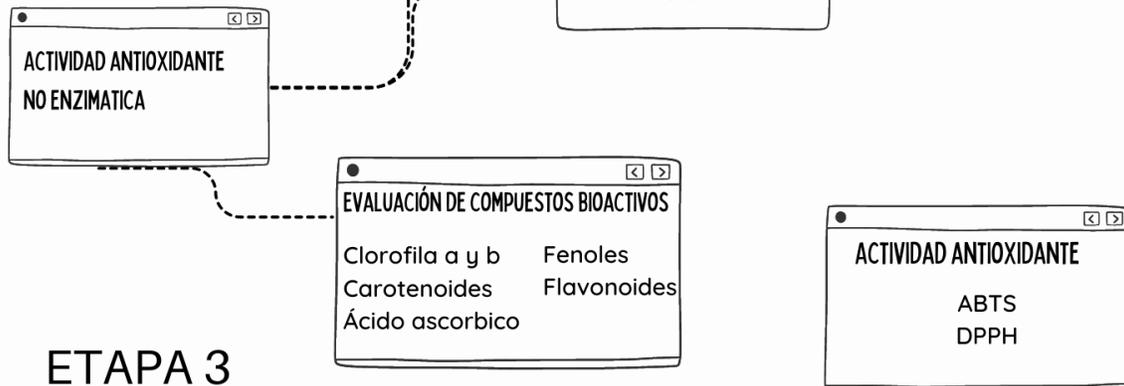
1. Describir los cambios en los parámetros fisicoquímicos que ocurren durante el crecimiento, maduración y senescencia del fruto de *Passiflora tarminiana*.
2. Determinar el contenido de compuestos bioactivos como fenoles totales, flavonoides, clorofila, carotenoides, ácido ascórbico durante las distintas etapas del desarrollo de *Passiflora tarminiana*.
3. Cuantificar la actividad antioxidante *in vitro* de los frutos de *Passiflora tarminiana* mediante los ensayos ABTS y DPPH.
4. Determinar la actividad del sistema antioxidante enzimático del fruto de *Passiflora tarminiana* durante su desarrollo mediante las enzimas superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), guayacol peroxidasa (PX), polifenoloxidasas (PPO).
5. Evaluar el contenido de H₂O₂ y la determinación de peroxidación lipídica mediante la cuantificación del malondialdehído como índice de daño oxidativo.

III. DIAGRAMA METODOLÓGICO

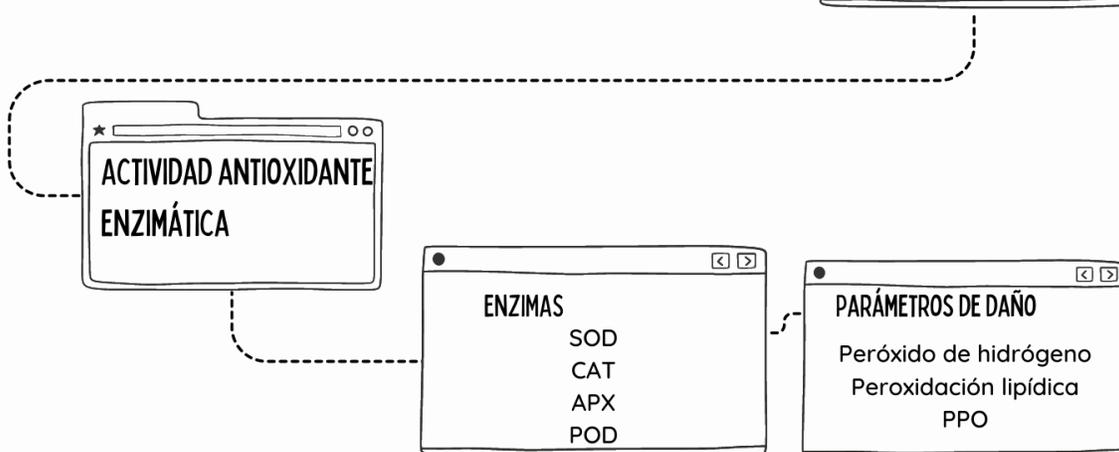
ETAPA 1



ETAPA 2



ETAPA 3



Capítulo I

Frutos de la familia *Passifloracea* diversidad y beneficios a la salud

RESUMEN

Los frutos de las plantas de la familia *Passifloracea* son consumidos en varios estados de la república mexicana como Veracruz, Guerrero, Nayarit, Jalisco e Hidalgo y en diferentes países del mundo como Perú, Ecuador, Venezuela, México y en algunos países en África y Australia, sin embargo, su consumo es bajo comparado con otros frutos. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es revalorar estos frutos y su disponibilidad de aquellos que crecen de forma silvestre en algunas regiones del país, ya que son un alimento natural con diferentes beneficios a la salud que incluso podrían ser una alternativa para la industria agrícola y alimentaria. Son particularmente apreciados por los habitantes de las regiones donde se producen y comercializados en los mercados municipales locales de diferentes estados de la república. Cada uno de los componentes de estas frutas tiene propiedades únicas que pueden beneficiar a múltiples industrias, los más conocidos son el maracuyá, la granadilla y la curuba. Sus características varían en color de cáscara, color de la pulpa en la cual poseen gran cantidad de semillas, dentro de las mismas variedades el grosor de la cáscara es distinto. Se comen frescos, en bebidas o como parte de los ingredientes de postres por su sabor característico entre ácido y dulce. Existe gran variedad de estos frutos y algunos de mayor consumo y más conocidos se han investigado relacionándoles con diferentes beneficios a la salud por su alto contenido en vitamina C y otros antioxidantes.

Palabras clave: *antioxidantes, alimentos nativos, compuestos bioactivos, frutos de Passiflora, frutos exóticos.*

1. Introducción

Las pasifloras son plantas trepadoras tipo enredadera que tienen importancia en la familia *Pasiflorácea* por poseer flores coloridas llamativas y producir un fruto exótico, comestible, aromático y tropical. Existen más de 600 especies dentro de este género, de las cuales sólo 60 producen fruto comestible (Ghada *et al.*, 2020; Barbosa-Santos *et al.*, 2021). Su producción comercial inició al final de la década de 1960 al instalarse los primeros huertos y actualmente estos frutos son utilizados para diferentes usos gastronómicos o bien solo para su consumo en fresco. Estas plantas se adaptan a climas tropicales y semitropicales y algunas variedades llegan a soportar heladas ligeras (Martínez-Jaime *et al.*, 2017).

Los frutos de las plantas del género *Passiflora* son originarios de Sudamérica. Brasil y Colombia son los países con la mayor variedad de estas especies (Shahidah *et al.*, 2022). Además, también se cultivan en Perú, Ecuador, Venezuela; algunos países de América Central como México, en África y Australia (Rodríguez *et al.*, 2020). Los frutos más conocidos y consumidos en el mundo son el maracuyá, la granadilla, la curuba entre otros. Algunos de estos son cultivados de manera comercial mientras que otras variedades poco conocidas son de producción de traspatio o crecen de forma silvestre (Kawakami *et al.*, 2022).

Entre las características que comparten esta que poseen una cáscara la cual puede ser de diferente color (púrpura, amarilla, roja, naranja etc.) y grosor. En su interior la pulpa contiene gran cantidad de semillas. El color de la pulpa en cada variedad también es diferente. En relación a su sabor, algunos de estos frutos son más dulces mientras otros se caracterizan por un sabor ácido (Domínguez-Rodríguez *et al.*, 2019).

En México se consume más la granadilla y el maracuyá amarillo. Sin embargo, existen variedades criollas que se comercializan en mercados locales, las cuales no han sido estudiadas. Este tipo de frutos silvestres se venden en los mercados locales de los diferentes estados de la República Mexicana destacando Veracruz, Guerrero, Hidalgo y Nayarit. Sin embargo, a pesar de que se ha mostrado que estos frutos otorgan beneficios a la salud humana, su accesibilidad en algunas regiones y su consumo aún es bajo (CIAD, 2022). Lo anterior en parte al cambio en las preferencias de consumo en la dieta mexicana, que ha resultado en la ingesta de alimentos con elevado aporte calórico y en una mayor incidencia en trastornos y enfermedades crónicas no transmisibles, como enfermedades cardiovasculares y diabetes mellitus tipo 2 (Dommarco *et al.*, 2022). Por lo anterior, el propósito de este trabajo fue describir las diferentes especies de frutos de la familia *Passiflora*, su importancia para coadyuvar a la salud del ser humano como parte de su alimentación y destacar la accesibilidad de aquellas variedades que crecen de forma silvestre como el fruto de *Passiflora tarminiana*.

2. Generalidades sobre las *Pasifloras*

Las *Passifloras* tienen importancia en la familia *Pasiflorácea* por poseer especies con fruto comestible que se producen a través de botones florales solitarios. El período de floración varía entre las diferentes especies y regiones. Requieren alrededor de 80-90 días aproximadamente desde la floración hasta la madurez del fruto. Prefieren el clima tropical y subtropical (Shahidah *et al.*, 2022). El requerimiento de agua es alto cuando las frutas se acercan a la madurez (Santos *et al.*, 2021). La importancia de estos frutos radica en su aporte de diferentes compuestos a los que se les ha asociado múltiples funciones biológicas (González-Burgos *et al.*, 2021).

Actualmente en Sudamérica se encuentra la mayor producción principalmente en las regiones tropicales y subtropicales (Tabla 1). Brasil es el país de esta región que concentra la mayor producción y es el principal consumidor de estos frutos (Rodríguez *et al.*, 2020). A final de la década de 1960 se instalaron los primeros huertos (Martínez-Jaime *et al.*, 2017).

De estos frutos se exporta principalmente el jugo, siendo los países europeos: Holanda y Alemania los destinos más importantes además de Estados Unidos, Puerto Rico y Japón. En la actualidad Ecuador y Perú son los principales exportadores. Estados Unidos, China y Alemania son los importadores a mayor escala. (Adex Data Trade, Sistema de Inteligencia Comercial, 2022; Arias *et al.*, 2020). Los analistas del mercado global predicen que, debido a la pandemia, la demanda de estos frutos naturales estará aumentando hasta 2027 (The Insight Partners, 2020). Además del incremento de precio de estos frutos exóticos en el mercado mundial está siendo remunerador (Arias *et al.*, 2020).

Tabla 1. Nivel de participación en la producción del maracuyá según continente

Continente	Participación en la Producción
Suramérica	84.5%
Asia	12.4%
África	2.7%
América Central	0.40%
Otros	0.01%

Fuente: FAO- Monitor frutos tropicales (2020)

2.1 Especies de *Pasifloras*

La familia *Pasiflorácea* de más de 600 especies en todo el planeta, siendo los fenotipos morados y amarillos los más cultivados (Guerra-Morales *et al.*, 2016; Shahidah *et al.*, 2022). La revisión sistemática para el género *Passiflora* más reciente fue realizada con base en caracteres morfológicos, genéticos y biográficos bien identificados. De manera general, se mencionan 66 especies y 14 variedades las cuales se describen en la Tabla 2 (Aguirre-Morales *et al.*, 2016). En Figura 1, se muestran tres especies diferentes, *P. edulis purpurea* (maracuyá purpura), *P. tarminiana* y *P. edulis flavicarpa* (maracuyá amarillo).

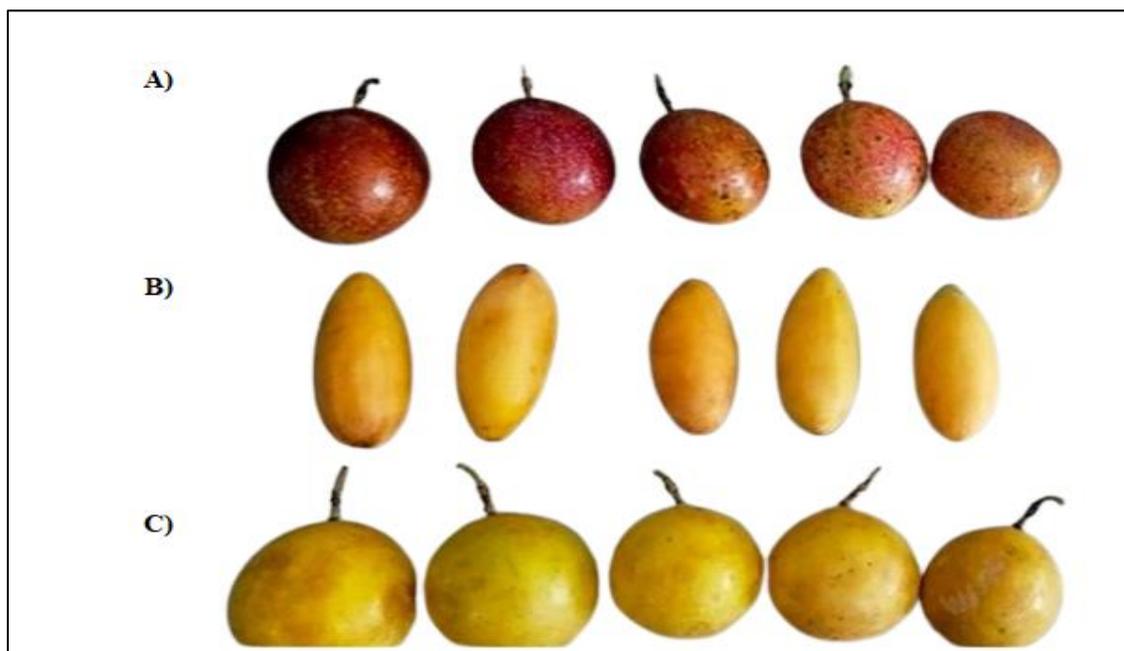


Figura 1. Frutos de *P. edulis purpurea* (A), *P. tarminiana* (B), *P. edulis flavicarpa* (C)

Tabla 2. Inventario general de especies del grupo *Passiflora* supersección *Tacsonia*

<i>P. mixta</i>	<i>P. manicata</i>	<i>P. trisecta</i>	<i>P. ampullacea</i>	<i>P. x rosea</i>
<i>P. adulterina</i>	<i>P. lanata</i>	<i>P. bracteosa</i>	<i>P. gracilens</i>	<i>P. crispolanata</i>
<i>P. peduncularis</i>	<i>P. tripartita</i>	<i>P. flexipes</i>	<i>P. cumbalensis</i>	<i>P. cuatrecasasii</i>
<i>P. pinatistipula</i>	<i>P. glaberrima</i>	<i>P. insignis</i>	<i>P. fimbriatistipula</i>	<i>P. loxensis</i>
<i>P. trifoliata</i>	<i>P. antioquiensis</i>	<i>P. schlimiana</i>	<i>P. lanceolata</i>	<i>P. macropoda</i>
<i>P. coactilis</i>	<i>P. pamplonensis</i>	<i>P. rugosa</i>	<i>P. parvifolia</i>	<i>P. zamorana</i>
<i>P. truxilensis</i>	<i>P. jamesonii</i>	<i>P. kuethiana</i>	<i>P. pilosicorona</i>	<i>P. mandonii</i>
<i>P. parritae</i>	<i>P. weberbaueri</i>	<i>P. harlingi</i>	<i>P. huamachucon</i>	<i>P. roseurum</i>
<i>P. luzmarina</i>	<i>P. cremastanta</i>	<i>P. runa</i>	<i>P. anastomosans</i>	<i>P. matewsii</i>
<i>P. tarminiana</i>	<i>P. leptomischa</i>	<i>P. andina</i>	<i>P. purdiel</i>	<i>P. quindiensis</i>
<i>P. trianae</i>	<i>P. carrascoensis</i>	<i>P. jardinensis</i>	<i>P. tenerifensis</i>	<i>P. colombiana</i>
<i>P. formosa</i>	<i>P. salpoense</i>	<i>P. uribei</i>	<i>P. linearistipula</i>	<i>P. unipetala</i>
<i>P. amazónica</i>	<i>P. brachyantha</i>	<i>P. linda</i>	<i>P. sanctaeburbara</i>	<i>P. weigendii</i>

Fuente: Aguirre *et al.* (2016)

3. Beneficios asociados a la salud

El cambio de hábitos de alimentación por parte de la población tiende a la búsqueda de nuevos tratamientos que controlen los efectos metabólicos ocasionados por las enfermedades crónicas degenerativas de alta prevalencia. Una estrategia terapéutica importante es el uso de plantas y alimentos naturales (Goss *et al.*, 2018; Yahia, 2018). Teniendo esto en cuenta, algunos de los frutos de *Passiflora* han sido estudiados y se les ha identificado con diferentes compuestos bioactivos como ácidos fenólicos y polifenoles principalmente (Carvalho *et al.*,

2023; Domínguez-Rodríguez *et al.*, 2019; Loizzo *et al.*, 2019). Asociado a lo anterior se ha documentado actividad antioxidante, antiinflamatoria, insecticida, antiespasmódica y antimicrobiana (de la Rosa *et al.*, 2018; Gadioli *et al.*, 2018; Kawakami *et al.*, 2022). En otras investigaciones se han estudiado los diferentes componentes del fruto por separado como la cáscara, semillas y pulpa (Goss *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2021). También se destaca su efecto en la prevención de dislipidemia, hiperglicemia y resistencia a la insulina (Goss *et al.*, 2018). De igual manera en el retardo de la disminución cognitiva asociada a Alzheimer y Parkinson al disminuir daño oxidativo (de Carvalho *et al.*, 2018; Doungue *et al.*, 2018; Shanmugam *et al.*, 2020).

De las especies más conocidas y comercializadas alrededor del mundo destaca la *Passiflora edulis* (maracuyá). Fruto en el que los principales componentes nutricionales incluyen fibra, carbohidratos, lípidos, ácidos carboxílicos, polifenoles, compuestos volátiles, proteínas y aminoácidos, vitaminas y minerales (Kawakami *et al.*, 2022). Actualmente se han identificado más de 110 componentes fitoquímicos a partir de las diferentes partes vegetales en las que destacan flavonoides, terpenoides y carotenoides (Goss *et al.*, 2018; He *et al.*, 2020). Entre los flavonoides encontrados en *P. edulis* hasta el momento son 33, en las diferentes partes (planta, semilla, cáscara, pulpa). Entre estos vitexina, isovitexina, isoorientina, apigenina, quercetina, luteolina, que representan clases importantes compuestos con respecto a sus diversos usos biológicos y propiedades farmacológicas (He *et al.*, 2020).

Domínguez-Rodríguez *et al.* (2019), obtuvieron antioxidantes de cáscara de las especies *P. ligularis*, *P. edulis*, *P. edulis flavicarpa* y *P. mollissima* donde los extractos de cáscara de *P. mollissima* y *P. edulis* presentaron mayor capacidad antioxidante y contenido fenólico.

flavonas, chalconas y ácidos fenólicos fueron las clases de polifenoles que pueden contribuir a la capacidad antioxidante de la cáscara de *Passiflora*. Las semillas de *P. edulis* contienen una variedad de nutrientes y componentes funcionales. Su uso industrial es deseable desde la perspectiva de la reducción de residuos. Estudios previos las han analizado, reportando que contienen varios tipos de polifenoles. Por lo anterior exhiben varias funciones fisiológicas, tales como efectos antioxidantes, efectos de la promoción de la quema de grasa y efectos hipoglucémicos (Kawakami *et al.*, 2022). También se ha observado un alto efecto antioxidante y actividad antibacteriana contra *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*, *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus*. Este mismo estudio confirma que los ácidos grasos insaturados, ácido linoleico y tocoferol fueron representativos de la semilla considerándose una buena fuente de ácidos grasos insaturados esenciales, lo que significa una oportunidad para agregar valor a estos residuos agroindustriales (Pereira *et al.*, 2019).

Las enfermedades inflamatorias intestinales se caracterizan por sus eventos inflamatorios y oxidativos que pueden conducir a síntomas como dolor abdominal y pérdida de peso corporal. En los últimos años las alternativas naturales surgen como buena opción para el tratamiento y la prevención. Entre esos nuevos productos naturales, *Passiflora edulis* podrían ser una interesante herramienta contra este tipo de padecimientos por los resultados de estudios *in vitro* y en animales (Nascimento *et al.*, 2021). Aunque el uso de *P. edulis* es popular, la eficacia del uso de estas plantas y sus frutos no se ha explorado a profundidad en ensayos clínicos humanos (Correa *et al.*, 2020).

Por otro lado, Gazola *et al.* (2018) destaca a los frutos de *Passiflora quadrangularis*, especie cultivada y consumida en sudamérica por mostrar una relación positiva entre la actividad

sedante y sus flavonoides (vitexina-2'-O-xilosida, vitexina-2''-O-glucósido, orientina-2'-O-xilosida y orientina-2'-O-glucósido). El flavonoide principal del extracto, fue la vitexina-2''-O-xilosida, el cual mostró actividad sedante después de la administración oral en ratones.

Por su parte Sabogal-Palma *et al.* (2016) realizaron un estudio comparativo entre *Passiflora maliformis* (cholupa) y *Passiflora edulis flavicarpa* (maracuyá) el cual mostró la presencia de abundante contenido de taninos, antocianinas y terpenos. Así mismo, actividad antioxidante en la cáscara y la semilla mayor en la cholupa que en maracuyá. En este mismo estudio la cholupa resulto con un alto potencial bacteriostático, además de atribuirle propiedades, insecticidas, sedativas, antienvjecimiento y antiespasmódico.

Santos *et al.* (2021) analizaron la semilla de *Passiflora ligularis* y proponen que la fermentación mejora la bioactividad de estas; por lo que obtuvieron harina de semilla con actividad antioxidante identificándose ácido gálico, catequina, epigallocatequina, cumarina y 6,2 dihidroxiflavona como principales compuestos que influyen en esta actividad, otorgándole potencial de aplicación en la industria alimentaria y farmacéutica.

Por otro lado, los frutos de *Passiflora caerulea* de India considerando la pulpa y la semilla en una administración de 200 mg/kg de extracto acuoso del fruto retrasó significativamente la aparición de convulsiones y disminuyó la duración de estas en modelos animales donde los datos obtenidos mostraron actividad anticonvulsiva y mejora de la función cognitiva, lo que sugiere el potencial terapéutico para la epilepsia y la neurodegeneración (Smilin *et al.*, 2019).

De algunas otras variedades menos conocidas solo se han reportado como fuente de compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante, en un análisis por HPLC se identificaron catorce metabolitos secundarios entre estos flavonoides C-glucósidos, como isoorientina, orientina, vitexina e isovitexina en extractos etanolicos de *P. cincinnata*, una especie nativa de Brasil. Esta especie se ha utilizado en la medicina tradicional de ese país como sedante y antihipertensivo; sin embargo, solo hay pocos estudios científicos que investigan su actividad antioxidante. Estos resultados muestran el potencial de estas especies como fuente de fenoles (Leal *et al.*, 2018).

En la Tabla 3 se destacan algunas de las investigaciones en diferentes especies de generó *Passiflora* y sus beneficios a la salud, algunas de ellas en modelos *in vitro* y modelos animales así también considerando diferentes partes de la planta y los frutos.

4. Producción en México

La producción de los frutos de *Passiflora* se ha desarrollado en varias etapas. Inició con la introducción del fruto, bajo siembra por traspatio en los estados de Puebla y Veracruz. Se calcula que en 1990 inició la siembra comercial y se han encontrado diferentes ejemplares de tipo silvestre. Los datos de producción de estos frutos se han reportado para una de las variedades más comunes, la superficie sembrada del cultivo de maracuyá en México en el 2019 fue de 658 ha. La producción total en ese mismo año fue de 7332 t con un valor en producción de \$4067.16 dólares. (SIAP, 2020). Los principales estados productores son Veracruz, Jalisco, Nayarit, Tabasco, Morelos, Guerrero y Puebla como se observa en la Figura 2. Concentrando la mayoría superficie sembrada en Veracruz (Martínez *et al.*, 2017).

Tabla 3. Variedades del género Passifloras y sus beneficios a la salud

De Souza <i>et al.</i> 2012	<i>Passiflora edulis</i>	Beneficios en dislipidemia
Wang <i>et al.</i> 2013	<i>Passiflora edulis</i>	Efecto antidepresivo
Sobogal <i>et al.</i> 2016	<i>Passiflora maliformis</i> <i>Passiflora edulis</i>	Actividad antioxidante Actividad antibacteriana
Goss <i>et al.</i> 2018	<i>Passiflora edulis</i>	Previene resistencia a la insulina y esteatosis hepática
Gadioli <i>et al.</i> 2018	<i>Passiflora edulis</i>	Fuente de compuestos bioactivos como polifenoles
Gazola <i>et al.</i> 2018	<i>Passiflora quadrangularis</i>	Actividad sedante
Doungue, <i>et al.</i> 2018	<i>Passiflora edulis</i>	Disminuye defecto cognitivo en Alzheimer
Leal <i>et al.</i> 2018	<i>Passiflora cincinnata</i>	Compuestos bioactivos Actividad antioxidante
Pereira <i>et al.</i> 2018	<i>Passiflora edulis</i>	Alto rendimiento antioxidante Actividad antibacteriana
Domínguez-Rodríguez <i>et al.</i> 2019	<i>P. ligularis</i> , <i>P. edulis</i> , <i>P. mollissima</i>	Compuestos Fenólicos y efecto antioxidante
Smilin <i>et al.</i> 2019	<i>Passiflora caerulea</i>	Actividad antioxidante Actividad anticonvulsiva Antineurodegenerativa
Correa <i>et al.</i> 2020	<i>Passiflora edulis</i> (hojas)	Efecto antidiabético y antiplaquetario en modelos animales
He <i>et al.</i> 2020	<i>Passiflora edulis</i>	Actividad antioxidante, antihipertensiva, neuroprotectora, antitumoral, antidiabética, antifúngica, hipolipemiantes
Holanda <i>et al.</i> 2020	<i>Passiflora tenuifila</i>	Modula síntomas de enfermedad de Parkinson.
Nacimiento <i>et al.</i> 2021	<i>Passiflora edulis</i>	Prevención y tratamiento de enfermedades gastrointestinales
O'zarowski y Karpinski, 2018	<i>Passiflora incarnata</i> , <i>Passiflora caerulea</i>	Relación antiinflamatoria y antioxidante
Duarte <i>et al.</i> 2022	<i>Passiflora setacea</i>	Efecto antiinflamatorio
O'zarowski y Karpinski, 2018	<i>Passiflora incarnata</i> , <i>Passiflora caerulea</i> <i>Passiflora alata</i>	Actividad antiinflamatoria y antioxidante
Santos <i>et al.</i> 2020	<i>Passiflora ligularis</i>	Actividad antioxidante
Santos <i>et al.</i> 2021	<i>Passiflora tenuifila</i>	Compuestos bioactivos

Actualmente se busca ampliar la oferta de frutas y vegetales con la participación de los productores y agroempresarios mexicanos ya que México es un país con alta producción de alimentos y con una cultura alimentaria importante (Martínez-Jaime *et al.*, 2017; Segura *et al.*, 2018). Estudios recientes hacen notar que esta cultura alimentaria debe permanecer y fortalecerse, ya que también puede considerarse beneficiosa para la salud por la variedad de componentes frescos de plantas y frutos utilizados para consumo (Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2021; Rodríguez-Casado, 2016).



Figura 2. Adaptado de Distribución del género *Passiflora* en México (Segura *et al.*, 2018).

5. El fruto de *Passiflora tarminiana*, variedad silvestre

P. tarminiana originaria de la zona montañosa de Sudamérica en Colombia. También se encuentran cultivos en Chile, Australia, Nueva Zelanda, Estados Unidos y México. Nombrada así en honor a Tarmin Campos, quien la describe por primera vez (Ocampo *et al.*, 2010; Segura *et al.*, 2018). El fruto nativo *Passiflora tarminiana* pertenece al género *Passiflora*, de la familia *Passifloraceae*. Las encontramos cultivada en huertos caseros o

creciendo de forma silvestre, pero algunos productores la están explotando a nivel comercial por sus características particulares (Primot *et al.*, 2005). Esta planta se caracteriza por poseer flores solitarias color lila, que al florecer abren ampliamente. De esta flor surge un fruto comestible de forma ovoide, con pericarpio blando, de color verde claro que se torna amarillo al madurar. Su pulpa es naranja con semillas abundantes. Su tamaño oscila entre los 12 cm de largo y de 4 cm de diámetro (Primot *et al.*, 2005). Las semillas requieren un corto período de posmaduración. La mayoría de las plántulas emergen en 4 a 12 semanas. Las plantas pueden crecer de semilla a floración en aproximadamente un año (Popay *et al.*, 2022; Primot *et al.*, 2005). Las fases de la floración se concentran en los meses de mayo a agosto, y fructifican en los meses húmedos del invierno (diciembre - marzo). En relación a su longevidad pueden llegar a los 20 años de edad. Toleran niveles de luz altos y bajos, así como heladas ligeras (Pompay *et al.*, 2022). Los frutos de *P. tarminiana* (Figura 3) actualmente son vistos con interés como nueva fuente de frutos comestibles, aunque su comercialización es limitada. Su clasificación taxonómica se describe en la Tabla 4 (Rodríguez *et al.*, 2020).

Tabla 4. Taxonomía *Passiflora tarminiana*

Reino	Plantae
Familia	Passifloracrae
Género	<i>Passiflora</i>
Sección	<i>Tacsonia</i>
Especie	<i>Passiflora tarminiana</i>

Fuente: Rodríguez *et al.* (2020)



Figura 3. Fruto silvestre de *P. tarminiana*, que crece en el estado de Hidalgo, México, tomada en mayo 2022.

6. Conclusión

Resulta importante promover y revalorar el consumo de alimentos naturales ya sean silvestres y/o cultivados que sean de fácil acceso para la población y más aquellos que otorguen beneficios a la salud. Los frutos de las plantas de *Passiflora* son una fuente importante de vitaminas, minerales y antioxidantes sumado a lo anterior su sabor característico entre ácido y dulce hace una adición interesante bien aceptada para incorporarse a cualquier dieta. Los metabolitos secundarios en los frutos del género *Passiflora* han atraído considerable atención porque estos compuestos ejercen numerosos beneficios para la salud. Los diferentes frutos de estas familias y las diferentes partes de plantas (hojas, brotes, cáscaras y pulpa) contienen una variedad de componentes bioactivos diferentes entre las mismas variedades de frutos de *Passiflora*. Estos resultados sugieren que su consumo puede ayudar a mejorar la salud de diversas maneras.

Por otro lado, los productos naturales están emergiendo como una medida para el tratamiento de diferentes condiciones metabólicas. En este contexto los frutos del género *Passiflora* tradicionalmente se han utilizado para diferentes propósitos (por ejemplo, sedante, antiespasmódico y ansiolítico), así mismo ha mostrado efectos sobre el metabolismo. Los componentes y las propiedades de los diferentes tipos de estos frutos son diversos y muchos no han sido estudiados como lo es en el caso de los frutos de *Passiflora tarminiana*.

Estos frutos son una excelente opción para aquellos que buscan una alimentación saludable y diversificada. Además, existen oportunidades de investigación para utilizar mejor estos frutos y sus subproductos.

REFERENCIAS

- Adex Data Trade. (2022). *Sistema de inteligencia comercial*. Fuente de información cuantitativa y cualitativa de comercio exterior para el mundo.
- Aguirre-Morales, A. C., Bonilla-Morales, M. M., & Agudelo-Varela, O. (2016). Historia de *Passiflora Supersec. Tacsonia*: un acercamiento taxonómico. *Revista Biodiversidad Neotropical*, (6), pp 107. <https://doi.org/10.18636/bioneotropical.v6i2.581>
- Arias, F., Appelman, T., Echeverri, C., Arboleda, C., & Giraldo, L. F. (2020). Analysis of the worldmarket of purple passion fruit. https://www.researchgate.net/publication/349849475_Analysis_of_the_world_market_of_purple_passion_fruit/stats
- Ballesteros Pomar, M. D., & Bretón Lesmes, I. (2020). Clinical Nutrition in times of COVID-19. *Endocrinología, Diabetes y Nutrición*, 67(7), 427–430. <https://doi.org/10.1016/j.endinu.2020.05.001>
- Barbosa Santos, T., de Araujo, F. P., Neto, A. F., de Freitas, S. T., de Souza Araújo, J., de Oliveira Vilar, S. B., Lima, M. S. (2021). Phytochemical Compounds and Antioxidant Activity of the Pulp of Two Brazilian Passion Fruit Species: *Passiflora cincinnata* and *Passiflora edulis sims*. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 255–269.
- Carvalho Pereira Z., Martins dos Anjos Cruz J., Frota Corrêa R., Aparecido Sanches E., Henrique Campelo P., Araújo Bezerra J. (2023). Passion fruit (*Passiflora spp.*) pulp: A review on bioactive properties, health benefits and technological potential. En: *Food Research International*, vol. 166 <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112626>.
- Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo CIAD. (2022). Maracuyá: un fruto exótico saludable. Tomado de <https://www.ciad.mx/maracuya-un-fruto-exotico-saludable/>
- Correa Salles, B. C., Aparecido da Silva, M., Taniguthi, L., Ferreira, J. N., Quintino da Rocha, C., Vilegas, W., ... Borges de Araújo Paula, F. (2020). *Passiflora edulis* Leaf Extract: Evidence of antidiabetic and antiplatelet effects in rats. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 43(1), 169–174. <https://doi.org/10.1248/bpb.b18-00952>
- de la Rosa, L. A., Moreno-Escamilla, J. O., Rodrigo-García, J., & Alvarez-Parrilla, E. (2018). Phenolic compounds. In *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables* (pp. 253–271). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00012-9>
- Domínguez-Rodríguez, G., García, M. C., Plaza, M., & Marina, M. L. (2019). Revalorization of *Passiflora* species peels as a sustainable source of antioxidant phenolic compounds. *Science of the Total Environment*, 696. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134030>
- Dommarco, J. Á. R., Pimienta, T. G. S., Guerra, A. G., Ávila, M. A., Nasu, L. C., Barquera, S., & CIEE, T. S. L. (2022). Situación nutricional de la población en México durante los últimos 120 años. Instituto Nacional de Salud Pública
- Doungue, H. T., Kengne, A. P. N., & Kuate, D. (2018). Neuroprotective effect and antioxidant activity of *Passiflora edulis* fruit flavonoid fraction, aqueous extract, and juice in aluminum

chloride-induced Alzheimer's disease rats. *Nutrire*, 43(1), 23.
<https://doi.org/10.1186/s41110-018-0082-1>

- Duarte I, de Souza MCM, Curinga RM, Mendonça HM, de Lacerda de Oliveira L, Milenkovic D, Hassimotto NMA, Costa AM, Malaquias JV, Dos Santos Borges TK. (2022). Effect of *Passiflora setacea* juice and its phenolic metabolites on insulin resistance markers in overweight individuals and on microglial cell activity. *Food Funct.* 20;13(12):6498-6509. doi: 10.1039/d1fo04334j. PMID: 35621054.
- Fischer, G., Melgarejo, L. M., & Cutler, J. (2018). Pre-harvest factors that influence the quality of passion fruit: A review. *Agronomía Colombiana*, 36(3), 217–226. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v36n3.71751>
- Gadioli, I. L., De, M., Barreto Da Cunha, S., Oliveira De Carvalho, M. V., María Costa, A., & de Lacerda De Oliveira Pineli, L. (2018). *A systematic review on phenolic compounds in Passiflora plants: Exploring biodiversity for food, nutrition, and popular medicine.*
- Gazola, A. C., Costa, G. M., Zucolotto, S. M., Castellanos, L., Ramos, F. A., de Lima, T. C. M., & Schenkel, E. P. (2018). The sedative activity of flavonoids from *Passiflora quadrangularis* is mediated through the GABAergic pathway. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 100, 388–393. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.02.002>
- Ghada, B., Pereira, E., Pinela, J., Prieto, M., Pereira, C., Calhelha, R., Stojkovic, D., Sokóvic, M., Zaghdoudi, K., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. (2020). Recovery of anthocyanins from passion fruit epicarp for food colorants: Extraction process optimisation and evaluation of bioactive properties. *Molecules*, 25(14), 3203. <https://doi.org/10.3390/molecules25143203>
- González-Burgos, E., & Gómez-Serranillos, M. P. (2021). Effect of phenolic compounds on human health. In *Nutrients*. Vol. 13 (11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nu13113922>
- Goss, M. J., Nunes, M. L. O., Machado, I. D., Merlin, L., Macedo, N. B., Silva, A. M. O., ... Santin, J. R. (2018). Peel flour of *Passiflora edulis* Var. *Flavicarpa* supplementation prevents the insulin resistance and hepatic steatosis induced by low-fructose-diet in young rats. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 102, 848–854. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.03.137>
- Guerra-Morales, A. C., Bonilla-Morales, M. M., & Agudelo-Varela, O. (2016). Historia de *Passiflora Supersec*. Tacsonia (*Passiflora oraceae*): un acercamiento taxonómico. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 6 (2), 107. <https://doi.org/10.18636/bioneotropical.v6i2.581>
- He X, Luan F, Yang Y, Wang Z, Zhao Z, Fang J, Wang M, Zuo M and Li Y (2020) *Passiflora edulis*: An Insight Into Current Researches on Phytochemistry and Pharmacology. *Front. Pharmacol.* 11:617. doi: 10.3389/fphar.2020.00617
- Hernández-Fuentes, A. D., Arroyo-Aguilar, J. E., Gutiérrez-Tlahque, J., Santiago-Saenz, Y. O., Quintero-Lira, A., Reyes-Fuentes, M., & López-Palestina, C. U. (2023). Application of Cu Nanoparticles in Chitosan-PVA Hydrogels in a Native Tomato Genotype: Evaluation of the Postharvest Behavior of the Physicochemical and Bioactive Components of the Fruits. *Food and Bioprocess Technology*, 1-10.

- Holanda DKR, Wurlitzer NJ, Dionisio AP, Campos AR, Moreira RA, Sousa PHM, Brito ES, Ribeiro PRV, Iunes MF, Costa AM. (2020). Garlic passion fruit (*Passiflora tenuifila killip*): Assessment of eventual acute toxicity, anxiolytic, sedative, and anticonvulsant effects using in vivo assays. *Food Res.* doi: 10.1016/j.foodres.2019.108813.
- Kawakami, S., Morinaga, M., Tsukamoto-Sen, S., Mori, S., Matsui, Y., & Kawama, T. (2022). Constituent characteristics and functional properties of passion fruit seed extract. *Life*. MDPI. <https://doi.org/10.3390/life12010038>
- Leal, A. E. B. P., de Oliveira, A. P., Santos, R. F. dos, Soares, J. M. D., Lavor, E. M. de, Pontes, M. C., Almeida, J. R. (2018). Determination of phenolic compounds, in vitro antioxidant activity and characterization of secondary metabolites in different parts of *Passiflora cincinnata* by HPLC-DAD-MS/MS analysis. *Natural Product Research*, 34(7), 995–1001. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1548445>
- Loizzo, M. R., Lucci, P., Núñez, O., Tundis, R., Balzano, M., Frega, N. G. Pacetti, D. (2019). Native Colombian fruits and their by-products: Phenolic profile, antioxidant activity and hypoglycaemic potential. *Foods*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/foods8030089>
- Martínez-Jaime, O. A., Abraham-Juárez, M. R., & Gómez-Ortega, A. (2017). Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos propiedades fisicoquímicas y nutraceuticas de dos genotipos de maracuyá (*Passiflora edulis var. flavicarpa*) procedentes de dos regiones de México resumen. Vol.2
- Nascimento, R., Moya, A. M., Machado, A. P., Geraldi, M. V., Diez-Echave, P., Vezza, T., Maróstica Junior, M. R. (2021). Review on the potential application of non-phenolic compounds from native latin American food by products in inflammatory bowel diseases. *Food Research International*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109796>
- Ocampo, J., d'Eeckenbrugge, G. C., & Jarvis, A. (2010). Distribution of the genus *Passiflora* Diversity in Colombia and its potential as an indicator for biodiversity management in the coffee growing zone. *Diversity*, 2(11), 1158–1180. <https://doi.org/10.3390/d2111158>
- Ozarowski, M., Piasecka, A., Paszel-Jaworska, A., Chaves, D. S. de A., Romaniuk, A., Rybczynska, M., Gryszczynska, A., Sawikowska, A., Kachlicki, P., Mikolajczak, P. L., Seremak-Mrozikiewicz, A., Klejewski, A., & Thiem, B. (2018). Comparison of bioactive compounds content in leaf extracts of *Passiflora incarnata*, *P. caerulea* and *P. alata* and in vitro cytotoxic potential on leukemia cell lines. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 28(2), 179–191. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2018.01.006>
- Pereira, M. G., Maciel, G. M., Haminiuk, C. W. I., Bach, F., Hamerski, F., de Paula Scheer, A., & Corazza, M. L. (2019). Effect of extraction process on composition, antioxidant and antibacterial activity of oil from yellow passion fruit (*Passiflora edulis Var. Flavicarpa*) seeds. *Waste and Biomass Valorization*, 10(9), 2611–2625. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0269-y>
- Popay, I. (2022) '*Passiflora tarminiana* (banana passionfruit)', CABI Compendium. CABI International. doi: 10.1079/cabicompendium.119428.

- Primot, S., Coppens D'eeckenbrugge, G., Rioux, V., Albeiro, J., Pérez, O., & Garcin, F. (2005). Variación morfológica de tres especies de curubas (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*, *P. tarminiana* y *P. mixta*) y sus híbridos en el valle del cauca. Colombia 1. Revista. Brasileira de. Fruticultura. (3).
- Rodríguez, A., Fábio, C., Faleiro, G., Parra, M., Ana, M., & Costa, M. (2020). *Pasifloras especies cultivadas en el mundo*. Proimpres.
- Rodríguez-Casado, A. (2016). The Health Potential of Fruits and Vegetables Phytochemicals: Notable Examples. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Vol. 56, (7), pp. 1097–1107. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.755149>
- Rodríguez-Ramírez, S., Gaona-Pineda, E. B., Martínez-Tapia, B., Romero-Martínez, M., Mundo-Rosas, V., & Shamah-Levy, T. (2021). Food insecurity and perception of households food intake changes during Covid-19 lockdown in Mexico. *Salud Publica de México*, 63(6), 763–772. <https://doi.org/10.21149/12790>
- Santos R. J., Feitosa, P. B., Nayjara G. C., Narain N., Santana L. C. (2021). Improvement of bioactive compounds content in granadilla (*Passiflora ligularis*) seeds after solid-state fermentation. *Food Science and Technology International*, doi:10.1177/1082013220944009
- Santos, J. T. do C., Petry, F. C., Tobaruela, E. de C., Mercadante, A. Z., Gloria, M. B. A., Costa, A. M., Lajolo, F. M., & Hassimotto, N. M. A. (2021). Brazilian native passion fruit (*Passiflora tenuifila* Killip) is a rich source of proanthocyanidins, carotenoids, and dietary fiber. *Food Research International*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110521>
- Segura Campos MR. (2019). *Bioactive Compounds. Health benefits and potential applications*. Woodhead publishing. Elsevier.com/books-and-journals.
- Segura, S., Fresnedo, J., Mathuriau, C., López, J., Andrés, J., & Muratalla, A. (2018). The edible fruit species in Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65(6), 1767–1793. <https://doi.org/10.1007/s10722-018-0652-3>
- Shahidah Md Nor, Phebe Ding, Siti Zaharah Sakimin, Amin Ismail & Faridah Abas Pertanika. (2022). Passion Fruit A Potential Crop for Exploration in Malaysia: A Review Journal of Tropical Agricultural Science, (45), 3. DOI: <https://doi.org/10.47836/pjtas.45.3.14>
- Shanmugam, S., Sandes, R. D. D., Rajan, M., Neta, M. T. S. L., dos Santos Lima, B., de Jesus, M. J. M., Denadai, M., Narain, N., Thangaraj, P., Serafini, M. R., Quintans-Júnior, L. J., & de Souza Araújo, A. A. (2020). Volatile profiling and UHPLC-QqQ-MS/MS polyphenol analysis of *Passiflora leschenaultii* DC. fruits and its anti-radical and anti-diabetic properties. *Food Research International*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109202>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Smilin Bell Aseervatham, G.; Abbirami, E.; Sivasudha, T.; Ruckmani, K. (2019). *Passiflora caerulea* L. fruit extract and its metabolites ameliorate epileptic seizure, cognitive deficit and oxidative stress in pilocarpine-induced epileptic mice. *Metabolic Brain Disease*, 35(1): pp 159-173. doi:10.1007/s11011-019-00501-5

- The Insight Partners. (2020). The European market potential for exotic tropical passion fruit concentrate market forecast to 2027 - COVID-19 impact and global analysis by source (organic and conventional) and end use (infant food, beverages, bakery and snacks, ice cream and yogurt, and others) fruit. <https://www.theinsightpartners.com/reports/passion-fruit-concentrate-market>
- Wang, W., Su, M., Li, H., Zeng, B., Chang, Q., & Lai, Z. (2018). Effects of supplemental lighting with different light qualities on growth and secondary metabolite content of *Anoectochilus roxburghii*. *Peer J*, 6, e5274. <https://doi.org/10.7717/peerj.5274>
- Yahia Elhadi M. (2018). *Fruit and vegetable phytochemicals*. Chemistry and human health. Ed. 2. Vol. 2.

Capítulo II

Cambios en la calidad fisicoquímica durante el crecimiento y desarrollo de los frutos

de *Passiflora tarminiana*

RESUMEN

Los frutos de la familia *Passiflora* se consumen en varios países del mundo sobre todo en zonas tropicales y subtropicales. En México se puede encontrar como fruto silvestre o de traspatio a *Passiflora tarminiana*, sin embargo, la información relacionada a este fruto y los cambios que ocurren durante su proceso de maduración aún es nula. Por lo que el objetivo de este trabajo es describir los cambios fisicoquímicos que ocurren durante el crecimiento, maduración y senescencia del fruto de *Passiflora tarminiana*. Para lo cual se establecieron siete estados de desarrollo considerando días transcurridos después de la antesis. Se evaluaron cambios fisicoquímicos de los siete estados entre estos: dimensiones, peso, color, pH, acidez titulable, sólidos solubles totales, contenido de azúcares, índice de sabor e índice de madurez. Los valores encontrados permiten identificar la máxima ganancia de tamaño y peso en el estadio 5, mientras que los cambios en color son a tonalidad amarilla en estadio 6 coincidiendo con el incremento de azúcares en este mismo estado al igual que el mayor índice de sabor e índice de madurez. Estos cambios fisiológicos en el desarrollo del fruto y el haber evaluado estas variables permiten identificar el estado 6 como el periodo de ventana de cosecha de los frutos, de esta forma la vida del fruto poscosecha será mayor, para su venta o consumo, así como sus características de sabor y madurez serán las más aceptadas.

Palabras clave: *Calidad poscosecha, fisicoquímicos, índices de cosecha, maduración, Passiflora tarminiana,*

1. INTRODUCCIÓN

El género *Passiflora* es nativo de los países tropicales y semitropicales de América, se considera que Brasil es el centro de diversidad de este género extendiéndose a otros países del sur y Centroamérica como México, aunque estas especies en nuestros días también se pueden encontrar en Asia y Australia. (He *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2021). Existe gran variedad de estas plantas, se conocen alrededor de 600 especies (Aguirre-Morales *et al.*, 2016; He *et al.*, 2020). Algunas de estas son más valoradas ya que producen un fruto exótico de los más conocidos el maracuyá, la granadilla y la curuba (Ocampo *et al.*, 2010). En algunas especies del género *Passiflora* se han encontrado compuestos bioactivos de interés como los ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas, entre otros, lo que ha permitido establecer la relación con propiedades en beneficio de la salud (González-Burgos *et al.*, 2021; Papaila *et al.*, 2020). *Passiflora tarminiana* una variedad poco estudiada fue introducida en nuestro país y se mantiene como una variedad criolla creciendo de forma silvestre o en pequeños cultivos, convirtiéndose en un fruto de recolección en la región hidalguense. El fruto de *Passiflora tarminiana* posee un pericarpio blando, de color verde claro convirtiéndose en amarillo al madurar y en su interior contiene gran cantidad de semillas (Rodríguez *et al.*, 2020). Actualmente estos frutos se utilizan para comer en fresco, para preparar jugos y agua.

Por otro lado, resulta relevante promover y revalorar el consumo de alimentos naturales ya sean silvestres y/o cultivados que sean de fácil acceso para la población y más aquellos que otorguen beneficios a la salud (Ballesteros Pomar & Bretón Lesmes, 2020; Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2021). Al respecto, *Passiflora tarminiana* es una alternativa de alimento accesible y saludable que debido a las condiciones de clima y suelo en nuestro país y específicamente en la región del Valle de Tulancingo, Hidalgo han propiciado la adaptación

del fruto con buena aceptación de su consumo entre los pobladores de las comunidades donde se recolecta. Sin embargo, la información relacionada a este fruto en México y en los cambios que ocurren durante su proceso de maduración aún es nula.

Durante el desarrollo del fruto se llevan a cabo una serie de procesos de transformación de sus componentes dentro de los cuales se encuentran cambios en sus características fisicoquímicas (Santos *et al.*, 2021). Estos cambios solo han sido reportando para frutos de mayor consumo en estado de madurez comercial desconociendo lo que ocurre con frutos nativos y el papel fisiológico que desempeñan durante el proceso de maduración (Fischer *et al.*, 2018; Prasad *et al.*, 2018; Yahia, 2018). La calidad del fruto viene determinada principalmente por la calidad exterior e interior. La calidad exterior incluye principalmente el color de la fruta, el peso de la fruta, la frescura, el índice de madurez entre otros indicadores, mientras que la calidad interna está determinada principalmente por el contenido de sólidos solubles, porcentaje de ácidos, cantidad de azúcar y sabor (Unigarro *et al.*, 2018). En la actualidad, se han realizado muchos estudios para determinar y evaluar la calidad de los frutos permitiendo conocer y comparar los efectos de la diferente madurez de la cosecha sobre la calidad de la fruta poscosecha brindando información importante como identificar cuando es el mejor momento de cosecha (Maoz *et al.*, 2019; Xu *et al.*, 2020).

Por lo anterior, la caracterización de los frutos de *Passiflora tarminiana* permitirá identificar sus propiedades fisicoquímicas de calidad a lo largo de su desarrollo y así contribuir al conocimiento de la fisiología del fruto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Reactivos

Acetona, antrona, ácido sulfúrico, azul de bromotinol, fenoftaleina, hidróxido de sodio, ácido tricloroacético y etanol de Química Meyer (Química Suastes S.A. de C.V. Tlahúac, México, D.F., México).

2.2 Material vegetal

Como material de estudio se utilizó fruto de *Passiflora tarminiana* Coppens & V.E. Barney, la planta de donde procede el fruto fue identificada en el Herbario HGOM del estado de Hidalgo, México en el Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) por la Dra. Claudia Teresa Hornung y el M en C. Manuel González Ledesma (Figura 1). Los frutos se recolectaron de abril a julio de 2022 en la región del municipio de Acaxochitlán Hidalgo, en la localidad Nuevo San Juan ubicada en las siguientes coordenadas 20°10' 08.1" N, 98°09' 54.6" O a una altura 2,187 msnm. Las muestras del fruto se recolectaron, iniciando 15 días después de plena floración el 7 de abril 2022 considerándose como el estado de desarrollo 1 (E1). Posteriormente se llevaron a cabo otras seis recolecciones 12 de mayo (E2), 01 de junio (E3), 16 junio (E4), 01 julio (E5), 16 julio (E6) y 31 de julio (E7) del mismo año. Fueron diez frutos de cada estado que se clasificaron también por porcentaje de color de la cáscara como se indica en la Tabla 1.

Una vez cosechados los frutos se trasladaron al laboratorio de poscosecha del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), lavaron, secaron a temperatura y etiquetaron con fecha de recolección y estado de desarrollo.



Figura 1. Fotografías ilustrativas para la identificación botánica de la planta *P. tarminiana* tomadas en Acaxochitlán, Hidalgo, México, 2022.

Tabla 1. Determinación de los estados de madurez de los frutos de *Passiflora tarminiana* en relación al color de la cáscara.

Estado	Porcentaje de color
1	100% verde
2	95% verde, 5 % amarillo
3	85% verde, 15% amarillo
4	80% verde, 20% amarillo
5	70% verde, 30% amarillo
6	30% verde, 70% amarillo
7	100% amarillo

Para caracterizar el comportamiento de los frutos de *P. tarminiana* y determinar los estados de madurez, se estudiaron los siguientes parámetros físicos y químicos: peso fresco, diámetro y longitud del fruto, color, acidez titulable, sólidos solubles totales, pH, índice de madurez, índice de sabor y azúcares totales, azúcares reductores, azúcares no reductores. Para el análisis de los azúcares se utilizó fruto liofilizado para ello las muestras se almacenaron a -70 °C (Ultracongelador Thermo Scientific 303) durante 90 días. Después, los frutos se liofilizaron (Labconco, Modelo 79480, Kansas City, MO, EE. UU.). En seguida, las muestras se molieron en un molino de cuchillas (RTSCH GM 200, Haan, Alemania) a 9000 rpm durante un minuto y se almacenaron en bolsas herméticas oscuras.

2.3 Análisis fisicoquímico durante el crecimiento y desarrollo de los frutos de *P. tarminiana*

Estos análisis se determinaron con métodos oficiales de la Asociación de Colaboración Analítica Oficial (AOAC Internacional, 2005). El peso del fruto se realizó mediante una balanza analítica (Bonvoisin) y dimensiones (diámetro y longitud). Para la determinación de sólidos solubles totales (SST) se utilizó un refractómetro digital (Atago Palette, PR-101, Tokio, Japón), los resultados se expresan en °Brix. Las mediciones de pH se realizaron con un medidor de pH digital (Hanna Instruments, HI 2211, Woonsocket, RI, EE. UU.). Los resultados de acidez titulable (AT) se reportaron como porcentaje de ácido cítrico. Con los datos recopilados se realizó el cálculo de índice de madurez utilizando los valores de acidez titulable y pH e índice de sabor con la relación SST y AT (Fischer *et al.*, 2018).

2.4 Color

La evaluación de color se determinó por medio del sistema CIELab para colorimetría. Se evaluaron tres puntos distintos del fruto de la parte exterior y tres puntos del interior con espectro fotolorímetro Minolta modelo CM-508d, el cual mide la luz que define en forma cuantitativa la luminosidad (L) y las coordenadas a* y b* se relacionan para el croma (C) y el ángulo hue (h°). En el cálculo de h° (1) y C (2), se utilizaron las siguientes fórmulas (Pau Talens Oliag., 2007; Conesa *et al.*, 2019):

$$h^{\circ} = \tan^{-1} (b^* / a^*) \quad (1)$$

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

2.5 Determinación de azúcares totales, reductores y no reductores

Los azúcares determinados según el método de Montaña-Herrera *et al.* (2022) mezclando 100 mg del fruto liofilizado con 10 ml de agua destilada luego se sometió a baño ultrasónico (Ultrasonic Cleaner, Mod. 32V118A, Freeport, IL, EE. UU.) durante 15 min a 30 °C y una frecuencia de 40 kHz. Las muestras fueron centrifugadas a 10,000 $\times g$ por 10 min a 4 °C (Thermo Scientific Mod. ST 16R, Karlsruhe, Alemania). Se obtuvo el sobrenadante y se le añadió 5 mL de antrona, después se sometieron a una temperatura de 95 °C durante 10 minutos. La absorbancia se midió en un espectrofotómetro (Mod. 6715 UV/Visible, Jenway, Techne Inc., San Diego, CA, EE. UU.) a 625 nm.

El contenido de azúcares reductores se calculó mediante el método DNS (ácido 3,5 dinitrobenzoico) de acuerdo a Ávila *et al.* (2012), mezclando 100 mg de cada muestra con 0,5 ml del reactivo DNS. Se determinó la absorbancia en un espectrofotómetro a 540 nm. Por último, el contenido de azúcares no reductores se obtuvo por la diferencia entre los azúcares totales y azúcares reductores. Los resultados se expresaron como mg EG g⁻¹ PS.

2.6 Análisis estadístico

Se realizó un diseño experimental completamente al azar, considerando cada estado de desarrollo como fuente de variación, con diez repeticiones por estado de madurez. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software JMP 5.0.1 (A Business Unit of SAS, Statistics Analysis System, v. 9.0). Los datos se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Fisher (LSD) con $P \leq 0,05$ para establecer diferencias significativas entre las muestras. Todos los análisis se llevaron a cabo por triplicado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización fisicoquímica del fruto de *Passiflora tarminiana*

Los frutos de *P. tarminiana* fueron evaluados en siete estados de desarrollo, se consideró tamaño, color y días transcurridos después de la etapa de antesis los cuales se presentan en Figura 2.



Figura 2. Estados en el desarrollo del fruto *P. tarminiana* de acuerdo a parámetros físicos y días transcurridos después de antesis. Fotografías tomadas en Acaxochitlán, Hgo., México

3.1.1 Cambios en las dimensiones durante el desarrollo de los frutos de *P. tarminiana*

En las variables de dimensiones y cambios físicos de los siete estados de desarrollo se pueden apreciar en Figura 3, donde los frutos de *P. tarminiana* tienen un crecimiento constante hasta E4 donde se alcanza una longitud de $112.51 \text{ mm} \pm 3.55 \text{ mm}$ y un diámetro máximo hasta E5 (37.39 ± 2.24). En un estado de madurez el fruto es más grande en longitud y más pequeño en diámetro que las especies comerciales y otras especies silvestres de Brasil como la *Passiflora tenuifila killip* (Santos *et al.*, 2021). Estos estudios son útiles para comprender el crecimiento, características de desarrollo y calidad de los frutos de *P. tarminiana* los cuales son influenciados por señales internas de la planta y factores ambientales (Manuel Le Bris, 2017).

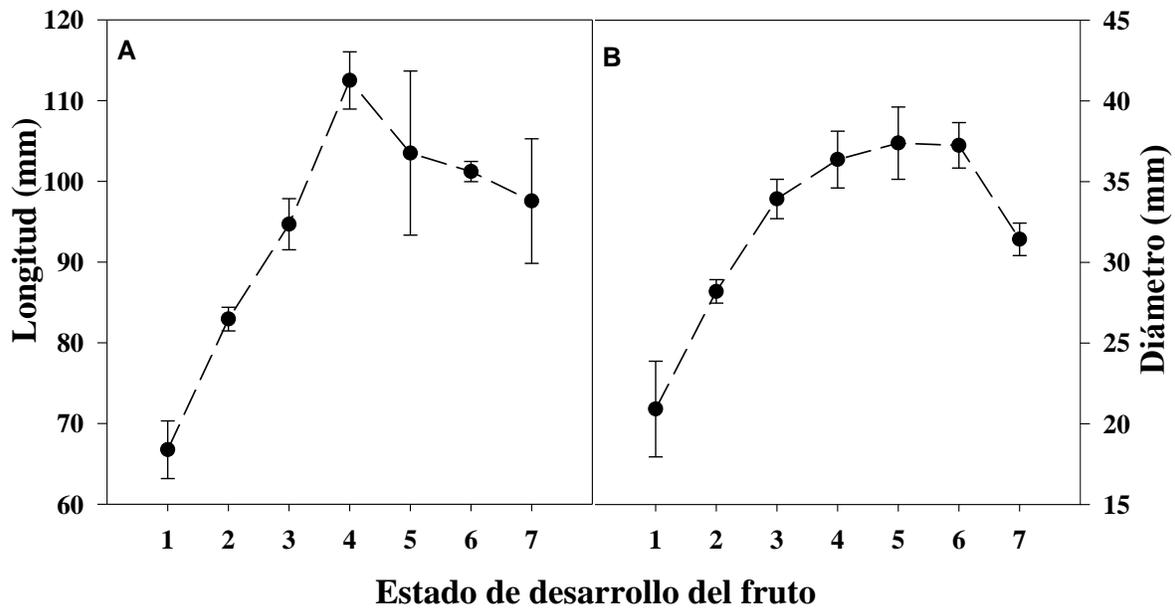


Figura 3. Cambios en tamaño de longitud (A) y diámetro (B) de los frutos de *P. tarminiana* durante su desarrollo

El peso fresco del fruto se representa en la Figura 4 (A) donde se puede apreciar que en E1 inicia un incremento constante alcanzado su peso máximo en E5 ($79.56 \text{ g} \pm 6.32$). Posteriormente en los últimos estados existe una disminución, lo que equivale a $69.47 \text{ g} \pm 7.6$ en estado 6. El comportamiento del peso puede deberse a que las frutas se componen hasta en un 80% de agua y durante su crecimiento tienen un abastecimiento abundante a través del sistema radicular de la planta (Pinzon *et al.*, 2007; Azcón-Bieto, & Talón Manuel, 2013) lo cual se vería reflejado en el peso de los estados 1, 2 y 3. La pérdida de peso que ocurre a partir de E6 puede relacionarse a la pérdida de agua empleada en la transpiración y respiración, debido a que el fruto empieza a utilizar sus propias reservas. El comportamiento de esta variable es comparable con lo observado por Santos *et al.* (2021) en frutos de la familia *Passifloraceae* (*P. tenuifila* Killip) nativa de Brasil.

Por lo anterior los cambios importantes en los parámetros fisiológicos durante el desarrollo de los frutos de *P. tarminiana* relacionados con el crecimiento de la fruta (longitud, diámetro y peso) siguieron un patrón de crecimiento sigmoide que es típico de los frutos de esta familia. En este se pueden distinguir las tres etapas de la evolución de los frutos. La primera fase de crecimiento exponencial que se caracteriza por la división celular. La segunda fase de elongación celular y por último la etapa de declive donde se detiene el crecimiento (Azcón-Bieto & Talón, 2013). Los días necesarios para lograr la etapa de maduración de recolección fue de aproximadamente 85 días posteriores a la antesis (estado de desarrollo 6).

3.1.2 Cambios en sólidos solubles totales, pH y acidez titulable durante el desarrollo de los frutos de *P. tarminiana*

Los sólidos solubles totales (SST) con una tendencia ascendente desde el inicio de desarrollo de los frutos encontrando valores que van de los 8 a los 15.4 ± 1.00 °Brix llegando a E7 (Figura 4 B). Este comportamiento ascendente en los SST es semejante a lo reportado por Granados-Conde *et al.* (2017) en frutos maduros de gulupa (*Passiflora edulis sims*) originaria del sur de Brasil de 13.48 °Brix, mientras que en otras variedades de *Passifloras* como la curuba en estado de madurez los valores más altos reportados han sido de 16.3 °Brix. Por otro lado, Espinosa *et al.* (2015) reporta en granadilla de diferentes estados de madurez valores de que van de 10.2 a 13.1 °Brix por lo que los resultados obtenidos en este estudio se encuentran con esta tendencia y en parámetros semejantes.

Los valores de pH se representan en la Figura 4 (C). Se encontraron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre los estados E1 a E7, donde el estado 1 presentó un valor de 5.71 ± 0.04 y en estado completamente maduro 4.07 ± 0.15 . Los valores más altos se encuentran en los

primeros estados de desarrollo. Estos valores están relacionados con los primeros estadios del fruto a pocos días del brote. Se ha encontrado que valores de pH altos se relaciona con valores de ácido más bajos y viceversa (Santos *et al.*, 2021). Por ejemplo, valores de pH entre 2.99 y 3.60 en estado de madurez de la gulupa mostraron un comportamiento ascendente para esta variable (Granados-Conde *et al.*, 2017). De la misma forma ocurrió en los últimos estados de desarrollo E6 y E7 en los frutos de *P. tarminiana*. Los valores que se encontraron son similares a frutos como la pitaya que tiene pH en estado de madurez de 4.7 (Sotomayor *et al.*, 2019).

En relación a la acidez titulable (ATT), los ácidos orgánicos se usan durante la respiración del fruto, siendo componentes esenciales en el ciclo respiratorio de los ácidos tricarbónicos (Pinzon *et al.*, 2007). En este estudio se observó en frutos de *P. tarminiana* una disminución de la ATT medida como % de ácido cítrico durante la maduración a partir de E3 a E7 0.77 ± 0.08 (Figura 4 D) lo que indica una alta tasa metabólica en esta fase. Este comportamiento descendente a lo largo del proceso de maduración de los frutos de *P. tarminiana* se compara con lo observado en otros frutos de la familia *pacifloracea* por ejemplo en la gulupa por Pinzon *et al.* (2007), a lo reportado por Oliveira *et al.* (2014) en frutos de *Passiflora edulis* y a los hallazgos en granadilla de Espinosa *et al.* (2015). Este cambio en la acidez está influenciado por la fisiología del fruto. Conforme los frutos van madurando, los ácidos orgánicos son utilizados en el proceso de respiración convirtiéndose en fuente de energía y disminuyendo su contenido. No obstante, la concentración de ácidos orgánicos no siempre disminuye al fruto madurar. Este balance entre síntesis y consumo de ácidos puede variar de acuerdo a las características metabólicas de cada especie (Melgarejo *et al.*, 2010). Además, esta modificación en los ácidos orgánicos y su influencia en el pH condicionan la actividad

de un gran número de enzimas responsables de los sucesos claves (ablandamiento, color, entre otros) asociados a la maduración (Gavin *et al.*, 2021; Melgarejo *et al.*, 2010).

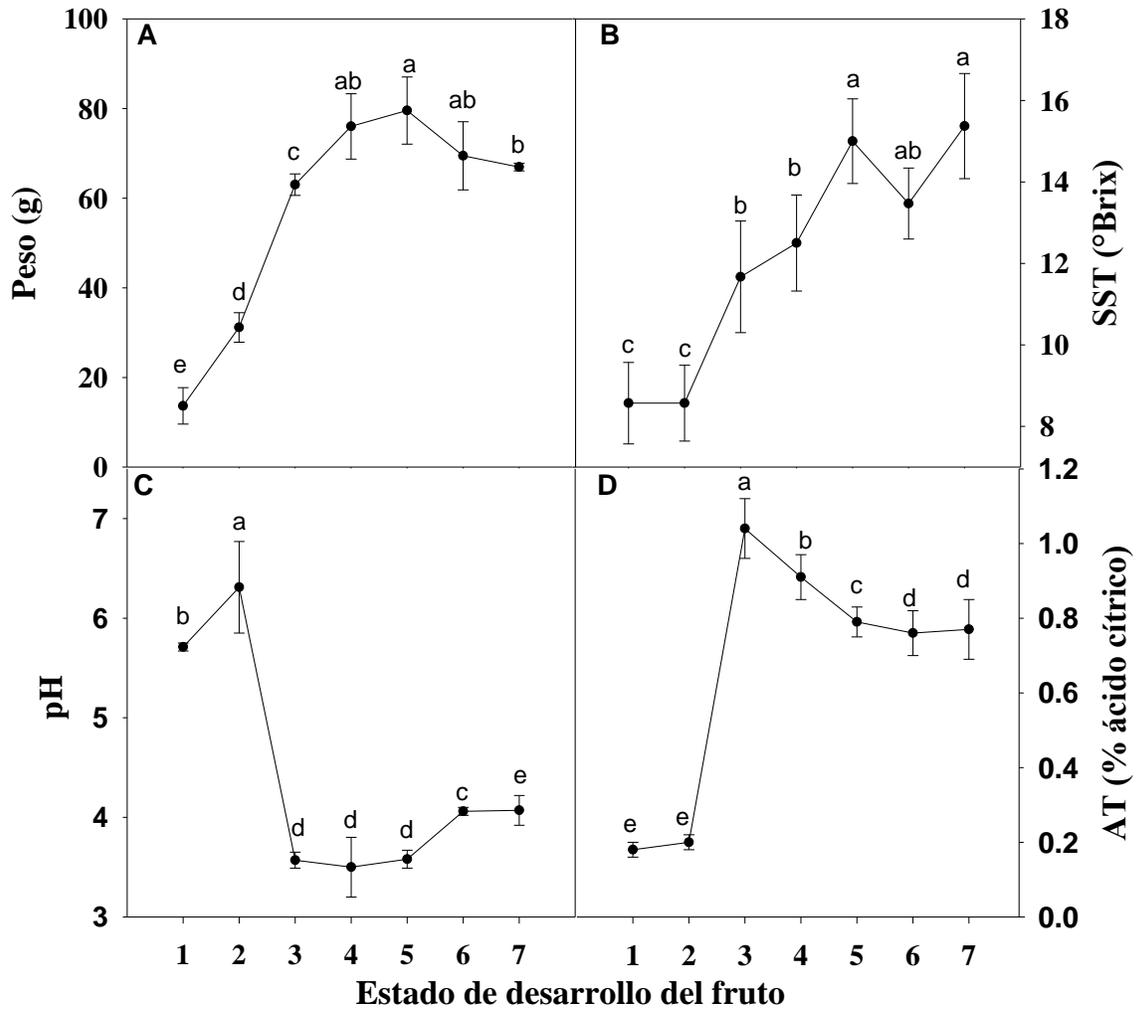


Figura 4. Cambios en las variables peso (A), SST (B), pH (C) y acidez titulable (D) por estado de desarrollo del fruto.

3.1.3 Cambios de color

Los cambios en el color entre los frutos de los siete estados pueden considerarse un parámetro de calidad y es la característica más notable en muchas frutas durante su maduración, también puede indicar el mejor momento para la recolección (Sotomayor *et al.*, 2019).

Color de la cáscara. El cambio en la coloración va de un color verde convirtiéndose en amarillo hacia la madurez. La transformación más importante es la degradación del color verde en el color exterior del fruto tal como se muestra en los valores de la Figura 5, siendo los primeros cuatro estados semejantes. A partir de E5 el fruto comienza el cambio de color degradándose el verde para convertirse en amarillo. La modificación del color se produce por la degradación de la estructura de la clorofila, asociada con la síntesis y desarrollo de pigmentos amarillos y rojos como los carotenoides (Yan *et al.*, 2020). Estos cambios fisiológicos y bioquímicos durante el desarrollo de los frutos están mediados por un control genético y hormonal. En relación al color la etapa de maduración requiere de la síntesis de nuevos pigmentos; procesos que requieren de energía y esqueletos carbonados, los cuales son proporcionados mediante el proceso de la respiración (Melgarejo *et al.*, 2010).

Color de la pulpa. Presenta cambios considerables a partir de E5. La coloración de la pulpa de la fruta cambia de blanco a amarillo y naranja (Figura 5 C). Mientras que la luminosidad (Figura 5 D) va decreciendo conforme el fruto madura. Esta pérdida de luminosidad se asocia a las pérdidas de agua en el fruto debido a la aproximación de la senescencia (Melgarejo *et al.*, 2010; Azcón-Bieto & Talón 2013). Comparando los resultados de color obtenidos en este estudio con el color de la pulpa de frutos maduros de maracuyá amarilla (*P. edulis Sims fo. flavicarpa*), estos fueron diferentes, ya que el color de la pulpa de los frutos de *P.*

tarminiana tienden a colores naranjas. La aplicación del análisis de color podría resultar útil para la industria de los alimentos, porque es posible determinar el nivel de maduración de los frutos de las diferentes variedades de frutos (Gavin *et al.*, 2021).

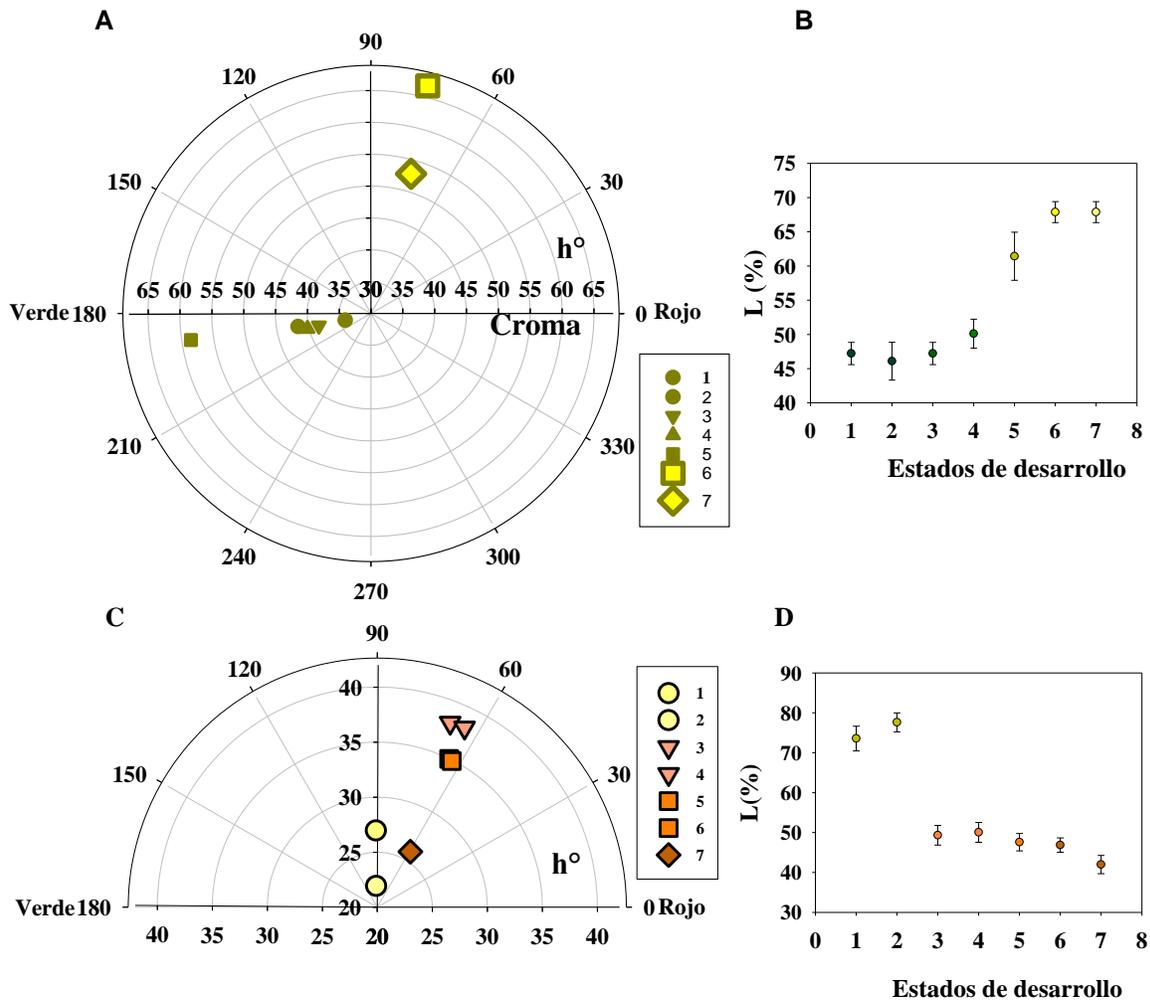


Figura 5. Cambios en el color de la cáscara Croma, Hue (h°) (A) y luminosidad (B), por estado de desarrollo del fruto. Cambios en el color de la pulpa Croma, Hue (h°) (C) y luminosidad (D).

3.2 Azúcares totales, reductores y no reductores

El mayor contenido de azúcares totales reductores y no reductores se presentan en el estadio 7 de maduración 109.77 ± 1.44 mg equivalentes de glucosa (EG) por g de peso seco (PS) (Figura 6). Seguido por estadios 5 y 6 son muy semejantes al no encontrarse diferencias significativas entre ambos estados de desarrollo 55.34 ± 0.94 y 52.51 ± 0.94 mg EG g⁻¹ PS respectivamente. Estos cambios se relacionan con la degradación del almidón por hidrólisis lo que resulta en una mayor disponibilidad de azúcares simples conforme el fruto madura (Sotomayor *et al.*, 2019). A consecuencia de la defoliación existe una correlación positiva entre la concentración de azúcares y el crecimiento de éste. En un principio el aporte de azúcar desde las hojas al fruto permite el cuajado y disminuye la pérdida de frutos en etapas posteriores. Superando la fase de división celular el fruto inicia un crecimiento lineal, caracterizado por el engrosamiento celular, el cual se ve acompañado de la degradación de pectina, lo que permite un cierto movimiento de las células que se encuentran unidas por pequeñas porciones de sus paredes. De este modo se forma una gran cantidad de espacios aéreos intercelulares y la densidad del fruto descende, así como la presencia de azúcares se maximiza (Azcón-Bieto & Talón 2013). Además de lo anterior las condiciones climáticas y agronómicas también influyen. Sotomayor *et al.* (2019) mencionan que los frutos en verano alcanzan valores más altos de azúcares y grados °Brix a diferencia del invierno donde los valores son menores. La proporción entre azúcar y ácido provee a muchas frutas su sabor característico, además de ser un indicador de la madurez comercial y organoléptica. Al inicio del proceso de maduración, esta proporción es baja debido al contenido bajo de azúcar y contenido alto de ácido en la fruta, lo que le da el sabor ácido al fruto (Tao *et al.*, 2022).

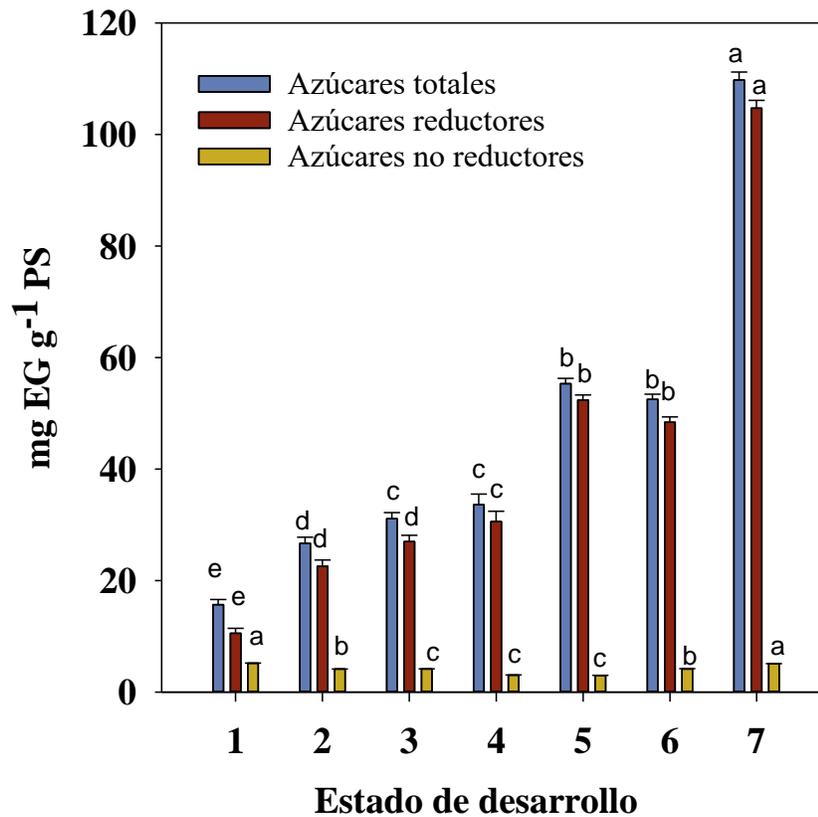


Figura 6. Azúcares totales y azúcares reductores en los diferentes estados de desarrollo de los frutos de *P. tarminiana*

3.3 Índice de madurez (IM) e índice de sabor (IS)

El IM e IS también son parámetros de calidad que se evaluaron en este estudio. Por un lado, el IM (Figura 7 A) en los diferentes estadios permite apreciar como la madurez de los frutos se alcanza en E6, es decir a partir de los 100 días después de la antesis. Se sabe que en los frutos climatéricos el aumento del IM ocurre cuando alcanzan la tasa respiratoria máxima y desdoblán rápidamente sus reservas (ácidos orgánicos) como respuesta al incremento de su metabolismo y, en consecuencia, IM se incrementa (Pinzon *et al.*, 2007). El IM representa el

equilibrio entre azúcares y ácidos dando el sabor característico a el fruto. En el caso de frutos de la pasión púrpura, la calidad para el consumo mejora principalmente debido a la disminución de la acidez (Flórez *et al.*, 2012). Espinosa *et al.* (2015) en frutos de granadilla de diferentes estados de desarrollo observaron que el IM incrementaba de forma significativa a los 120 días posteriores a la antesis es decir 20 días después de lo que se encontró en los frutos de *P. tarminiana*. Por su parte Pinzón *et al.* (2007) menciona que en frutos de gulupa se alcanzan los valores mayores de IM cuando estos tienen un color más púrpura que verde (85-95% púrpura; 5-15% verde) por lo anterior podría decirse que los cambios en color son representativos también con el IM. Lo anterior estará dado por las diferencias propias de los frutos proporcionando su sabor característico y brindando la sensación de dulzor conforme a la acidez disminuye, esto hace que durante post-cosecha, la dulzura sea evidente, así como un cambio en el color característico del fruto (Fischer *et al.*, 2018).

Otro parámetro relacionado con la madurez es el IS (Figura 7 B), el cual también se incrementa conforme lo hace el IM. En los frutos de *P. tarminiana* se observa como su sabor se va potenciando y es más agradable conforme el fruto este maduro, los valores más altos se encuentran en E6 y E7 siendo un índice de sabor mayor a 2. Lo que indica que son aceptables para su consumo, potenciando su sabor significativamente a partir de E6 (Figura 6 B). Si el valor del índice de sabor es inferior a 1 se considera que son frutos con poco sabor. En frutos maduros, cuando el índice de sabor aumenta, la presencia de ácidos disminuye (Hernández Suárez *et al.*, 2007).

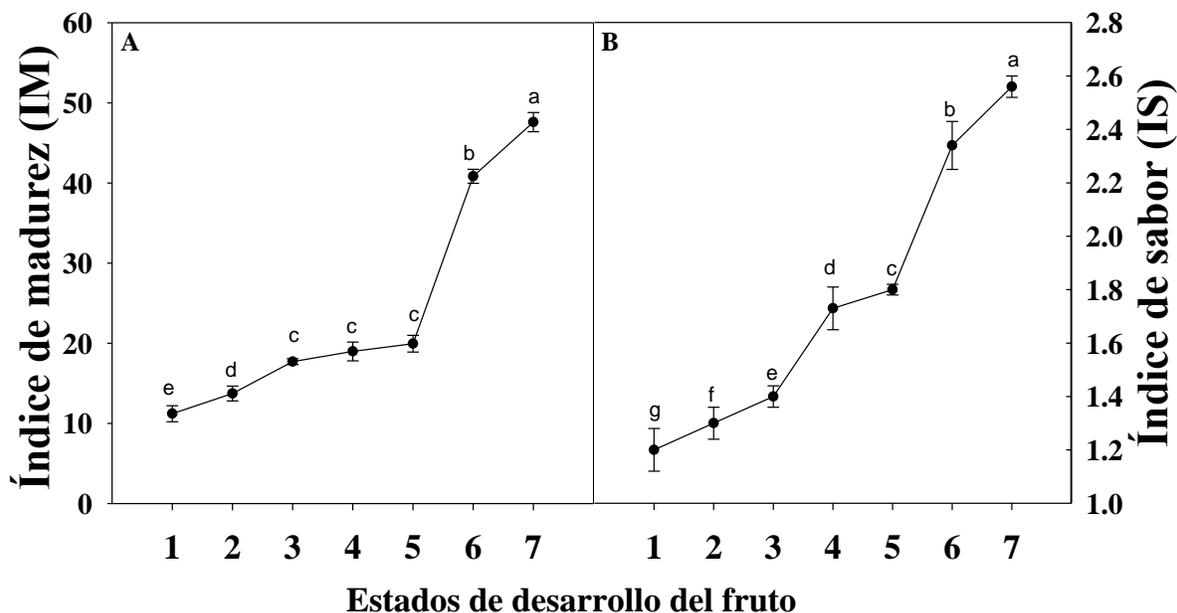


Figura 7. Índice de madurez (A) e índice de sabor (B) de los frutos de *P. tarminiana* durante su desarrollo.

4. CONCLUSIÓN

Los cambios fisicoquímicos durante el desarrollo del fruto permiten identificar E5 como la madurez fisiológica, alcanzando su máximo tamaño máximo peso (85 días después de la floración). La madurez de cosecha en E6 donde sus características son más aceptables, la coloración del fruto es más atractiva tanto de la cáscara como de la pulpa. En la cáscara aún pueden apreciarse tonalidades verdes en los extremos del fruto. La semilla es abundante y de color café. En este mismo estado de desarrollo una presencia de azúcares aceptable, así como un mayor incremento en el índice de madurez e índice de sabor. Este fruto se destacó por los cambios importantes que ocurren durante su desarrollo hasta la madurez, logrando identificar las características para la ventana de cosecha, información que resulta importante para el sector que los produce, consume o comercializa.

REFERENCIAS

- Aguirre-Morales, A. C., Bonilla-Morales, M. M., Agudelo-Varela, O. (2016). Historia de *Passiflora Supersec. Tacsonia (Pasiflorácea)*: un acercamiento taxonómico. *Revista Biodiversidad Neotropical*, (6), pp 107. <https://doi.org/10.18636/bioneotropical.v6i2.581>
- AOAC. (2005). Official methods of analysis of the AOAC. Association of Official Analytical Chemists, 15th ed (USA)
- Ávila, N.R.; Rivas, P.B.; Hernández, M.R. (2012). Contenido de azúcares totales, reductores y no reductores en *Agave cocui Trelease*. *Multiciencias*, 12, 129–135
- Azcón-Bieto Joaquín, & Talón Manuel. (2013). *Fundamentos de Fisiología Vegetal-Azcón*. 349–355
- Ballesteros Pomar, M. D., & Bretón Lesmes, I. (2020). Clinical Nutrition in times of Covid-19 *Endocrinology, Diabetes y Nutrition*, 67(7), 427. <https://doi.org/10.1016/j.endinu.2020.05.001>
- Conesa A., Manera F. C., Brotons J., Fernandez-Zapata J., Simón, S. Simón-Grao I., Alfosea-Simón M., Martínez Nicolás J., Valverde J. M., García-Sánchez F. (2019). Changes in the content of chlorophylls and carotenoids in the rind of Fino 49 lemons during maturation and their relationship with parameters from the CIELAB color space, *Scientia Horticulturae*, Vol. 243, pp. 252-262. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.030>.
- Espinosa, D.S., W.H. Pérez, M.S. Hernández, L.M. Melgarejo, D. Miranda, G. Fischer, and J.P. Fernández-Trujillo. (2015). Caracterización fisicoquímica, fisiológica y bioquímica del fruto de granadilla (*Passiflora ligularis Juss*). pp. 91-118. In: Melgarejo, L.M. (ed.). Granadilla: Caracterización ecofisiológica del cultivo. Universidad Nacional de Colombia
- Fischer, G., Melgarejo, L. M., & Cutler, J. (2018). Pre-harvest factors that influence the quality of passion fruit: A review. *Agronomy Colombian*, 35 (3), 217-226. <http://doi.org/10.15446/agron.colom.v36n3.71>
- Flórez, L.M., L.V. Pérez, L.M. Melgarejo, and M.S. Hernández. 2012. Caracterización físico-química, fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis Sims*) como indicadores para el punto óptimo de cosecha. In: Melgarejo, L.M. (ed.). Ecofisiología del cultivo de la gulupa. Universidad Nacional de Colombia, Bogota, Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/8547>
- Gadioli, I. L., De, M., Barreto Da Cunha, S., Oliveira De Carvalho, M. V., María Costa, A., & de Lacerda De Oliveira Pineli, L. (2018). Systematic review on phenolic compounds in *Passiflora* plants: Exploring biodiversity for food, nutrition, and popular medicine. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58:5, 785-807, DOI: 10.1080/10408398.2016.1224805

- Gavin, C., Barzallo, D., Vera, H., & Lazo, R. (2021). Revisión bibliográfica: Etileno en poscosecha, tecnologías para su manejo y control. *Ecuadorian Science Journal*, 5(4), 163-178. DOI: <https://doi.org/10.46480/esj.5.4.179>
- González-Burgos, E., & Gómez-Serranillos, M. P. (2021). Effect of phenolic compounds on human health. In *Nutrients* (Vol. 13, Issue 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nu13113922>
- Granados Conde, C., Tinoco Guardo, K., Granados Llamas, E., Pájaro-Castro, N., & García Milano, Y. (2017). Caracterización química y evaluación de la actividad antioxidante de la pulpa de *Passiflora edulis Sims* (gulupa). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 22(2). Recuperado de <http://revplantasmedicinales.sld.cu/index.php/pla/article/view/513/256>
- Hernández Suárez M., Rodríguez Rodríguez E. M., Díaz Romero C. (2008). Chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Islands, 106(3), 1046–1056. doi:10.1016/j.foodchem.2007.07.025
- He X, Luan F, Yang Y, Wang Z, Zhao Z, Fang J, Wang M, Zuo M and Li Y (2020) *Passiflora edulis*: An Insight Into Current Researches on Phytochemistry and Pharmacology. *Front. Pharmacol.* 11:617. doi: 10.3389/fphar.2020.00617
- Horwitz, William. (2006). *Official methods of analysis of AOAC International*. AOAC International.
- Jiménez A.; Sierra C; Rodríguez-Pulido F; González-Miret M.; Heredia F; Osorio C (2011). Physicochemical characterisation of gulupa (*Passiflora edulis Sims. fo edulis*) fruit from Colombia during the ripening., 44(7), 0–1918. doi: 10.1016/j.foodres.2010.11.007
- Manuel Le Bris (2017) Hormones in Growth and Development. Reference Module in Life Sciences. Doi: 10.1016/B978-0-12-809633-8.05058-5
- Maoz, I., Kaplunov, T., Raban, E., Dynkin, I., Degani, O., Lewinsohn, E., & Lichter, A. (2019). Insights on the chemosensory basis of flavor in table grapes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. doi:10.1002/jsfa.10102
- Martínez-Jaime, O. A., Abraham-Juárez, M. R., Gómez-Ortega, A. (2017). Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de alimentos propiedades fisicoquímicas y nutraceuticas de dos genotipos de maracuyá (*Passiflora edulis var. flavicarpa*) procedentes de dos regiones de México resumen. Vol. 2., pp. 249-255
- Melgarejo, L, Romero, M, Hernández, S, Barrera, J, Solarte, M, Suárez, D, Pérez, L, Rojas, A, Cruz, M, Moreno, L, Crespo, S y Pérez, W. (2010). Experimentos en fisiología vegetal. Universidad Nacional de Colombia. Pp. 167-175
- Montaño-Herrera, A., Santiago-Saenz, Y. O., López-Palestina, C. U., Cadenas-Pliego, G., Pinedo-Guerrero, Z. H., Hernández-Fuentes, A. D., & Pinedo-Espinoza, J. M. (2022). Effects of Edaphic Fertilization and Foliar Application of Se and Zn Nanoparticles on Yield and Bioactive Compounds in *Malus domestica* L. *Horticulturae*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/horticulturae8060542>

- Ocampo, J., d'EEckenbrugge, G. C., & Jarvis, A. (2010a). Distribution of the genus *Passiflora* L. Diversity in Colombia and its potential as an indicator for biodiversity management in the coffee growing zone. *Diversity*, 2(11), 1158–1180. <https://doi.org/10.3390/d2111158>
- Oliveira, G. A., Castilhos, F., Renard, C. M. G. C., & Bureau, S. (2014). Comparison of NIR and MIR spectroscopic methods for determination of individual sugars, organic acids and carotenoids in passion fruit. *Food Research International*, 60, pp 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.051>.
- Papaila T, Barreca D, Calderaro A, & Panuccio M R. (2020). Phytonutrients in food. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815354-3.00002-2>
- Pau Talens Oliag. (2007). Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB. Ed. Universidad Politécnica de Valencia
- Pinzón, I., Fischer G, & Corredor G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis Sims*). *Agronomía Colombiana* 25(1), 83–95.
- Prasad, K., Jacob, S., & Siddiqui, M. W. (2018). Fruit Maturity, Harvesting, and Quality Standards. In *Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality* (pp. 41–69). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809807-3.00002-0>
- Rodríguez, A., Fábio, C., Faleiro, G., Parra, M., Ana, M., & Costa, M. (2020). *Pasifloras*, especies cultivadas en el mundo. 1 ed.
- Rodríguez-Ramírez, S., Gaona-Pineda, E. B., Martínez-Tapia, B., Romero-Martínez, M., Mundo-Rosas, V., & Shamah-Levy, T. (2021). Food insecurity and perception of households food intake changes during Covid-19 lockdown in Mexico. *Salud Publica de México*, 63(6), 763–772. <https://doi.org/10.21149/12790>
- Santos, J. T. do C., Petry, F. C., Tobaruela, E. de C., Mercadante, A. Z., Gloria, M. B. A., Costa, A. M., Lajolo, F. M., & Hassimotto, N. M. A. (2021). Brazilian native passion fruit (*Passiflora tenuifila Killip*) is a rich source of proanthocyanidins, carotenoids, and dietary fiber. *Food Research International*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110521>
- Sotomayor A., Pitizaca S., Sánchez M., Burbano A., Díaz A., Nicolalde J., Viera W., Caicedo C., & Vargas Y. (2019). *Enfoque UTE*, 10(1), 89–96.
- Tao, J.; Wu, M.; Jiao, X.; Chen, S.; Jia, D.; Xu, X.; Huang, C. (2022). Dynamic Changes of Fruit Physiological Quality and Sugar Components during Fruit Growth and Development of *Actinidia eriantha*. *Horticulturae*, 8, 529. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8060529>
- Unigarro, C. A., Flórez, C. P., Oliveros, C. E., & Cañón, M. (2018). Efecto de cuatro inhibidores de etileno en la maduración del fruto de café (*Coffea arabica*) durante precosecha. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*. 12 (2), 500-507. <http://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7667>
- Xu, Y.H.; Song, Q.Q.; Hu, B.; Li, S.G.; Zheng, X.L.; Jiang, T.J. (2020). Harvest maturity affects quality and storability of *Actinidia eriantha* cv. White fruit. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, vol. 34, 0521–0531.

Yahia Elhadi M. (2018). Fruit and vegetable phytochemicals. Chemistry and human health. 2nd ed., Vol. 2.

Yan, Han; Pengfei, Wang; Brennan, Hyden; Ping, Qu; Bingxiang, Liu; Feiyan, Zhang; Hongbo, Cao; Haijiang, Chen (2020). Diversity of carotenoid composition, sequestering structures and gene transcription in mature fruits of four *Prunus* species. Plant Physiology and Biochemistry. doi:10.1016/j.plaphy.2020.03.015

Capítulo III

Cambios en el sistema antioxidante durante el desarrollo del fruto de *P. tarminiana*

RESUMEN

Los frutos de *Pasiflora tarminiana* crecen de forma silvestre o en pequeños cultivos en varias regiones en México, sin embargo, aún en la actualidad se desconoce el comportamiento de los compuestos bioactivos y sistema antioxidante enzimático durante la maduración de los frutos. Por lo cual en este estudio se evaluó la concentración de los compuestos antioxidantes (clorofila, carotenoides, ácido ascórbico, fenoles totales, flavonoides, actividad antioxidante por ensayos ABTS y DPPH) y la actividad de las enzimas antioxidantes como la superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), ascorbato peroxidasa (APX) y guayacol peroxidasa (POD), en siete estados de desarrollo del fruto (E1 a E7) también se determinó el efecto del estrés oxidativo en las diferentes etapas de desarrollo a través de la concentración del peróxido de hidrógeno, peroxidación lipídica y actividad de la enzima polifenol oxidasa (PPO). Los resultados mostraron que el contenido de carotenoides fue más abundante en frutos de E6 y E7 lo que coincide con el cambio de color de la pulpa alcanzando tonalidades naranjas. El contenido promedio de ácido ascórbico en E5, E6 y E7 fue de 11 mg de AAg⁻¹ PS, valores comparables con frutos comúnmente conocidos como ricos en Vitamina C. La mayor capacidad antioxidante se presentó en los primeros estados 1 y 2, asociado al mayor contenido de compuestos fenólicos. En relación a la actividad enzimática se encontraron cambios durante el desarrollo del fruto. La SOD, CAT y APX actúan como primera línea de defensa antioxidante con mayor actividad a partir de E3. Por otro lado, la actividad de CAT y APX fueron significativamente más altos a partir de E3, manteniéndose constante hasta la

madurez del fruto. La actividad más alta de POD la presentó en E6 con 569.27 ± 37.84 U mg^{-1} proteína. Los valores más altos peróxido de hidrogeno se registraron en los estados de desarrollo E1 y E2 57.23 ± 3.99 y 51.84 ± 4.66 nmol g^{-1} PS respectivamente. En conclusión, la actividad enzimática antioxidante y la interacción de compuestos bioactivos presentes en el fruto de *Passiflora tarminiana*, interactúan en los sistemas antioxidantes enzimáticos como no enzimáticos para reducir el daño ocasionado por las especies reactivas de oxígeno durante el desarrollo del fruto.

Palabras clave: *Actividad antioxidante, carotenoides, enzimas antioxidantes, compuestos fenólicos, estrés oxidativo.*

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad además de las propiedades fisicoquímicas de calidad de un fruto también se destaca la importancia de su contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante. Esto debido a los efectos benéficos a la salud humana previniendo enfermedades crónicas degenerativas no transmisibles como el cáncer, diabetes, enfermedades cardiovasculares, obesidad entre otras (Santos *et al.*, 2021; González-Burgos & Gómez-Serranillos, 2021). Estos efectos en la salud se deben en gran medida a que previenen el daño ocasionado por el estrés oxidativo y así las enfermedades que se derivan de éste (Ghedira *et al.*, 2007; Gadioli *et al.*, 2018; Holanda *et al.*, 2020). Diferentes investigaciones muestran que el consumo de alimentos naturales como frutos del género *Passiflora* tiene un papel favorable en la salud, derivado de los compuestos bioactivos que poseen (Guiñares *et al.*, 2020). Los compuestos fenólicos presentes en estos frutos han mostrado tener un efecto antioxidante, antiinflamatorio, antiespasmódico, antimicrobiano, disminución de la resistencia a la insulina, lípidos y glucosa en sangre (de la Rosa *et al.*, 2018; Gadioli *et al.*, 2018; Ozarowski *et al.*, 2018; Kawakami *et al.*, 2022). También se destaca su efecto en la prevención de dislipidemia, hiperglicemia, así como mejorar el pronóstico en enfermedades degenerativas como Alzheimer y Parkinson (de Carvalho *et al.*, 2018; Doungue *et al.*, 2018; Goss *et al.*, 2018; Shanmugam *et al.*, 2020). Por su parte los carotenoides son un grupo diverso de compuestos de una clase de más de 1200 pigmentos naturales. Su importancia en la salud humana se debe a que actúan como antioxidantes y ayudan a proteger las células del daño causado por las especies reactivas del oxígeno. Se han asociado con un riesgo reducido de enfermedades crónicas como la diabetes tipo 2, cáncer, enfermedades del corazón o degeneración relacionada con la edad (Poliakov *et al.*, 2023).

Así mismo el ácido ascórbico también tiene como principal actividad biológica su poder antioxidante, protegiendo a las células del daño causado por los radicales libres que se generan durante el metabolismo celular y en respuesta al estrés ambiental. Participa también facilitando la absorción de hierro mejorando su biodisponibilidad. Así mismo actúa contra enfermedades cardiovasculares (Segura, 2019; Rojas *et al.*, 2019).

Durante la maduración de los frutos, se producen cambios significativos en su composición química, lo que puede influir en la síntesis y concentración de los diferentes compuestos bioactivos. Por ejemplo, muchas frutas verdes tienen niveles bajos de ácido ascórbico, pero durante la maduración aumenta la síntesis (Gayoso *et al.*, 2021). También durante la maduración, algunos frutos experimentan un aumento en la síntesis de antioxidantes, que ayudan a proteger las células del daño oxidativo. Por ejemplo, los carotenoides de algunas frutas presentan un aumento durante la maduración, lo que da como resultado un cambio en su color característico a tonos más intensos (Poliakov *et al.*, 2023). Los polifenoles también pueden variar durante la maduración. Las uvas, por ejemplo, presentan un aumento en la concentración de resveratrol, un polifenol beneficioso para la salud cardiovascular, durante el proceso de maduración (Fischer *et al.*, 2018). Estos ejemplos muestran cómo la maduración de los frutos es un proceso complejo y dinámico que afecta la síntesis y concentración de diversos compuestos bioactivos, lo que puede tener importantes implicaciones para su valor nutricional y beneficios para la salud. Un gran número de investigaciones se centran en evaluar su contenido en diferentes frutos en estado de madurez comercial, dejando a un lado los cambios que se dan a lo largo del proceso de maduración y el papel fisiológico que juegan durante dicho proceso, aunque se sabe que la maduración es diferente en cada fruto (Van *et al.*, 2000; Martínez-Jaime *et al.*, 2017).

Los frutos de *Passiflora tarminiana* son poco conocidos, pertenecen a la familia *Passifloraceae* donde destacan el maracuyá, por ejemplo. No existen estudios sobre la evolución de los compuestos bioactivos durante el desarrollo y la maduración en el fruto *Passiflora tarminiana* (Azcón & Talón, 2013). Estos frutos de *P. tarminiana* se pueden encontrar en México como frutos nativos en plantíos silvestres o huertos rústicos; convirtiéndose en un fruto de recolección (Ocampo *et al.*, 2010). Al respecto, *Passiflora tarminiana* es una alternativa de alimento accesible y saludable que debido a las condiciones de clima y suelo en nuestro país y específicamente en la región del Valle de Tulancingo, Hidalgo han propiciado la adaptación del fruto con muy buena aceptación de su consumo entre los pobladores de las comunidades donde se recolecta. Por lo que, resulta importante promover y revalorar su consumo dentro de la dieta tradicional mexicana para incrementar a un más las opciones alimenticias a toda la población (Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2021). Sin embargo, antes de ello es importante conocer a detalle los componentes bioactivos que contiene, así como su variación durante su proceso de maduración. Por lo anterior, la caracterización de *Passiflora tarminiana* permitirá identificar sus propiedades funcionales, compuestos bioactivos, actividad de las enzimas antioxidantes, así como parámetros de daño ocasionados a los frutos a lo largo de su desarrollo; permitiendo tener información sobre el papel fisiológico que juegan durante dicho proceso y así contribuir al conocimiento de la fisiología del fruto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Reactivos. Carbonato de sodio anhidro y el tricloruro de aluminio de JT Baker SA de CV (Avantor Performance Materials, Center Valley, PA, EE. UU.). Ácido gálico; quercetina 2,2'-difeníl-1-picrilhidrazilo (DPPH); 2,2'-azino-bis (3- horticultura2022,8, 542 3 de 11 ácido

etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS); Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,8-tetrametilcroman-2-carboxílico); reactivo de Folin-Ciocalteu; ácido sulfúrico; ácido 3,5-dinitrosalicílico; hidróxido de sodio; ácido tricloroacético; Guayacol y etanol de QuiMica Meyer (Química Suastes SA de CV Tláhuac, Ciudad de México). Ácido tiobarbitúrico ($C_4H_4N_2O_2S$), carbonato de sodio anhidro, tricloruro de aluminio, fosfato de sodio dibásico Na_2HPO_4 , fosfato de sodio monobásico NaH_2PO_4 , sulfato de cobre pentahidratado, tartrato de sodio y potasio tetrahidratado, peróxido de hidrogeno (H_2O_2), adquiridos de J.T. Baker S.A. de C.V. (Avantor Performance Materials, Center Valley, Pennsylvania, EUA). Ácido gálico, $EDTA \cdot Na_2$, catecol, quercetina, 2,2'-difeníl-1-picrilhidrazilo (DPPH), 2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) (ABTS), L-metionina, Trolox (ácido 6-hidroxi- 2,5,8-tetrametilcromano-2-carboxílico), yoduro de potasio, riboflavina y reactivo de Folin-Ciocaltea, adquiridos de Sigma-Aldrich. Cloruro de nitroblue tetrazolium (NBT), fue adquiriendo en Roche Diagnostics GmbbH (Mannheim, Alemania).

Localización. El trabajo de investigación se llevó a cabo en el laboratorio postcosecha del Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), Tulancingo, Hidalgo, localizado a $20^{\circ}28'42''$ N, $98^{\circ}51'48''$ O a una altura de 1918 msnm. La planta fue identificada en el Herbario HGOM acrónimo que hace referencia al estado de Hidalgo, México en el Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) de la UAEH por la Dra. Claudia Teresa Hornung y el M en C. Manuel González Ledesma.

Material vegetal. La recolección del fruto se realizó en la localidad Nuevo San Juan, Acaxochitlán, Hidalgo, México ubicada en las siguientes coordenadas $20^{\circ}10' 08.1''$ N, $98^{\circ}09' 54.6''$ O a una altura 2,187 msnm. Se recolectaron frutos en siete estados de desarrollo.

Los frutos de *Passiflora tarminiana* se clasificaron considerando color de pericarpio y tamaño. Se tomaron diez frutos de cada estado y se clasificaron en estado de madurez: E1 frutos recién nacidos de la flor, E2 fruto completamente verde, E3 color verde pero mayor tamaño, E4 color verde y amarillo, E5 tonos amarillos 60%, E6 amarillos 80% y E7 maduro, amarillo 100%. Estos se transportaron al laboratorio de poscosecha del Instituto de Ciencias Agropecuarias, UAEH.

Los frutos se lavaron y secaron a temperatura ambiente para así proceder a etiquetarlos con datos de fecha de recolección y estado. Posteriormente se ultracongelaron y liofilizaron para realizar los análisis.

2.2 Variables de respuesta

2.2.1 Evaluación de compuestos bioactivos

Carotenoides y clorofila. Se mezcló 100 mg de muestras liofilizadas con 25 mL de acetona. Se llevaron a un baño ultrasónico (Ultrasonic Cleaner, Mod. 32V118A, Freeport, IL, EE. UU.), por 15 min, posteriormente se centrifugaron a 10,000 x g durante 10 minutos (centrífuga Thermo Scientific, Mod. ST 16R, Waltham, MA, EE. UU.).

Carotenoides: Las fracciones de los carotenoides rojos (RC= capsantina y capsorubina) y amarillos (YC= β -caroteno, β criptoxantina, zeaxantina) fueron evaluados según Hornero-Méndez & Mínguez-Mosquera (2007). La preparación de la muestra se realizó con acetona al 80%. La absorbancia se midió en un espectrofotómetro UV-Vis (Jenway, 6715, EE. UU.), a 472 y 508 nm, respectivamente. Los valores de medición de carotenoides rojos y amarillos se expresaron en mg g⁻¹ PS.

Clorofila: El contenido de clorofila a, b y total se determinaron de acuerdo con Witham *et al.* (1971). Las muestras se prepararon con acetona al 80%. La absorbancia se obtuvo a 645 y 663 nm (modelo 6715 espectrofotómetro UV-Vis Jenway, Staffordshire, Reino Unido). Los resultados se reportan como mg g⁻¹ PS.

Determinación de fenoles y flavonoides: Los fenoles totales se determinaron, utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999), una muestra conocida de sobrenadante se mezcló con el reactivo de Folin-Ciocalteu al 50% y se añadió 1.5 mL de solución de carbonato de sodio al 2 % la mezcla se dejó reaccionar durante 1 hora en completa oscuridad. Posterior al tiempo se midió la absorbancia a 725 nm. Los resultados fueron expresados en miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de peso seco (mg EAG g⁻¹ PS). La determinación del contenido de flavonoides se realizó de acuerdo a lo descrito por Lahlou *et al.* (2014), con algunas modificaciones. Una muestra conocida del sobrenadante se mezcló con 2 mL de una solución de AlCl₃ al 2%, se dejó reaccionar por 20 minutos y se midió la absorbancia a 415 nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de quercetina por gramo de peso fresco (mg EQ g⁻¹ PS).

Contenido de ácido ascórbico. El contenido de ácido ascórbico fue determinado de acuerdo a la metodología propuesta por Dürüst *et al.* (1997). Una muestra del sobrenadante se mezcló con 2 mL de solución tampón de ácido acético/acetato de sodio a pH 4, 3 mL de dicloroindofenol y 15 mL de xileno, la cual se mezcló vigorosamente. Posteriormente se leyó la absorbancia de las muestras en un espectrofotómetro (Genesys, 150 UV/Visible, Daly City, CA, EUA) a 520 nm. Los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de ácido ascórbico por gramo de peso seco (mg AA g⁻¹ PS).

2.2.2 Determinación de actividad antioxidante

La capacidad antioxidante por el método ABTS [2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico)] se realizó de acuerdo a Re *et al.* (1999). El radical ABTS•+ se preparó de la siguiente manera: se mezcló con 7 mM de ABTS y 2.45 mM de persulfato de potasio (1:1). La solución se dejó en agitación constante y en completa oscuridad durante 16 horas. Pasado el tiempo una cantidad conocida de sobrenadante de las muestras fue mezclada con 3.0 mL de la solución de ABTS•+ se dejó reposar durante 6 min. Transcurrido el tiempo se midió la absorbancia de las muestras a 734 nm en un espectrofotómetro. La actividad antioxidante mediante el ensayo de DPPH, se realizó de acuerdo a lo descrito por Brand-Williams *et al.* (1995). Se preparó el radical DPPH en una solución etanólica al 6×10^{-5} M de la cual se dejó en agitación durante 2 horas en completa oscuridad. Una muestra conocida del sobrenadante fue mezclada con 2.5 mL del radical DPPH el cual se dejó reposar en completa oscuridad durante 1 h a 4 °C, posteriormente se midió su absorbancia a 517 nm. Los resultados se expresaron en micromoles equivalentes de Trolox por gramo de peso seco ($\mu\text{M ETrolox g}^{-1}$ PS).

2.2.3 Actividad antioxidante vía enzimática

Actividad del superóxido dismutasa (SOD; EC 1.15.1.1): se evaluó de acuerdo al método propuesto por Balois-Morales *et al.* (2008). Se mezcló una muestra conocida de pera con 5 mL de una solución extractora de buffer de fosfatos, pH 7.8 a 0.05 M, la cual fue centrifugada a 10,000 $\times g$ durante 15 minutos a 4 °C. La mezcla para la determinación de la SOD consistió en sobrenadante, buffer de fosfatos, pH 7.8, 0.05 M, EDTA 0.1 mM, L-metionina 12 mM, NBT 0.075 mM y riboflavina 0.002 mM. Esta mezcla se dejó reaccionar por 15 min con una

lámpara con luz fluorescente de 20 watts, pasado el tiempo se procedió a leer las absorbancias a 560 nm. El contenido de proteínas se determinó mediante el método de Bradford (1976), utilizando albúmina de suero bovino (BSA) como estándar. Los resultados se expresaron en unidades internacionales por gramo de proteína (U mg^{-1} de proteína), donde 1 U es la cantidad de enzima necesaria para causar el 50% de la inhibición de la reducción de NBT.

Actividad de la catalasa (CAT; EC 1.11.1.6): La actividad de la catalasa, se determinó de acuerdo al método descrito por Balois-Morales *et al.* (2008), con algunas modificaciones. A una muestra de pera liofilizada, se añadieron 5 mL de una solución tampón de fosfato de sodio 25 mM, pH 7.8, posteriormente fue centrifugado a 10,000 $\times g$ a 4 °C durante 15 minutos. La mezcla de reacción consistió de buffer de fosfatos 25 mM, pH 7.8, EDTA 0.8 mM, extracto enzimático (sobrenadante) y H_2O_2 a 20 mM. El cambio de absorbancia fue registrado durante 3 min a 240 nm. Los resultados se expresaron en unidades internacionales por gramo de proteína (U mg^{-1} de proteína).

Actividad del ascorbato Peroxidasa (APx; EC 1.11.1.11): Se determinó la actividad de la enzima ascorbato peroxidasa de acuerdo al método propuesto por Proietti *et al.* (2013), con ligeras modificaciones. Para la extracción de la enzima se utilizó buffer de potasio 50 mM, pH 7.0, el cual fue mezclado con una muestra conocida de pera liofilizada posteriormente fue centrifugada a 12,000 $\times g$ durante 20 minutos a 4 °C. Para la reacción se mezcló buffer de potasio, pH 7.0, 50 mM, ascorbato sódico 10 mM, extracto enzimático y H_2O_2 a 30 mM. Se evaluó el cambio de absorbancia a 290 nm, durante 2 min a 25 °C, en un espectrofotómetro. La actividad APx fue calculada en base al coeficiente de extinción molar del ascorbato (2.8

mM⁻¹ cm⁻¹). Los resultados se reportaron en unidades internacionales por gramo de proteína (U mg⁻¹ de proteína).

Actividad del guayacol Peroxidasa (POD; EC 1.11.1.7): La cuantificación de la actividad de la guayacol peroxidasa, se realizó por la oxidación del guayacol a tetraguayacol, de acuerdo al método descrito en Vanegas *et al.* (2020). La mezcla de reacción consistió en una mezcla de buffer de fosfatos 100 mM pH 5.0, guayacol 40 mM, H₂O₂ 40 mM y extracto enzimático. La formación de tetraguayacol, fue registrada cada 10 s durante 3 min a una longitud de onda de 470 nm. Los resultados se expresaron en unidades internacionales por gramo de proteína (U mg⁻¹ de proteína).

Actividad de la polifenoloxidasas (PPO; E.C. 1.14.18.1 y E.C. 1.10.3.1): La determinación de la actividad de la polifenoloxidasas se realizó de acuerdo al método propuesto por Vanegas *et al.* (2020). Para la reacción, se mezcló una muestra conocida del sobrenadante con 2.2 mL del catecol 100 mM en buffer de fosfatos de sodio pH 6.5 100 mM. La actividad de la PPO, se siguió por la oxidación del catecol a o-diquinona a una longitud de onda de 470 nm durante 3 min. Los resultados se expresaron en unidades internacionales por miligramo de proteína (U mg⁻¹ de proteína).

Peróxido de Hidrógeno (H₂O₂)

La determinación del peróxido de hidrógeno, se realizó de acuerdo a Junglee *et al.* (2014). La solución extractora y de reacción fue la misma, la cual consistió en una mezcla conocida de polvo liofilizado con buffer de fosfatos de sodio 10 mM pH 7, ácido tricloroacético 0.1%, y yoduro de potasio 1M, la cual fue sometida a un baño ultrasónico por 10 min a 40 kHz posteriormente se centrifugó a 10,000 *xg* durante 10 minutos. Las muestras se dejaron

reaccionar por 20 min más a temperatura ambiente (20-22°C), pasado el tiempo se midieron las absorbancias a una longitud de onda de 390 nm. Los resultados se expresaron en nanomoles de H₂O₂ por gramo de peso seco (nmol g⁻¹ PS).

Peroxidación lipídica

La peroxidación de los lípidos se evaluó mediante la cuantificación de la concentración de Malondialdehído (MDA), siguiendo el método de Pasquariello *et al.* (2015), con algunas modificaciones. Muestras liofilizadas de pera, se mezclaron con ácido tricloroacético al 10% (p/v). La solución se llevó a calentar en un baño de agua en ebullición por 10 min, pasado el tiempo se bajó la temperatura de la muestra a temperatura ambiente y posteriormente fueron centrifugadas a 15,000 *xg* durante 10 minutos a 4°C. El sobrenadante se mezcló con una solución de ácido tricloroacético al 15%, que contenía 0.5% de ácido tiobarbitúrico (C₄H₄N₂O₂S). se midió la absorbancia a 535 nm. La actividad de MDA fue calculada en base al coeficiente de extinción molar de 1.56 mM⁻¹ cm⁻¹. Los resultados se expresaron en milimoles de malondialdehído por gramo de peso seco (mM MDA g⁻¹ PS).

2.5 Análisis estadístico

Se realizó un diseño experimental completamente al azar, considerando siete estados de desarrollo, con diez repeticiones por estado. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software JMP 5.0.1 (A Business Unit of SAS, Statistics Analysis System, v. 9.0). Los datos se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Fisher (LSD) con P ≤ 0,05 para establecer diferencias significativas entre las muestras.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso de desarrollo de los frutos hacia la senescencia va acompañado de la producción y acumulación de especies reactivas de oxígeno (ERO). La eliminación de estas puede darse de dos formas. La primera mediante la producción de sustancias antioxidantes y la segunda por la síntesis de enzimas antioxidantes (Zhang *et al.*, 2019). Reducir las especies oxidativas a materia no reactiva o menos reactiva es la función principal de un antioxidante. Los alimentos de origen vegetal como las frutas son la principal fuente externa de antioxidantes que ayudan a proteger nuestras células del daño oxidativo. A continuación, se presentan los resultados en relación a los cambios de estos mecanismos durante el desarrollo de los frutos de *P. tarminiana*.

3.1 Composición de carotenoides y clorofila

El contenido de estos compuestos se muestra en la Figura 1 A y B. Los valores de clorofila oscilaron entre 6.21 ± 0.02 y 9.04 ± 0.04 mg g⁻¹ PS en los primeros dos estados de desarrollo del fruto, descendiendo conforme el fruto va madurando. La clorofila predominante fue la *a* característica de las plantas por su color verde intenso. Por otro lado, el contenido de carotenoides fue más abundante en frutos de E 6 y 7 (Figura 1B) lo que coincide con el cambio de color de la pulpa alcanzando tonalidades naranjas y una semilla color café, ya que los frutos experimentan una paulatina acumulación de pigmentos carotenoides y la degradación de la clorofila (Ferrante *et al.*, 2020).

En el crecimiento y desarrollo de los frutos también se involucra la disminución de poliaminas, que se encargan de regular la tasa de respiración, liberación de etileno y mejorar los atributos de calidad en los frutos, así como su vida útil (Sharma *et al.*, 2017). Cabe mencionar que la hormona etileno (C₂H₄) desempeña un papel importante en el cambio de

color de los frutos durante la maduración, al aumentar su tasa respiratoria ayuda a la degradación de la clorofila que es más abundante al inicio del desarrollo, permitiendo la síntesis de otros pigmentos como los carotenoides que en este caso dan el color característico del fruto (Azcón-Bieto & Talón 2013; Gogoi *et al.*, 2018; Melgarejo *et al.*, 2010).

Hasta el momento, este es el primer informe sobre la composición de carotenoides en frutos de *P. tarminiana* los cuales presentaron un perfil alto a diferencia de otras especies de *Pasifloras* ya estudiadas 88.86 $\mu\text{g g}^{-1}$ PS en frutos maduros donde se obtuvieron los valores más altos. En frutos de *P. edulis flavicarpa*, de acuerdo a lo reportado por Pertuzatti *et al.* (2015) presentan 13.94–24.99 $\mu\text{g}/100\text{ g}$. En otro estudio reciente, el β -caroteno (13.34 $\text{mg}/100\text{ g}^{-1}$ PS) fue el principal carotenoide en el maracuyá amarillo, seguido de la β -criptoxantina (254 $\mu\text{g}/100\text{ g}$) (Reis *et al.*, 2018). El contenido de carotenoides observados en este fruto representa un buen aporte de la ingesta diaria recomendada según la Administración de Medicamentos y Alimentos de los Estados Unidos (FDA). El consumo de esta fruta, por tanto, puede ser muy beneficioso para la prevención de las enfermedades por su capacidad antioxidante y beneficios a la salud ya que protegen a las células del daño causado por las especies reactivas del oxígeno (ROS) y su consumo se han asociado con un riesgo reducido de enfermedades crónicas como la diabetes tipo 2, cáncer, enfermedades del corazón o degeneración macular relacionada con la edad. Otro papel importante es su actividad provitamina A (Montero *et al.*, 2021; Polyakov *et al.*, 2023). Es importante mencionar que el manejo postcosecha, tipo de cultivo, el clima, la ubicación geográfica, el estado de madurez, la porción analizada y el almacenamiento son factores que influyen en su presencia (Wang *et al.*, 2018).

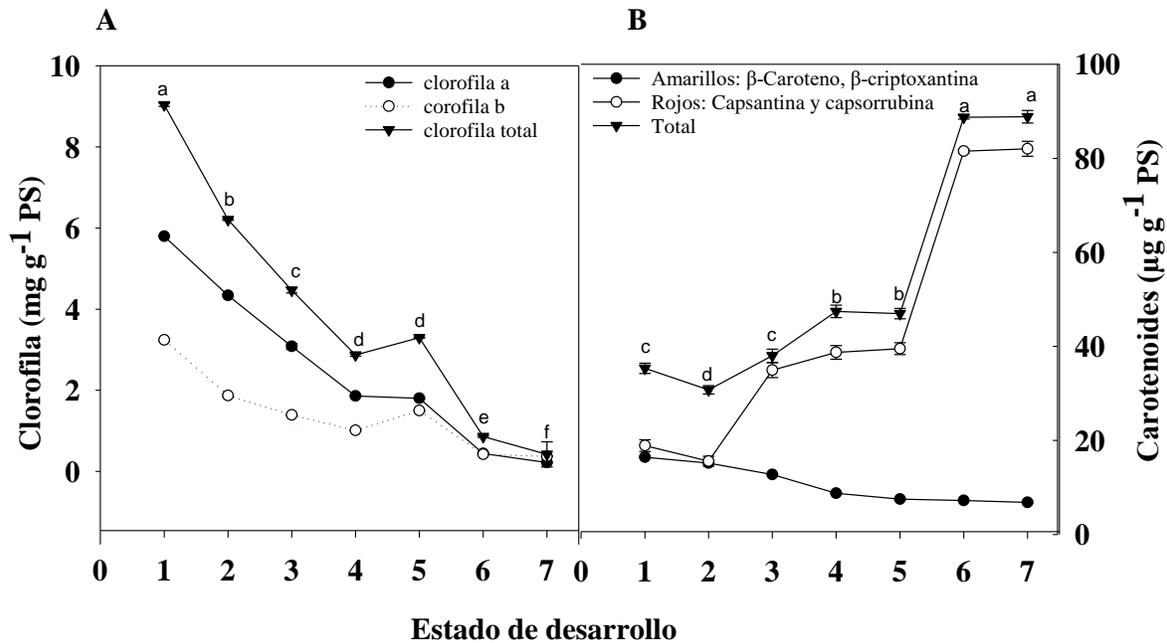


Figura 1. Contenido de clorofila A – B, total y carotenoides en el fruto durante los estados de desarrollo

3.2 Ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico se aprecia en la Figura 2, fue mayor en E2 14.89 ± 0.08 mg de AA g⁻¹ PS, en estado 3 disminuye para posteriormente volver a incrementar a partir de E5 con concentraciones de 10.85 mg de AA g⁻¹ PS. Estas diferencias pueden deberse a la influencia del clima cálido al momento de la recolección, así como la maduración del fruto (Yahia., 2018). La mayor actividad biológica se atribuye a su poder antioxidante al actuar sobre diversas sustancias como especies reactivas de oxígeno (Segura, 2019; Rojas *et al.*, 2019). Granados-Conde *et al.* (2017) reportan valores semejantes en *Passiflora edulis sims* (gulupa) en estado de madurez. Los frutos estudiados de *P. tarminiana* presentan valores superiores (10.85 mg de AA g⁻¹ PS) que aquellos frutos reconocidos como ricos en este

compuesto como el arándano, la fresa y mora reportan una presencia de ácido ascórbico de 10 mg, 4 mg, 3 mg g⁻¹ PS respectivamente (Montero *et al.*, 2022).

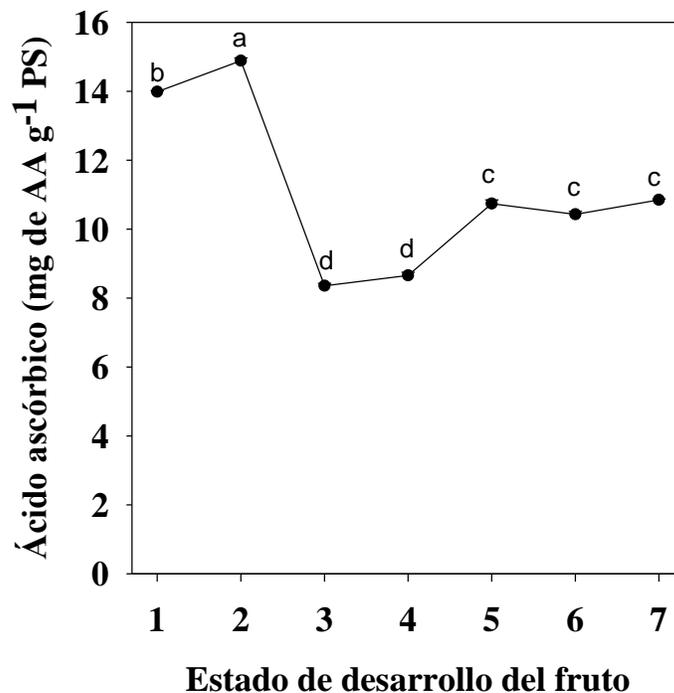


Figura 2. Comparación del contenido de ácido ascórbico en los siete estados de desarrollo de los frutos de *P. tarminiana*.

3.3 Compuestos fenólicos

En la Figura 3A, se presenta el contenido de fenoles totales durante los siete estados de desarrollo del fruto. Se puede observar que a medida que aumenta el estado de madurez el contenido de polifenoles disminuye, se mantiene constante en E 5 y 6 con valores de 20 mg EAG g⁻¹ PS. Los frutos en los primeros estados presentaron mayor concentración de estos compuestos, mismo comportamiento reporto Fisher *et al.* (2018) en frutos de gulupa variedad de *Pasiflora* silvestre de Brasil. Por otro lado, se observa un mayor contenido de compuestos

fenólicos en relación a otras variedades de pasiflora por ejemplo se han reportado de 9.21 a 13.25 mg EAG g⁻¹ PS en *P. tenuifila* y *P. edulis* respectivamente (Santos *et al.*, 2021).

En relación a los flavonoides (Figura 3 B) se observa un comportamiento similar al contenido fenólico total siendo más abundantes en los primeros estados de desarrollo 28.94 ± 0.65 mg EQ g⁻¹ PS, en estado de madurez de cosecha se mantiene en valores de 11.70 ± 1.12 mg EQ g⁻¹. Los resultados obtenidos sobre la mayor presencia de compuestos fenólicos al inicio del desarrollo de los frutos están relacionados con diferentes factores. En primer lugar, para la protección y defensa; flavonoides y taninos por ejemplo actúan como antioxidantes y agentes protectores frente al estrés oxidativo y a la acción de patógenos y herbívoros. En segundo lugar, la síntesis de estos compuestos para la regulación del crecimiento y desarrollo. Ciertos compuestos fenólicos, como las auxinas fenólicas, están involucrados en la elongación celular y la división celular durante las primeras etapas de desarrollo de los frutos. En tercer lugar, para el metabolismo y biosíntesis ya que en las etapas de desarrollo iniciales se producen cambios importantes donde los compuestos fenólicos desempeñan funciones importantes en la respuesta al estrés y en la comunicación intercelular (Shahidi & Ambigaipalan, 2015).

Por otro lado, su decremento se asocia a la descomposición en su estructura celular que ocurre durante el desarrollo en parte por el papel que juegan las poliaminas en el mantenimiento del contenido fenólico total (TPC) en frutos. Diferentes estudios han investigado el efecto de la aplicación poscosecha de poliaminas para el mantenimiento de los niveles de los compuestos fenólicos y conservar su capacidad antioxidante retardando la senescencia poscosecha (Sharma *et al.*, 2017).

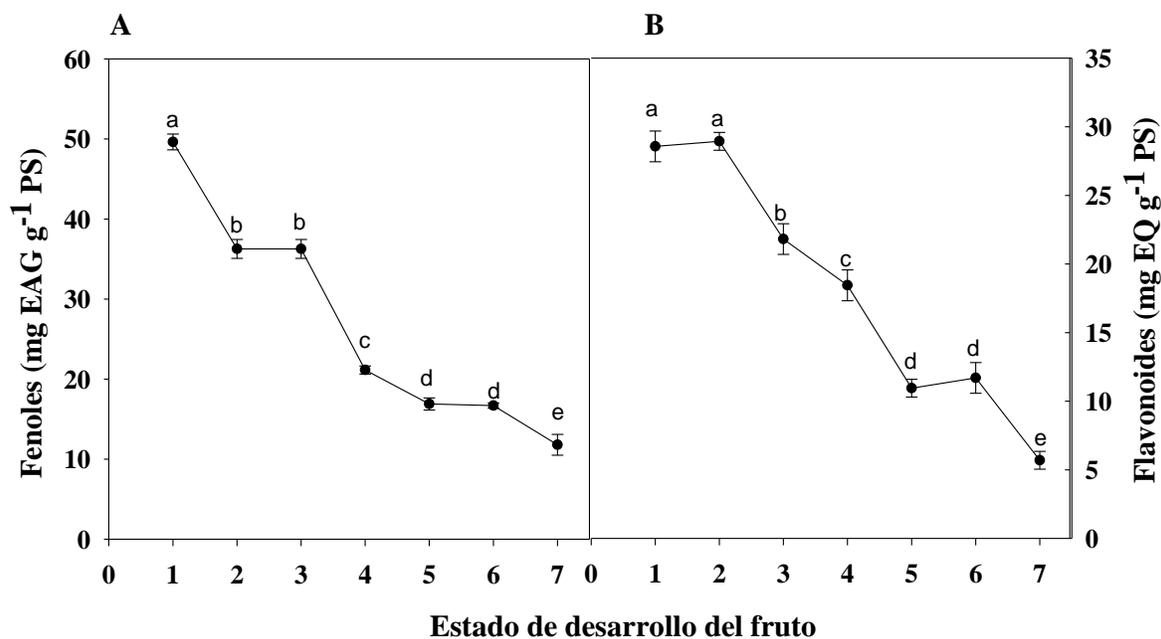


Figura 3. Evolución del contenido de fenoles totales (A) y flavonoides (B) en los siete estados de desarrollo de los frutos de *P. tarminiana*

3.4 Actividad antioxidante por ensayos ABTS Y DPPH

Se utilizaron pruebas de DPPH y ABTS para detectar el potencial de eliminación de radicales entre los siete estados de desarrollo de los frutos. Se encontró que el estado de madurez tiene efecto estadísticamente significativo en los cambios sobre la actividad antioxidante en los frutos de *P. tarminiana* como se muestra en la Figura 4. La mayor capacidad antioxidante es en los primeros estados (1 y 2), posteriormente va decreciendo en los estados 3 y 4 para en estado 5 incrementar. Por último, se mantiene en los estados 6 y 7 asociándose a la maduración de la semilla y la pulpa. El mismo comportamiento se registró en las dos técnicas. Este comportamiento fue observado por Loizzo *et al.* (2019) estudiando los mismos ensayos en las variedades *P. pinnatistipula*, *P tripartita* y *P ligularis*.

Así mismo el contenido de compuestos bioactivos en los frutos va estar influenciado por el tipo de cultivo, características del suelo, las condiciones climáticas del área geográfica donde crece, cantidad, los procesos de cosecha, almacenamiento y la forma en que se comen (De la Rosa *et al.*, 2018; Segura *et al.*, 2019; Papaila *et al.*, 2020).

P. tarminiana mostró una mayor actividad antioxidante que el mango, la piña, el plátano y litchi con 269.65 ± 0.60 y 193.18 ± 0.32 $\mu\text{M Trolox g}^{-1}$ PS en los ensayos ABTS y DPPH respectivamente. La variación de fenoles totales, flavonoides, carotenoides y ácido ascórbico son en gran medida responsables de la actividad de eliminación de radicales (Septiembre-Malaterre *et al.*, 2016).

Asimismo, un factor importante es precisar el tiempo de consumo después de la cosecha del fruto para aprovechar al máximo su valor como alimento nutracéutico y fortalecer la posición de estos frutos en el mercado. Es importante mencionar que los cambios que se producen en la actividad antioxidante en las frutas resultan de la interacción de diversas clases de metabolitos secundarios viéndose facilitada bioquímicamente por la presencia de compuestos como flavonoides, fenoles y algunas vitaminas como el ácido ascórbico. Mantener niveles de antioxidantes en las frutas ayuda a que conserven los atributos generales de calidad, así como su capacidad antioxidante (Sharma *et al.*, 2017).

Los cambios en la presencia de los metabolitos secundarios pueden explicarse debido a que en etapas tempranas del desarrollo del fruto existe una mayor presencia de compuestos fenólicos, como los flavonoides y taninos, que actúan como agentes protectores frente al estrés oxidativo. Además, a medida que el fruto madura hay una disminución en la concentración de compuestos fenólicos y a un aumento en otros antioxidantes, como el ácido

ascórbico y los carotenoides. Estos antioxidantes pueden desempeñar un papel importante en la protección contra el estrés oxidativo a medida que el fruto alcanza su estado de madurez. En la etapa de senescencia del fruto, se produce una degradación y descomposición de los compuestos fenólicos y otros antioxidantes presentes. A medida que los compuestos fenólicos se degradan, el sistema antioxidante no enzimático puede volverse menos eficiente, lo que lleva a un aumento del estrés oxidativo y al deterioro del fruto (Azcón-Bieto & Talón, 2013).

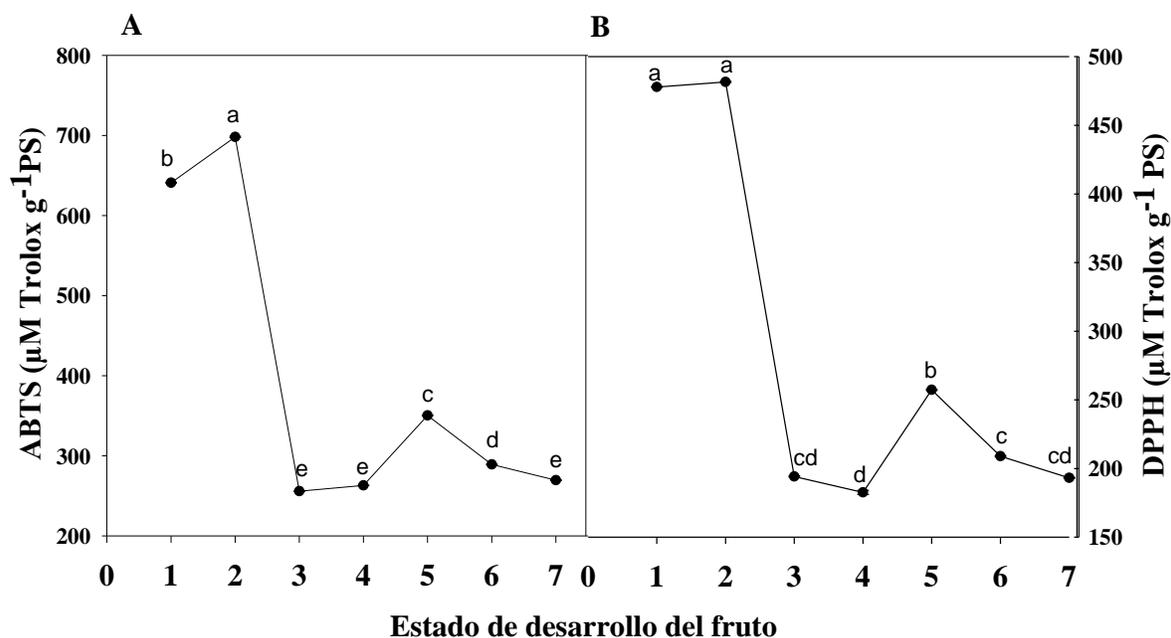


Figura 4. Actividad antioxidante por los ensayos ABTS y DPPH en los estados de desarrollo de los frutos de *P. tarminiana*

3.5 Actividad antioxidante enzimática

La maduración de la fruta se considera un fenómeno oxidativo, caracterizado por incremento en los niveles de peróxido de hidrógeno y aniones superóxido. El mecanismo de equilibrio natural permite la activación del sistema antioxidante celular que implica la participación de

diferentes enzimas que interactúan para la degradación de los radicales libres que ocasionan el daño a la membrana celular (Sharma *et al.*, 2017; Meitha *et al.*, 2020). Por tal motivo también se evaluó en los frutos de *P. tarminiana* la actividad de las enzimas asociadas al sistema antioxidante celular SOD, CAT, APX y POD. En las células vegetales estas enzimas actúan como antioxidantes directos participando en la eliminación del radical superóxido y el H₂O₂ (Yang *et al.*, 2014).

Las enzimas estudiadas presentaron actividad en los siete estados de desarrollo. La SOD (Figura 5A) presenta un aumento significativo de su actividad durante el proceso de maduración (≤ 0.05), que va de 0.023 ± 0.001 a 0.070 ± 0.008 U mg⁻¹ proteína posteriormente un descenso hasta la madurez llegando en E7 a 0.049 ± 0.005 mg⁻¹ proteína. En los frutos de *P. tarminiana* los valores más altos se presentaron en E3 coincidiendo con la actividad de CAT, APX y POD. Los resultados sugieren que las actividades de SOD, CAT y POD son los principales mecanismos de defensa antioxidantes inducidos por el entorno y en consecuencia el estrés que sufre el fruto durante su crecimiento (de Oliveira *et al.*, 2018). Además, la actividad enzimática se relaciona también con la senescencia del fruto, el incremento de la actividad de SOD indica la mejor habilidad para degradar el radical superóxido y así disminuir el daño que este ocasionaría acelerando la muerte del fruto. Mientras que las actividades de CAT, APX y POD, mantienen controladas las concentraciones de H₂O₂ (Yang *et al.*, 2014). Lo anterior se explica a que durante el desarrollo de los frutos existe un alto metabolismo oxidativo con un elevado consumo de O₂ lo cual favorece la aparición del radical O₂⁻ que es dismutado por SOD a H₂O₂. Esta enzima se encuentra en diferentes compartimentos celulares, como el citosol, los cloroplastos y las mitocondrias. De tal manera la SOD incrementa para contrarrestar el estrés oxidativo generado por la acumulación de

especies reactivas de oxígeno productos de las condiciones de estrés biótico y abiótico (Fernández-Ocaña *et al.*, 2011). La síntesis de la SOD es regulada a nivel de expresión génica siendo inducida por señales hormonales entre ellas se encuentra el etileno y factores ambientales, caracterizándose con una reducción durante la maduración (Kim *et al.*, 2017; Martínez-Gonzalez *et al.*, 2017; Sharma *et al.*, 2017).

Por otro lado, la actividad APX fue significativamente más alta a partir de E3. Su actividad enzimática se mantiene constante hasta la madurez del fruto (Figura 5C). Las enzimas CAT y APX son responsables de la degradación del peróxido de hidrógeno principalmente en los peroxisomas, cloroplastos, y en las primeras etapas del crecimiento del fruto respectivamente (Kim *et al.*, 2017).

El decremento de la actividad de APX podría explicarse a que durante la maduración va produciéndose una oxidación del ácido ascórbico por la conversión de ácido dehidroascórbico a ácido dicetogluconico que a su vez inhibe la actividad de APX (Sharma *et al.*, 2017). La mayor actividad de APX se asocia al mayor contenido de ácido ascórbico que se encontró en los frutos en los estados 1 y 2, incrementando la actividad de esta enzima en esos estados. Por su parte la síntesis de APX durante el desarrollo de los frutos también está regulada a nivel de expresión génica y puede ser influenciada por factores ambientales, como la intensidad lumínica y la disponibilidad de nutrientes (Santos-Tierno *et al.*, 2022).

Considerando que APX es la enzima responsable de mantener bajos niveles de H₂O₂ en los cloroplastos las variaciones en su actividad, en comparación con la actividad de la CAT que es importante para la eliminación de peróxido de hidrogeno generado en los peroxisomas por la β-oxidación de los ácidos grasos y la fotorrespiración (Colavita *et al.*, 2020).

La disminución en la actividad de la enzima APX coincide con el aumento del ácido ascórbico durante la maduración de los frutos de *P. tarminiana*. Estos resultados se asemejan con los reportados por Loannidi *et al.* (2009) quienes observaron que durante la maduración del jitomate había un incremento en este metabolito antioxidante. La acumulación de este podría indicar su participación como cofactor de varias enzimas, en la resistencia al estrés, en la expansión celular, así como en el inicio de la senescencia (Loannidi *et al.*, 2009).

Durante el desarrollo de los frutos, la actividad de la CAT puede aumentar para eliminar el exceso de H₂O₂ y proteger a los frutos de daños oxidativos. La síntesis de la CAT también está regulada a nivel de expresión génica y puede ser influenciada por señales hormonales y condiciones ambientales (Balois-Morales *et al.*, 2008).

El estado de madurez influyó de forma significativa en la actividad de la POD ($p < 0.05$) (Figura 5D). La actividad más alta la presentó en E6 con 569.27 ± 37.84 U mg⁻¹proteína y disminuyó en E7 cuando el fruto se encuentra totalmente maduro. El aumento en la actividad de POD durante el proceso de maduración está relacionado con el contenido de fenoles y flavonoides. Resultados similares se han encontrado en piña donde la actividad de POD aumentó durante la maduración para posteriormente disminuir cuando la fruta estaba madura. La actividad de esta enzima en otras frutas se ha encontrado incrementada cuando se sometieron a diferente tipo de estrés (salino e hídrico) que pueden generar que los compuestos fenólicos sean sustratos disponibles para POD. Estas enzimas desempeñan un papel importante en la protección de los frutos contra el estrés oxidativo en diferentes estados de desarrollo actúan como antioxidantes y ayudan a mantener el equilibrio redox en las células de los frutos (Raimbault *et al.*, 2011).

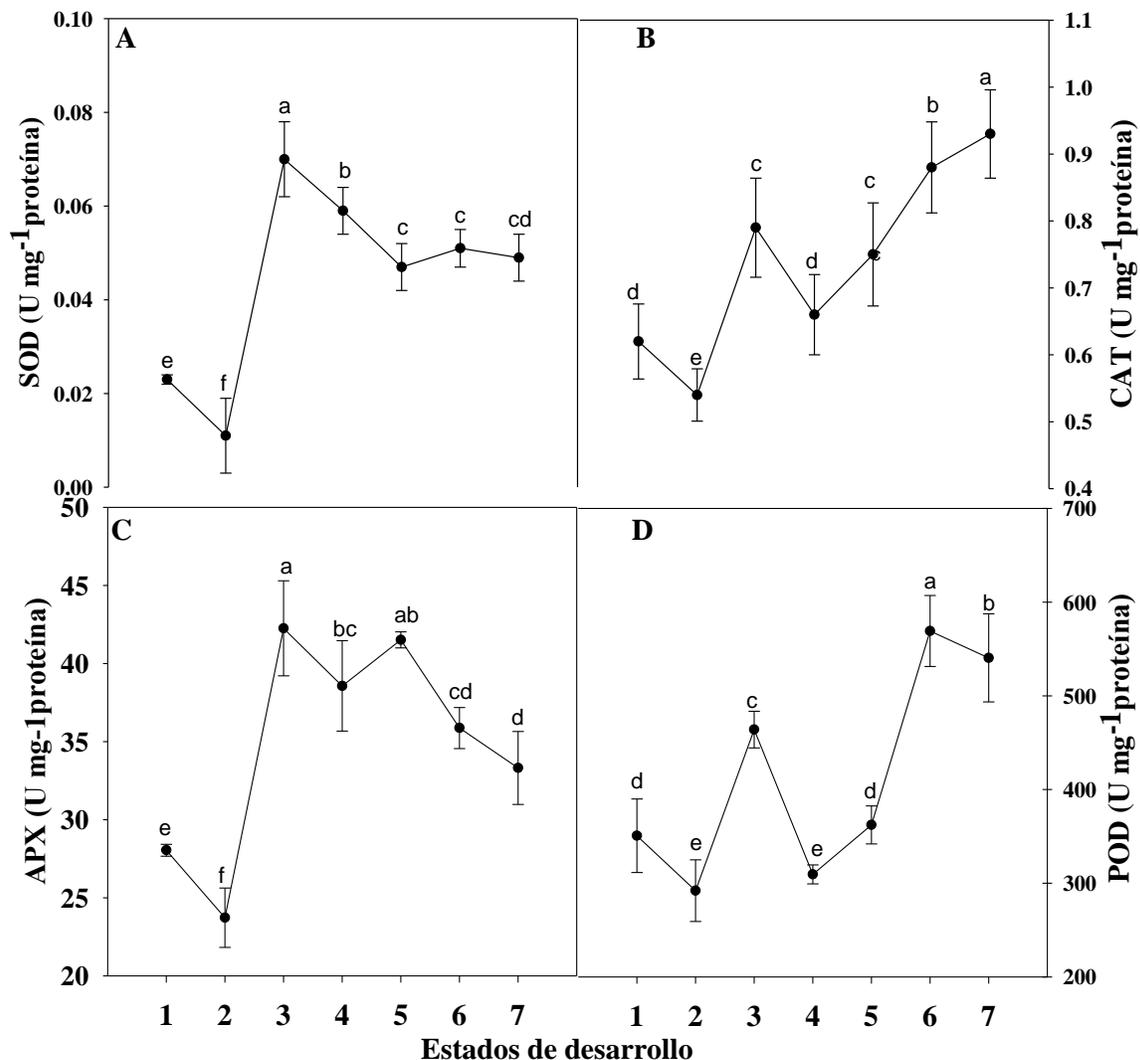


Figura 5. Actividad antioxidante enzimática A) SOD, B) CAT, C) APX y D) POD en los estados de desarrollo de los frutos de *P. tarminiana*

3.6 Parámetros de daño asociados a estrés durante el desarrollo de los frutos de *P. tarminiana*

Las especies reactivas de oxígeno son moléculas producidas a partir del metabolismo del oxígeno. A nivel celular se producen principalmente en las mitocondrias, los cloroplastos y los peroxisomas en las células vegetales. La sobreproducción de estas es inducida por

tensiones bióticas y abióticas. De las más estudiadas se encuentran el radical superóxido, el radical hidroxilo y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2). La concentración y su tiempo de vida están determinados por la disponibilidad y composición del sistema antioxidante que incluye componentes enzimáticos antes mencionados (SOD, CAT, APX, POD) y componentes no enzimáticos como vitaminas, polifenoles y carotenoides. En altas concentraciones pueden dañar varios tipos de biomoléculas, como lípidos, proteínas, ADN y ARN, mientras que, en concentraciones bajas o moderadas pueden actuar como segundos mensajeros en la cascada de señalización intracelular (Meitha *et al.*, 2020).

La determinación de estrés oxidativo en las diferentes etapas de desarrollo del fruto mostró valores de H_2O_2 variables de acuerdo a la Figura 6. Los valores más altos se registraron en E1 y E2 57.23 ± 3.99 y 51.84 ± 4.66 nmol g^{-1} PS respectivamente. En los estados de desarrollo posteriores disminuyó para incrementar paulatinamente en los últimos dos estados cuando el fruto este maduro 42.61 ± 4.36 nmol g^{-1} PS. El comportamiento anterior está asociado a que el H_2O_2 funciona como un señalizador del crecimiento y una vez que se alcanza el máximo tamaño del fruto sus concentraciones disminuyen. A pesar de que se gasta mucha energía metabólica en la eliminación de estos agentes de daño también son producidos por el metabolismo celular en condiciones de óptimo crecimiento. Se requiere peróxido de hidrógeno para la biosíntesis y modificaciones relacionadas con el desarrollo de los componentes estructurales de las paredes celulares (Concetta *et al.*, 2006; Meitha *et al.*, 2020).

La sobreproducción de H_2O_2 en la última etapa es también un acontecimiento temprano asociado a la proximidad de la senescencia de los frutos, ya que aparte de su función en el crecimiento también se produce en situaciones de estrés como la sequía, el frío, la radiación

y los rayos ultravioleta. Las principales fuentes de producción en las células son los cloroplastos, la cadena de transporte de electrones mitocondriales, así como la fotorrespiración. El H₂O₂ puede atravesar la membrana de tal manera que se desplaza a través de las paredes celulares y provoca daño oxidativo lejos de su lugar de origen. En altas concentraciones, el peróxido de hidrógeno puede oxidar residuos de cistina o metionina, proteína quinasa, la fosfatasa y algunos factores de transcripción (Meitha *et al.*, 2020).

Por otro lado, se produjo mayor peroxidación lipídica con incremento significativo de malondialdehído MDA ($p \leq 0.05$) a partir de E5 ($1.72 \pm 0.025 \mu\text{M g}^{-1}\text{PS}$), lo que se relaciona con el deterioro del fruto. Los valores del fruto maduro (E7) se encontraron en $1.84 \pm 0.088 \mu\text{M g}^{-1}\text{PS}$. La peroxidación lipídica es un proceso bioquímico que ocurre en las membranas celulares y está relacionado con la producción de especies reactivas de oxígeno y la formación de productos finales como el MDA. El radical hidroxilo (*OH) es la especie más reactiva, por su estructura química tiene la capacidad de reaccionar con todas las moléculas biológicas y causar daño celular en lípidos produciendo la peroxidación entre otros daños a proteínas y membranas. Un exceso de este radical puede causar la muerte celular porque las células no cuentan con enzimas para eliminarlo (Meitha *et al.*, 2020).

Durante el desarrollo de los frutos, la peroxidación lipídica puede desempeñar un papel importante en la maduración y deterioro de los mismos por ejemplo las condiciones de estrés oxidativo con la exposición a altas concentraciones de oxígeno, la radiación UV, la presencia de contaminantes o patógenos desencadenan la producción de especies reactivas y estimulan la peroxidación lipídica en los frutos (Rihan *et al.* 2017).

En sí misma la maduración de la fruta se considera un fenómeno oxidativo. Por la acción del antioxidante de la fase lipídica regenerada a α -tocoferol se controla la división celular,

expansión de la pared celular y organogénesis. A nivel molecular, las transcripciones de ARNm que codifican las enzimas oxidativas aumentan sus niveles en la etapa de ruptura y se va reduciendo durante la maduración (Sharma *et al.*, 2017). La actividad enzimática con la participación de peroxidasas y la polifenoloxidasas pueden catalizar reacciones de oxidación de lípidos, generando especies reactivas y promoviendo la peroxidación lipídica (Vianna *et al.*, 2019). Este puede ser un proceso natural durante la maduración de los frutos y está relacionada con cambios fisiológicos normales. Sin embargo, un exceso de peroxidación lipídica puede causar daño celular y acelerar el deterioro de los frutos. (de Oliveira *et al.*, 2017).

Existen dos sitios en las moléculas de fosfolípidos a los que se dirigen las especies reactivas de oxígeno, son el enlace insaturado (doble) entre dos átomos de carbono y el enlace éster entre el glicerol y los ácidos grasos. Los ácidos grasos insaturados presentes en los fosfolípidos de membrana también son sensibles al ataque. Solo se necesita una molécula de radicales hidroxilos para que muchos ácidos grasos insaturados se oxiden (Czanocka & Karpinortski., 2018).

Por último, en el presente estudio se encontró actividad de PPO durante el desarrollo de los frutos de *P. tarminiana* evaluados. Los compuestos fenólicos son sustratos para la actividad de esta enzima. Los cuales se encuentran en la cáscara proporcionando protección contra el estrés ambiental y los ataques de patógenos. En la pulpa y en las semillas contribuyendo a la protección de estas (Shahidi & Ambigaipalan, 2015). Estos resultados coinciden con los publicados por González-Aguilar *et al.* (2010) en otros cultivares de piña estudiada en diferentes estados de madurez. La disminución de PPO puede deberse al incremento del ácido

ascórbico en el fruto. Éste compuesto antioxidante puede disminuir ó retrasar el obscurecimiento mediante la reducción de quinonas producto de la oxidación de los fenoles (Raimbault *et al.*, 2011). Es por ello, que la baja presencia de los sustratos de la PPO podría ser uno de los factores por los cuales disminuyó la actividad de la enzima a partir del estado E5. Además, durante el desarrollo de los frutos existe una mayor presencia de poliaminas siendo estos compuestos los que fortalecen las paredes celulares y mantienen a la enzima PPO y los compuestos fenólicos en compartimentos separados lo que permite que el fruto continúe su desarrollo, retardar el obscurecimiento y mantener sus atributos de calidad (Sharma *et al.*, 2017).

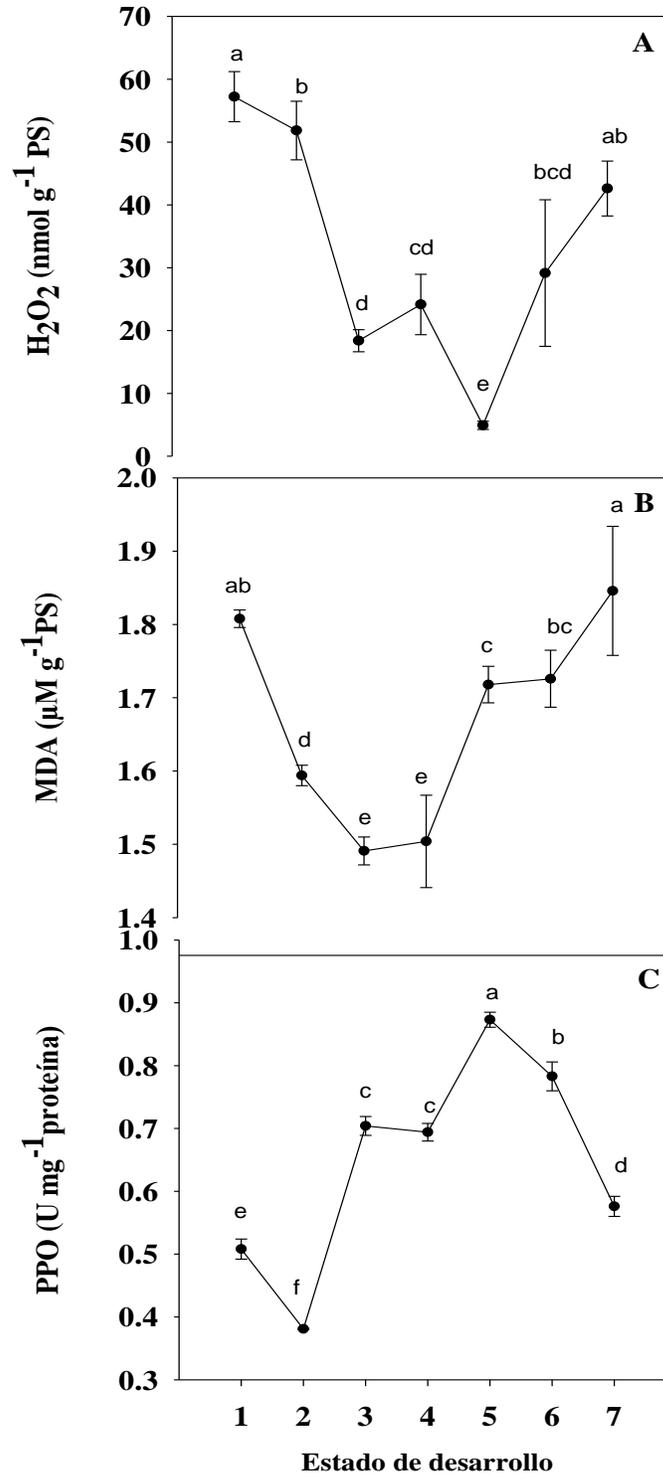


Figura 6. A) Contenido de peróxido de hidrogeno (H₂O₂), B) malondealdehido (MDA) y C) Polifenoloxidasas (PPO) durante el desarrollo de los frutos de *P. tarminiana*

4. CONCLUSIONES

En el presente estudio, se investigó por primera vez el perfil antioxidante enzimático y no enzimático en frutos de *P. tarminiana* de la familia *Passifloraceae*, Se detectaron valores importantes de carotenoides, ácido ascórbico y compuestos fenólicos. De igual forma se describe el comportamiento de la actividad enzimática antioxidante durante el desarrollo del fruto.

Este estudio destaca el potencial antioxidante de los frutos de *P. tarminiana* como fuente valiosa de antioxidantes naturales capaces de eliminar o inhibir la actividad de los radicales libres, ayudando a mantener un estado antioxidante adecuado. La actividad antioxidante es mayor en los primeros estados de desarrollo, disminuyendo conforme va alcanzando su máximo tamaño. Posteriormente existe un incremento que coincide con la madurez comercial del fruto en donde también se observó un aumento en el contenido de carotenoides y ácido ascórbico.

Los resultados obtenidos demuestran que las respuestas metabólicas activadas en las células difieren dependiendo de la intensidad del estrés generado y los diferentes tiempos de producción de especies reactivas de oxígeno. Por lo tanto, considerando la actividad enzimática antioxidante y la interacción de compuestos bioactivos presentes en el fruto, parece que tanto los sistemas antioxidantes enzimáticos como no enzimáticos están actuando juntos para reducir el daño ocasionado por las especies reactivas de oxígeno durante el desarrollo del fruto siendo inevitable que en los últimos estados incrementen dado que se acerca la senescencia del fruto.

REFERENCIAS

- Azcón-Bieto Joaquin, & Talón Manuel. (2013). Fundamentos de Fisiología Vegetal. pp 349–355.
- Balois-Morales, R., Colinas-León, M. T., Peña-Valdivia, C. B., Chávez-Franco, S. H., & Alia-Tejacal, I. (2008). Sistema enzimático antisenescencia, catalasa-superóxido dismutasa, de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenados con frío. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(3), 295–299.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
- Colavita, G.M., Guiamet, J.J. and Civello, P.M. (2020). Effects of exogenous abscisic acid on antioxidant response and quality of apple exposed to high solar radiation stress. *Acta Horticultura*. Pp. 1289, 27-34. DOI: 10.17660/ActaHortic.2020.1289.4
- Concetta De Pinto M., Paradiso A., Leonetti P., De Gara L. (2006). Hydrogen peroxide, nitric oxide and cytosolic ascorbate peroxidase at the crossroad between defence and cell death. *The Plant Journal*, 48(5), 784–795. doi:10.1111/j.1365-313x.2006.02919.x.
- Czarnocka W. and Karpiński S. (2018). “Friend or foe? Reactive oxygen species production, scavenging and signaling in plant response to environmental stresses,” *Free Radical Biology & Medicine*, vol. 122, pp. 4–20
- de Carvalho, M. V. O., de Oliveira, L. de L., & Costa, A. M. (2018). Effect of training system and climate conditions on phytochemicals of *Passiflora setacea*, a wild *Passiflora* from Brazilian savannah. *Food Chemistry*, 266, 350–358. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.097>
- de Oliveira, L. de Carvalho, M. V. O., de L., & Costa, A. M. (2018). Effect of training system and climate conditions on phytochemicals of *Passiflora setacea*, a wild *Passiflora* from Brazilian savannah. *Food Chemistry*, 266, 350–358.
- de la Rosa, L. A., Moreno-Escamilla, J. O., Rodrigo-García, J., & Alvarez-Parrilla, E. (2018). Phenolic compounds. In *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables* pp. 253–271. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00012-9>.
- Doungue, H. T., Kengne, A. P. N., & Kuate, D. (2018). Neuroprotective effect and antioxidant activity of *Passiflora edulis* fruit flavonoid fraction, aqueous extract, and juice in aluminum chloride-induced Alzheimer’s disease rats. *Nutrire*, 43(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s41110-018-0082-1>
- Durust N, D Sumengen, Y Durust (1997). Ascorbic acid and element contents of foods of Trabzon (Turkey). *Journal Agricultural and Food Chemistry*. 45:2085–2087.
- Fernández-Ocaña A, Chaki M, Luque F, Gómez-Rodríguez MV, Carreras A, Valderrama R, Begara-Morales JC, Hernández LE, Corpas FJ, Barroso JB. (2011). Functional analysis of superoxide dismutases (SODs) in sunflower under biotic and abiotic stress conditions. Identification of two new genes of mitochondrial Mn-SOD. *J Plant Physiol*. Jul 15;168(11):1303-8. doi: 10.1016/j.jplph.2011.01.020. Epub 2011 Mar 9. PMID: 21388704.

- Ferrante, A., Manganaris, G., Pintado, M. M., Francini, A., eds. (2020). *Bioactive Compounds Biosynthesis and Metabolism in Fruit and Vegetables*. Lausanne: Frontiers Media SA. doi: 10.3389/978-2-88963-603-7
- Fischer, G., Melgarejo, L. M., & Cutler, J. (2018). Pre-harvest factors that influence the quality of passion fruit: A review. *Agronomía Colombiana*, 36(3), 217–226. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v36n3.71751>.
- Gadioli, I. L., De, M., Barreto Da Cunha, S., Oliveira De Carvalho, M. V., María Costa, A., & de Lacerda De Oliveira Pineli, L. (2018). A systematic review on phenolic compounds in *Passiflora* plants: Exploring biodiversity for food, nutrition, and popular medicine. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58:5, 785-807, DOI: 10.1080/10408398.2016.1224805
- Ghedira, K., Goetz, P., & le Jeune, R. (2007). Monographie médicalisée: *Passiflora incarnata* L. *Phytotherapie*, 5(5), 281–284. <https://doi.org/10.1007/s10298-007-0271-1>.
- Gogoi, M., & Basumatary, M. (2018). Estimation of the chlorophyll concentration in seven Citrus species of Kokrajhar district, BTAD, Assam, India. *Tropical Plant Research*, 5(1), 83–87. <https://doi.org/10.22271/tpr.2018.v5.i1.012>.
- González-Aguilar, G. A., Villa-Rodríguez, J. A., Ayala-Zavala, J. F., & Yahia, E. M. (2010). Improvement of the antioxidant status of tropical fruits as a secondary response to some postharvest treatments. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 475-482.
- González-Burgos, E., & Gómez-Serranillos, M. P. (2021). Effect of phenolic compounds on human health. In *Nutrients*. Vol. 13, Issue 11. <https://doi.org/10.3390/nu13113922>.
- Goss, M. J., Nunes, M. L. O., Machado, I. D., Merlin, L., Macedo, N. B., Silva, A. M. O., ... Santin, J. R. (2018). Peel flour of *Passiflora edulis flavicarpa* supplementation prevents the insulin resistance and hepatic steatosis induced by low-fructose-diet in young rats. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 102, 848–854. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.03.137>
- Granados Conde, C., Tinoco Guardo, K., Granados Llamas, E., Pájaro-Castro, N., & García Milano, Y. (2017). Caracterización química y evaluación de la actividad antioxidante de la pulpa de *Passiflora edulis Sims* (gulupa). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 22(2). Recuperado de <http://revplantasmedicinales.sld.cu/index.php/pla/article/view/513/256>
- Guimarañes, S. F., Lima, I. M., & Modolo, L. v. (2020). Phenolic content and antioxidant activity of parts of *Passiflora edulis* as a function of plant developmental stage. *Acta Botanica Brasilica*, 34(1), 74–82. <https://doi.org/10.1590/0102-33062019abb0148>.
- Holanda, D. K. R. H., Wurlitzer, N. J., Dionísio, A. P., Campos, A. R., Moreira, R. A., Sousa, P. H. M. (2020). Garlic passion fruit (*Passiflora tenuifila Killip*): Assessment of eventual acute toxicity, anxiolytic, sedative, and anticonvulsant effects using in vivo assays, 108813 *Food Research International*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108813>.

- Hornero-Méndez, D., Mínguez-Mosquera, M.I. (2007). Bioaccessibility of carotenes from carrots: Effect of cooking and addition of oil. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Vol. 8, P.p.407-412. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.03.014>.
- Junglee, S., Urban, L., Sallanon, H., & Lopez-Lauri, F. (2014). Optimized Assay for Hydrogen Peroxide Determination in Plant Tissue Using Potassium Iodide. *American Journal of Analytical Chemistry*, 05(11), 730–736. <https://doi.org/10.4236/ajac.2014.511081>
- Kawakami, S., Morinaga, M., Tsukamoto-Sen, S., Mori, S., Matsui, Y., & Kawama, T. (2022, January 1). Constituent characteristics and functional properties of passion fruit seed extract. *Life*. MDPI. <https://doi.org/10.3390/life12010038>
- Kim Y-H, Khan AL, Waqas M, Lee IJ (2017). Silicon regulates antioxidant activities of crop plants under abiotic-induced oxidative stress: a review. *Frontiers in Plant Science* 8:510
- Lahlou, F. A., Hmimid, F., Loutfi, M., & Bourhim, N. (2014). Antioxidant activity and determination of total phenolic compounds content of *Euphorbia regis-jubae* (webb and berth) from methanol and aqueous extracts. *International Journal of Pure Applied Bioscience*, 2(3), 112–117.
- Loannidi, E., Kalamaki, M., Engineer, C., Pateraki, I. Ifigeneia, A., Giovannonni, J., Kanellis, A. 2009. Expression profiling of ascorbic acid-related genes during tomato fruit development and ripening and in response to stress conditions. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 60: pp. 663–678.
- Loizzo M.R., Lucci P., Núñez O., Tundis R., Balzano M., Frega N.G., Conte C., Moret S., Filatova D., Moyano E., Pacetti D. (2019). Native colombian fruits and their by-products: phenolic profile, antioxidant activity and hypoglycaemic potential. *Foods* (8), 89.
- Martínez-González, Mónica Elizabeth, Balois-Morales, Rosendo, Alia-Tejacal, Irán, Cortes-Cruz, Moises Alberto, Palomino-Hermosillo, Yolotzin Apatzingan, & López-Gúzman, Graciela Guadalupe. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, núm 8, 4075-4087. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.674>
- Martínez-Jaime, O. A., Abraham-Juárez, M. R., Gómez-Ortega, A. (2017). Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de alimentos propiedades fisicoquímicas y nutraceuticas de dos genotipos de maracuyá (*Passiflora edulis var. flavicarpa*) procedentes de dos regiones de México resumen. Vol. 2., pp. 249-255
- Meitha K., Pramesti Y., Suhandono S. (2020). "Reactive Oxygen Species and Antioxidants in Postharvest Vegetables and Fruits", *International Journal of Food Science*., pp 11. <https://doi.org/10.1155/2020/8817778>
- Melgarejo, L, Romero, M, Hernández, S, Barrera, J, Solarte, M, Suárez, D, Pérez, L, Rojas, A, Cruz, M, Moreno, L, Crespo, S y Pérez, W. (2010). Experimentos en fisiología vegetal. Universidad Nacional de Colombia. Pp. 167-175

- Montero M.L., Rojas-Garbanzo C., Usaga J, Pérez A. (2022). Nutritional composition, content of bioactive compounds, and hydrophilic antioxidant capacity of selected Costa Rican fruits. *Agronomía mesoamericana*. Vol. 33(2) doi:10.15517/am.v33i2.46175
- Ocampo, J., d'EEckenbrugge, G. C., & Jarvis, A. (2010). Distribution of the genus *Passiflora* L. Diversity in Colombia and its potential as an indicator for biodiversity management in the coffee growing zone. *Diversity*, 2(11), 1158–1180. <https://doi.org/10.3390/d2111158>
- Ozarowski, M., Piasecka, A., Paszel-Jaworska, A., Chaves, D. S. de A., Romaniuk, A., Rybczynska, M., Gryszczynska, A., Sawikowska, A., Kachlicki, P., Mikolajczak, P. L., Seremak-Mrozikiewicz, A., Klejewski, A., & Thiem, B. (2018). Comparison of bioactive compounds content in leaf extracts of *Passiflora incarnata*, *P. caerulea* and *P. alata* and in vitro cytotoxic potential on leukemia cell lines. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 28(2), 179–191. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2018.01.006>
- Papaila T, Barreca D, Calderaro A, & Panuccio M R. (2020). Phytonutrients in food. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815354-3.00002-2>
- Pasquariello, M. S., Di Patre, D., Mastrobuoni, F., Zampella, L., Scortichini, M., & Petriccione, M. (2015). Influence of postharvest chitosan treatment on enzymatic browning and antioxidant enzyme activity in sweet cherry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 109, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.06.007>
- Pertuzatti, P. B., Sganzerla, M., Jacques, A. C., Barcia, M. T., & Zambiazzi, R. C. (2015). Carotenoids, tocopherols and ascorbic acid content in yellow passion fruit (*Passiflora edulis*) grown under different cultivation systems. *LWT – Food Science and Technology*, 64(1), 259–263.
- Polyakov, N.E.; Focsan, A.L.; Gao, Y.; Kispert, L.D. (2023). The Endless World of Carotenoids Structural, Chemical and Biological Aspects of Some Rare Carotenoids. *Int. J. Mol. Sci.*, 24, 9885. <https://doi.org/10.3390/ijms24129885>
- Proietti, P., Nasini, L., Del Buono, D., D'Amato, R., Tedeschini, E., & Businelli, D. (2013). Selenium protects olive (*Olea europaea* L.) from drought stress. *Scientia Horticulturae*, 164, 165–171. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.034>
- Raimbault, A. K., Marie-Alphonsine, P. A., Horry, J. P., Francois-Haugrin, M., Romuald, K., & Soler, A. (2011). Polyphenol oxidase and peroxidase expression in four pineapple varieties (*Ananas comosus* L.) after a Chilling Injury. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 342–348.
- Re, R., Pellegrine, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26(98), 1231–1237.
- Rihan HZ, Al-Issawi M, Fuller MP (2017) Advances in physiological and molecular aspects of plant cold tolerance. *Journal of Plant Interactions* 12(1):143–157
- Rodríguez-Ramírez, S., Gaona-Pineda, E. B., Martínez-Tapia, B., Romero-Martínez, M., Mundo-Rosas, V., & Shamah-Levy, T. (2021). Food insecurity and perception of households food

intake changes during Covid-19 lockdown in Mexico. *Salud Publica de México*, 63(6), 763–772. <https://doi.org/10.21149/12790>

- Rojas, J., & Buitrago A. (2019). Antioxidant activity of phenolic compounds biosynthesized by plants and its relationship with prevention of neurodegenerative diseases. In Segura Campos. *Bioactive Compounds. Health benefits and potential applications*. Vol. 1, pp. 3–10.
- Santos, J. T. do C., Petry, F. C., Tobaruela, E. de C., Mercadante, A. Z., Gloria, M. B. A., Costa, A. M., Lajolo, F. M., & Hassimotto, N. M. A. (2021). Brazilian native passion fruit (*Passiflora tenuifila killip*) is a rich source of proanthocyanidins, carotenoids, and dietary fiber. *Food Research International*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110521>
- Santos-Tierno R; García R; Fonseca E; Faleiro F; Moreira D; Pacheco G; Mansul E. (2022). Flavonoid content and antioxidant potential of leaf extracts of *Passiflora setacea* cv BRS Pérolado Cerrado, a new wild passion fruit cultivar. *Journal of medicinal Plants Research* vol. 16 (2). Pp 26-34.
- Segura Campos MR. (2019). *Bioactive Compounds. Health benefits and potential applications*. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02265-6>
- Segura, S., Fresnedo, J., Mathuriau, C., López, J., Andrés, J., & Muratalla, A. (2018). The edible fruit species in Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65(6), 1767–1793. <https://doi.org/10.1007/s10722-018-0652-3>
- Septembre-Malaterre, A., Stanislas, G., Douraguia, E., and Gonthier, M. P. (2016). Evaluation of nutritional and antioxidant properties of the tropical fruits banana, litchi, mango, papaya, passion fruit and pineapple cultivated in Reunion French Island. *Food Chem.* 212, 225–233. doi: 10.1016/ j.foodchem.2016.05.147
- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects - A review. In *Journal of Functional Foods*. Vol. 18, pp. 820–897. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
- Shanmugam, S., Sandes, R. D. D., Rajan, M., Neta, M. T. S. L., dos Santos Lima, B., de Jesus, M. J. M., Denadai, M., Narain, N., Thangaraj, P., Serafini, M. R., Quintans-Júnior, L. J., & de Souza Araújo, A. A. (2020). Volatile profiling and UHPLC-QqQ-MS/MS polyphenol analysis of *Passiflora leschenaultii* DC. fruits and its anti-radical and anti-diabetic properties. *Food Research International*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109202>
- Sharma S, Pareek S, Sagar NA, Valero D, Serrano M. (2017). Modulatory Effects of Exogenously Applied Polyamines on Postharvest Physiology, Antioxidant System and Shelf Life of Fruits: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*. Vol. 17;18(8):1789. doi: 10.3390/ijms18081789. PMID: 28817100
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Methods in Enzymology*, 299(1974), 152–178.

- Van het Hof, K. H., West, C. E., Weststrate, J. A., & Hautvast, J. G. A. J. (2000). Recent Advances in Nutritional Sciences Dietary Factors That Affect the Bioavailability of Carotenoids 1. <https://academic.oup.com/jn/article/130/3/503/4686253>
- Vanegas, C. L. J., Martínez, P. S. T., Coy, B. E., & Ardila, B. H. D. (2020). Early responses at symplastic stem level associated with the salicylic acid pathway in the interaction carnation (*Dianthus caryophyllus*, caryophyllaceae)- Fod (*Fusarium oxysporum* f. Sp. dianthi). *Acta Biol Colomb*, 27(2), 153–163.
- Vianna, M.G., Garcia, R.O., Mansur, E. *et al.*, (2019). Oxidative stress during the cryopreservation of *Passiflora suberosa* L. shoot tips using the V-Cryo-plate technique: determination of the critical stages of the protocol. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 139, 369–379. <https://doi.org/10.1007/s11240-019-01690-8>
- Wang, W., Su, M., Li, H., Zeng, B., Chang, Q., & Lai, Z. (2018). Effects of supplemental lighting with different light qualities on growth and secondary metabolite content of *Anoectochilus roxburghii*. *Peer J*, 6, e5274. <https://doi.org/10.7717/peerj.5274>
- Witham, F. H., D. F. Blaydes, and R. M. Devlin. (1971). Exercises in plant physiology. Van Nostrand Reinhold. New York, NY, USA
- Yahia Elhadi M. (2018). Fruit and vegetable phytochemicals. Chemistry and human health. 2da ed., Vol. 2
- Yang, Z., Cao, S., Su, X., Jiang, Y. (2014). Actividad respiratoria y membrana mitocondrial asociada con la senescencia de la fruta en duraznos poscosecha en respuesta al tratamiento UV-C, *Química de Alimentos*, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.12>
- Zhang W, Zhao H, Zhang J, Sheng Z, Cao J, Jiang W. (2019). Different molecular weights chitosan coatings delay the senescence of postharvest nectarine fruit in relation to changes of redox state and respiratory pathway metabolism. *Food Chemistry*.15;289:160-168. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.03.047

ANEXOS



DFIE/22/E4/068EA/4/Cg&M/61/241022-271022

EL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, LA RED DE BIOTECNOLOGÍA DEL IPN, LA UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA Y LA SOCIEDAD ESTUDIANTIL DE INGENIERÍA BIOTECNOLÓGICA

Otorgan la presente constancia a:

Sandra Susana Santos Meza, Sergio Soto Simental, Alma Delia Hernández Fuentes, César Uriel López Palestina

Por su participación como **PONENTE** con la presentación en CARTEL de su trabajo titulado:

"Evaluation of physico-chemical and antioxidant characteristics in fruits of three species of the genus *Passiflora*"

en el **3rd Biotechnology World Symposium y 4^o Congreso Estudiantil de Ingeniería Biotecnológica SEIBT.**


Dra. María Guadalupe Sotelo
Directora de UPIBI


Dra. Norma Leyva
Coordinadora de la Red de Biotecnología


Hannia Sinaí Martínez Sánchez
Presidenta de la SEIBT

Mazatlán, Sinaloa, México del 24 al 27 de octubre de 2022





Mineral de La Reforma, Hgo., 10 de mayo de 2022

C. Sandra Susana Santos Meza

Estudiante de Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola Forestal Sustentable
 ICAP, UAEH.

Por este medio hago constar que se recibe un total de 2 vouchers que se indican a continuación, material que forma parte del proyecto "Cambios en la actividad antioxidante enzimática y no enzimática durante el desarrollo de frutos de *Passiflora tarminiana*" bajo la codirección del Dr. Sergio Soto Simental y Dr. César Urtiel López Palestina, desarrollada en la Maestría en Ciencias y Tecnología Agrícola Forestal Sustentable, ICAP-UAEH.

Como señala en el oficio entregado a este herbario (con fecha 03 de mayo, 2022, recibido el mismo día), se recibieron 2 ejemplares fotográficos en el herbario HGOM, cuya identificación botánica fue verificada por los abajo firmantes, como se indica a continuación:

Especie	Colector y #	Localidad	# de vouchers
<i>Passiflora taminiana</i> Coppens & V.E. Barney (Passifloraceae)	Sandra S. Santos Meza # 1	Nuevo San Juan, Acaxochitlán, Hgo	2

El material que se recibe junto con la información de las etiquetas, como respaldo de la investigación mencionada.

Si más por el momento,
 Atentamente,

20/5/22

Dra. Claudia Teresa Hornung Leoni

Profesora Investigadora Titular/ Curadora del herbario
 HGOM
 Lab. Sistemática Vegetal, Área Académica de Biología, HGOM
 ICBI.

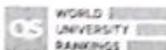


M. en C. Manuel González Ledesma

Profesor Investigador Titular
 Lab. Sistemática Vegetal, Área Académica de Biología,
 ICBI.

ccp. archive

Ciudad del Conocimiento
 Carretera Pachuca-Tlaxianguillo km 4.5
 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma,
 Hidalgo, México, C.P. 42184
 Teléfono: +52 (771) 71 720 00 ext. 6640, 6642
 Fax 2112
 aab_icbi@uaeh.edu.mx



www.uaeh.edu.mx