



Programa de Doctorado en Recursos y Tecnologías Agrarias,
Agroambientales y Alimentarias

Universidad Miguel Hernández de Elche

- 2025 -

**APLICACIÓN DE ELICITORES DE ORIGEN NATURAL
EN PRECOSECHA Y POSTCOSECHA COMO
HERRAMIENTA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE
PITAHAYA EN LA COSECHA Y DURANTE EL
ALMACENAMIENTO**



Alex Estuardo Erazo Lara

Director: Dr. D. Daniel Valero Garrido
Codirector: Dra. Dña. María Serrano Mula

La presente Tesis doctoral, titulada “APLICACIÓN DE ELICITORES DE ORIGEN NATURAL EN PRECOSECHA Y POSTCOSECHA COMO HERRAMIENTA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE PITAHAYA EN LA COSECHA Y DURANTE EL ALMACENAMIENTO” se presenta bajo la modalidad de **tesis por compendio** de las siguientes **publicaciones**:

- **Erazo-Lara, A. E.**, García-Pastor, M. E., Padilla-González, P. A., Serrano, M., & Valero, D. (2024). Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) Growth and Ripening as Affected by Preharvest Elicitors (Salicylic Acid, Methyl Salicylate, Methyl Jasmonate, and Oxalic Acid): Enhancement of Yield, and Quality at Harvest. *Horticulturae*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/horticulturae10050493>
- **Erazo-Lara, A.**, García-Pastor, M. E., Padilla-González, P. A., Valero, D., & Serrano, M. (2024). Preharvest Elicitors as a Tool to Enhance Bioactive Compounds and Quality of Both Peel and Pulp of Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) at Harvest and during Postharvest Storage. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(10). <https://doi.org/10.3390/ijms25105435>
- Valero, D., **Erazo-Lara, A.**, García-Pastor, M. E., Padilla-González, P. A., Agulló, V., El-Hiali, F. B., & Serrano, M. (2025). Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.): The Less Known of the Pitahayas. *Foods*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/foods14020202>



El Dr. D. Daniel Valero Garrido, director, y la Dra. Dña. María Serrano Mula, codirectora de la tesis doctoral titulada **“APLICACIÓN DE ELICITORES DE ORIGEN NATURAL EN PRECOSECHA Y POSTCOSECHA COMO HERRAMIENTA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE PITAHAYA EN LA COSECHA Y DURANTE EL ALMACENAMIENTO”**

INFORMAN:

Que D. Alex Estuardo Erazo Lara ha realizado bajo nuestra supervisión el trabajo titulado **“APLICACIÓN DE ELICITORES DE ORIGEN NATURAL EN PRECOSECHA Y POSTCOSECHA COMO HERRAMIENTA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE PITAHAYA EN LA COSECHA Y DURANTE EL ALMACENAMIENTO”** conforme a los términos y condiciones definidos en su Plan de Investigación y de acuerdo al Código de Buenas Prácticas de la Universidad Miguel Hernández de Elche, cumpliendo los objetivos previstos de forma satisfactoria para su defensa pública como tesis doctoral.

Lo que firmo/firmamos para los efectos oportunos, en Orihuela a 17 de junio de 2025

Dr. D. Daniel Valero Garrido
Director de la tesis

Dra. Dña. María Serrano Mula
Codirectora de la tesis



*Programa de Doctorado en Recursos y Tecnologías
Agrarias, Agroambientales y Alimentarias*

Dra. Dña. Juana Fernández López, Catedrática de Universidad y Coordinadora del Programa de Doctorado en Recursos y Tecnologías Agrarias, Agroambientales y Alimentarias (ReTos-AAA) de la Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH).

CERTIFICA:

Que la Tesis Doctoral titulada **“APLICACIÓN DE ELICITORES DE ORIGEN NATURAL EN PRECOSECHA Y POSTCOSECHA COMO HERRAMIENTA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE PITAHAYA EN LA COSECHA Y DURANTE EL ALMACENAMIENTO”** del autor graduado en ingeniería agronómica **D. Alex Estuardo Erazo Lara**, ha sido realizada bajo la dirección del **Dr. Daniel Valero Garrido** y la codirección de la **Dra. María Serrano Mula**, actuado como tutor de la misma el **Dr. Salvador Castillo García**. Considero que la Tesis es conforme, en cuanto a forma y contenido, a los requerimientos del Programa de Doctorado ReTos-AAA, siendo por tanto apta para su exposición y defensa pública.

Y para que conste a los efectos oportunos firmo el presente certificado en Orihuela a
17 de junio de 2025

Dra. Dña. Juana Fernández López

Coordinadora del Programa de Doctorado ReTos-AAA

CATEGORIA PUBLICACIONES

Publicación 1

Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) Growth and Ripening as Affected by Preharvest Elicitors (Salicylic Acid, Methyl Salicylate, Methyl Jasmonate, and Oxalic Acid): Enhancement of Yield, and Quality at Harvest.

Autores

Alex Erazo-Lara, María Emma García-Pastor, Pedro Padilla-González, María Serrano, Daniel Valero

Revista

Horticulturae

DOI

10.3390/horticulturae10050493

Editor

Alberto Pardossi

ISSN

2311-7524

Ámbito de la publicación (categoría JCR)

Horticultura

Cuartil

Q1

Factor de impacto

3.42 (2023)

Factor de impacto (últimos 5 años)

3.1

Rango

7/38

Publicación 2

Preharvest Elicitors as a Tool to Enhance Bioactive Compounds and Quality of Both Peel and Pulp of Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) at Harvest and during Postharvest Storage

Autores

Alex Erazo-Lara, María Emma García-Pastor, Pedro Padilla-González, Daniel Valero, María Serrano

Revista

International Journal of Molecular Sciences

DOI

10.3390/ijms25105435

Editor

Stephan Pollmann

ISSN

1422_0067

Ámbito de la publicación (categoría JCR)

Bioquímica y Biología Molecular

Cuartil

Q1

Factor de impacto

4.9 (2023)

Factor de impacto (últimos 5 años)

5.6

Rango

66/313

Publicación 3

Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.): The Less Known of the Pitahayas.

Autores

Daniel Valero, Alex Erazo-Lara, María Emma García-Pastor, Pedro Padilla-González, Vicente Agulló, Fatima Badiche El-Hiali, María Serrano.

Revista

Foods

DOI

10.3390/foods14020202

Editor

Xiangyu Sun

ISSN

2304-8158

Ámbito de la publicación (categoría JCR)

Foods Science

Cuartil

Q1

Factor de impacto

4.7 (2023)

Factor de impacto (últimos 5 años)

5.1

Rango

39/173

ÍNDICE

ESTRUCTURA TESIS DOCTORAL	1
RESUMEN	5
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Antecedentes científicos y objetivos	13
1.2. Cultivo de la pitahaya.....	16
1.2.1. Origen y clasificación taxonómica.....	16
1.2.2. Factores de producción.....	19
1.2.3. Contexto socioeconómico.....	21
1.3. Características del fruto de pitahaya	23
1.3.1. Propiedades nutricionales del fruto	23
1.3.2. Maduración y parámetros de calidad.....	24
1.3.3. Beneficios potenciales para la salud.....	26
1.3.4. Maduración y senescencia.....	27
1.4. Cambios en la calidad del fruto durante el almacenamiento poscosecha	28
1.4.1. Daño por frío o lesión por enfriamiento	28
1.4.2. Enfermedades fúngicas.....	29
1.5. Tecnologías poscosecha para el mantenimiento de la calidad de la pitahaya...	30
1.5.1. Uso de plaguicidas	30
1.5.2. Métodos físicos, químicos y biológicos.....	30
1.6. Nuevas estrategias de elicitación	31
1.6.1. Jasmonato de metilo (JaMe)	32
1.6.2. Ácido salicílico (AS)	33
1.6.3. Salicilato de metilo (SaMe)	34
1.6.4. Ácido oxálico (AO).....	35
2. OBJETIVOS.....	39
3. MATERIALES Y MÉTODOS	43
3.1. Material vegetal de precosecha y diseño experimental.....	43
3.2. Material vegetal de poscosecha y diseño experimental	45
3.3. Determinaciones analíticas.....	46
3.3.1. Calibre del fruto.....	46
3.3.2. Peso del fruto y piel, y pérdidas de peso durante la conservación	46
3.3.3. Firmeza	46

3.3.4. Color interno y externo	47
3.3.5. Sólidos solubles totales	47
3.3.6. Acidez total.....	47
3.3.7. Tasa de respiración.....	47
3.3.8 Producción de etileno.....	48
3.3.9. Compuestos bioactivos y actividad antioxidante.....	48
3.3.10. Macro y micronutrientes en la piel	49
3.3.11. Azúcares individuales y ácidos orgánicos	49
3.3.12. Análisis estadístico	50
4. PUBLICACIONES.....	53
4.1 Publicación 1	53
4.2 Publicación 2	66
4.3 Publicación 3	82
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	98
5.1. Crecimiento del fruto y rendimiento del cultivo.....	98
5.2. Parámetros de calidad durante la recolección y almacenamiento.....	100
5.3. Actividad antioxidante de la pulpa durante el almacenaje.....	104
5.4. Minerales y actividad antioxidante en la piel.....	107
5.5. Tratamiento en poscosecha y su conservación durante el almacenamiento ..	110
5.5.1. Parámetros de calidad organoléptica durante el almacenamiento	110
5.5.2. Calidad nutritiva de la fruta durante la conservación	113
5.5.3. Tasa de respiración y producción de etileno de la fruta durante la conservación	116
5.5.4. Compuestos bioactivos y actividad antioxidante en la pulpa	118
5.5.5. Compuestos bioactivos y actividad antioxidante en la piel	120
5.5.6. Azúcares y ácidos individuales en la pulpa.....	122
6. CONCLUSIONES	128
7. REFERENCIAS.....	132
8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	164
AGRADECIMIENTOS.....	165

ESTRUCTURA TESIS DOCTORAL

Esta Tesis Doctoral ha sido estructurada siguiendo el formato final de la tesis doctoral por compendio de publicaciones de la Universidad Miguel Hernández:

Resumen/Abstract: Se ha presentado una breve descripción de los resultados más relevantes y las conclusiones obtenidas en esta Tesis Doctoral.

Introducción: Se ha abordado brevemente el contexto científico y el objeto de esta Tesis Doctoral, relacionándolo con el estado del arte de los problemas de la reducida calidad y vida útil del fruto de la pitahaya amarilla. Además, se han estudiado los datos de producción de los cultivos emergentes y la importancia de estos cultivos para justificar su elección. Finalmente, se ha revisado a profundidad la experiencia del grupo de investigación en poscosecha y las estrategias de elicitación.

Objetivos: Se han establecido el objetivo principal y los objetivos específicos en esta sección.

Material y Métodos: Se ha explicado y referenciado brevemente el material vegetal, el diseño experimental de los tratamientos estudiados y los métodos analíticos utilizados para realizar los experimentos incluidos en esta Tesis Doctoral.

Publicaciones: Las 3 publicaciones que forman parte de esta Tesis Doctoral se presentan en el siguiente orden:

- **Publicación 1. Erazo-Lara, A. E.,** García-Pastor, M. E., Padilla-González, P. A., Serrano, M., & Valero, D. (2024). Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) Growth and Ripening as Affected by Preharvest Elicitors (Salicylic Acid, Methyl Salicylate, Methyl Jasmonate, and Oxalic Acid): Enhancement of Yield, and Quality at Harvest. *Horticulturae*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/horticulturae10050493>
- **Publicación 2. Erazo-Lara, A.,** García-Pastor, M. E., Padilla-González, P. A., Valero, D., & Serrano, M. (2024). Preharvest Elicitors as a Tool to Enhance Bioactive Compounds and Quality of Both Peel and Pulp of Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) at Harvest and during Postharvest Storage.

International Journal of Molecular Sciences, 25(10).
<https://doi.org/10.3390/ijms25105435>

- **Publicación 3.** Valero, D., **Erazo-Lara, A.**, García-Pastor, M. E., Padilla-González, P. A., Agulló, V., El-Hiali, F. B., & Serrano, M. (2025). Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.): The Less Known of the Pitahayas. *Foods*, 14(2).
<https://doi.org/10.3390/foods14020202>

Resultados y Discusión: Se han explicado, discutido y resumido los principales resultados obtenidos en esta Tesis Doctoral. Además, se ha realizado un análisis comparativo del efecto de los tratamientos en la calidad organoléptica, nutritiva y funcional del fruto de pitahaya amarilla, durante la recolección y almacenamiento.

Conclusiones: Se han listado las principales conclusiones obtenidas en esta Tesis Doctoral.

Referencias: Se ha referenciado la literatura usada para redactar y justificar esta Tesis Doctoral, complementando con las publicaciones presentadas.

Futuras líneas de investigación: Finalmente, se comentan algunas líneas de investigación futuras relacionadas con los trabajos realizados en esta Tesis Doctoral.

Resumen



Abstract

RESUMEN

La pitahaya amarilla se encuentra dentro de los frutos tropicales emergentes, a nivel mundial en los últimos años se ha incrementado su consumo y se debe principalmente al aumento de los ingresos y al cambio de las preferencias de los consumidores que cada vez se preocupan por una alimentación saludable y equilibrada.

Dentro de las frutas tropicales emergentes, a nivel mundial la pitahaya es una de las más comercializadas con cantidades que varían entre 800.000 toneladas a 1,2 millones de toneladas en promedio anual (período del 2019 al 2023). En Ecuador en el año 2023 las exportaciones de pitahaya rompieron récord, alcanzando USD 171,7 millones valor FOB, lo que representó un incremento del 72% respecto a 2022, consolidándose como uno de los principales productos no tradicionales de exportación. Las regiones tropicales y subtropicales de Ecuador son aptas para este cultivo, siendo la variedad amarilla (pulpa blanca y piel amarilla) con mayor extensión de cultivo (90%) en relación con la pitahaya roja. La mayor parte de las plantaciones de pitahaya amarilla se encuentra en la Provincia de Morona Santiago, lugar donde presentan los más elevados índices de productividad.

El consumo de la pitahaya amarilla, en su mayoría es como fruta fresca que no solo aporta azúcares simples y fibra dietética, sino que también es rica en antioxidantes, destacando el ácido málico y ascórbico, compuestos fenólicos (ácido gálico), carotenoides presentes en la piel (cáscara) y en menor cantidad en la pulpa. Los minerales más relevantes en la piel son el potasio, fósforo, calcio, zinc y hierro. La pitahaya es susceptible a daños por frío si se almacena a temperaturas inferiores a 10 °C, estos daños se manifiestan como oscurecimiento de la piel, manchas acuosas y aumento de la susceptibilidad a patógenos. La falta de conocimiento sobre los protocolos de manejo pre y poscosecha provoca que esté expuesto a temperaturas y humedades relativas inadecuadas, manejo brusco que ocasiona golpes, cortes y compresiones que aceleran los procesos de respiración y transpiración de la fruta, reduciendo su calidad y vida útil.

En respuesta a la creciente demanda de alimentos frente a restricciones legales sobre el uso de químicos antes y después de la cosecha, los consumidores cada vez están más preocupados en alimentarse de manera saludable. En este sentido, la aplicación de compuestos de origen natural y derivados de las plantas puede ser una alternativa. Se han realizado investigaciones relacionadas con tratamientos pre y pos-

recolección con compuestos innovadores de origen natural que puedan sustituir a los productos sintéticos para incrementar la calidad de la frutas y hortalizas. Investigaciones recientes han demostrado que el uso de tratamientos pre y poscosecha con elicitores como los jamonatos y salicilatos fortalecen y participan en numerosos procesos fisiológicos de su desarrollo, como en la defensa contra estreses bióticos y abióticos, en el sistema antioxidante del fruto y la mejora en la tolerancia al frío. Es limitada la literatura científica sobre el efecto de la aplicación pre y pos-recolección de estos compuestos sobre la vida útil y la calidad de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw). Por ello, el objetivo de esta Tesis Doctoral es aportar con soluciones frente a la problemática de la reducida vida útil y la calidad del fruto de pitahaya amarilla mediante tratamientos pre-recolección con jasmonato de metilo (JaMe), salicilato de metilo (SaMe), ácido salicílico (AS) y ácido oxálico (AO) y tratamientos pos-recolección con JaMe y SaMe. Además, se evaluó su incidencia en las propiedades de la piel como posible alternativa de uso en la industria farmacéutica y alimentaria.

Los tratamientos pre-recolección bajo invernadero, se realizaron mediante pulverización foliar en 4 momentos clave del crecimiento del fruto, la primera empezó luego de la polinización, se aplicaron cuatro elicitores (JaMe, SaMe, AS y AO), todos ellos a concentraciones de 1, 5 y 10 mM, conteniendo un 0,5% de Tween 20 como surfactante. En el segundo año se aplicaron en pre-recolección las mejores dosis del primer año de JaMe y SaMe a 0,1 mM, y AS y AO a 5 mM, conteniendo un 0,5% de Tween 20 como surfactante y se usaron las mismas épocas y frecuencias del primer año y se analizó la evolución de la calidad del fruto durante la conservación. En estos experimentos se evaluaron en la pulpa: el rendimiento, número de frutos, el peso del fruto, el porcentaje de pulpa y piel, los sólidos solubles totales (SST), la acidez titulable (AT), la firmeza, fenoles y carotenoides totales. En la piel se evaluó los compuestos fenólicos, carotenoides totales, macronutrientes y micronutrientes. En el tercer año los tratamientos post-recolección se realizaron en el Cantón Palora, Ecuador, en tanto que los análisis pos-recolección y almacenamiento se realizó en la UMH-España. Al momento de la cosecha se evaluó el peso y color de la piel de cada fruto y luego se realizó inmersiones durante 8 minutos, con SaMe y JaMe a 0,1 mM conteniendo un 0,5% de Tween 20 como surfactante, excepto los frutos control que se sumergieron en agua. Se realizaron experimentos de conservación a 2 y 10 °C durante 55 días, y se evaluó cada dos semanas la calidad organoléptica, nutritiva y funcional de la pulpa, los compuestos bioactivos y actividad antioxidante en la piel.

Los resultados de esta Tesis Doctoral han demostrado que los tratamientos pre-recolección de JaMe, SaMe, AS, AO mejoraron el tamaño del fruto, el rendimiento del

cultivo y el peso del fruto en comparación con los frutos control, aunque los resultados dependieron del elicitor probado y las dosis aplicadas. Los niveles más altos y bajos de SST se encontraron en las frutas tratadas SaMe 10 mM y JaMe 5 mM, respectivamente, mientras que el mayor contenido de AT se observó en las frutas tratadas con AS 5 mM. La firmeza solo mejoró en las frutas tratadas con JaMe. Las mejores concentraciones en el segundo año mostraron que SaMe adelantó la maduración de la fruta, presentando mayores SST, menor AT y firmeza que las frutas tratadas con JaMe, lo que demostró un proceso de maduración retardado. Todos los tratamientos indujeron una mayor concentración de polifenoles durante el almacenamiento. Respecto al uso alternativo de la cáscara como subproducto, la aplicación de elicitores naturales incrementó significativamente el contenido de polifenoles, carotenoides, macronutrientes y micronutrientes en la piel, especialmente SaMe que puede utilizarse como compuesto bioactivo en la industria alimentaria. Sin embargo, los tratamientos realizados en poscosecha del fruto de pitahaya amarilla, con SaMe a 0,1 mM y JaMe a 0,1 mM no mostraron efectos significativos en los parámetros de calidad organoléptica, nutritiva y funcional analizados, posiblemente porque las dosis y/o los tiempos de inmersión aplicados no fueron adecuados.

Finalmente, esta investigación demostró que la aplicación de elicitores naturales en precosecha, como jasmonato de metilo (JaMe), salicilato de metilo (SaMe), ácido salicílico (AS) y ácido oxálico (AO), en concentraciones específicas, constituye una estrategia efectiva y segura para mejorar la calidad, funcionalidad y vida útil del fruto de pitahaya amarilla. Con fines prácticos se podría utilizar JaMe a 1 mM (en pre y poscosecha). Estos hallazgos ofrecen una solución práctica y sostenible a una problemática global, que es producir alimentos de calidad con el menor impacto al medio ambiente.

ABSTRACT

The yellow pitahaya is among the emerging tropical fruits. In recent years its consumption has increased worldwide and this is mainly due to the increase in income and changing consumer preferences that are increasingly concerned about a healthy and balanced diet.

Within the emerging tropical fruits, worldwide pitahaya is one of the most traded fruits with quantities ranging from 800,000 tons to 1.2 million tons on average annually (period from 2019 to 2023). In Ecuador, pitahaya exports broke records in 2023, reaching USD 171.7 million FOB value, which represented an increase of 72% over 2022, consolidating its position as one of the main non-traditional export products. Ecuador's tropical and subtropical regions are suitable for this crop, with the yellow variety (white flesh and yellow skin) having the largest area under cultivation (90%) compared to red pitahaya. Most of the yellow pitahaya plantations are located in the Province of Morona Santiago where they have the highest productivity rates.

Yellow pitahaya is mostly consumed as a fresh fruit that not only provides simple sugars and dietary fiber, but is also rich in antioxidants, especially malic and ascorbic acid, phenolic compounds (gallic acid), carotenoids present in the skin (peel) and to a lesser extent in the pulp. The most relevant minerals in the skin are potassium, phosphorus, calcium, zinc and iron. Pitahaya is susceptible to chilling injury if stored at temperatures below 10 °C. This damage manifests as darkening of the skin, watery spots and increased susceptibility to pathogens. Lack of knowledge about pre- and postharvest handling protocols causes exposure to inadequate temperatures and relative humidity, rough handling that causes shocks, cuts and compressions that accelerate the fruit's respiration and transpiration processes, reducing its quality and shelf life.

In response to the growing demand for food in the face of legal restrictions on the use of pre- and post-harvest chemicals, consumers are increasingly concerned about eating healthily. In this regard, the application of naturally occurring and plant-derived compounds may be an alternative. Research has been carried out on pre- and post-harvest treatments with innovative compounds of natural origin that can replace synthetic products to increase the quality of fruits and vegetables. Recent research has shown that the use of pre- and postharvest treatments with elicitors such as hamonates and salicylates strengthen and participate in numerous physiological processes of their

development, such as defense against biotic and abiotic stresses, the antioxidant system of the fruit, and improved cold tolerance. The scientific literature on the effect of pre- and post-harvest application of these compounds on the shelf life and quality of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw) is limited. Therefore, the objective of this Doctoral Thesis is to provide solutions to the problem of reduced shelf life and quality of yellow pitahaya fruit through pre-harvest treatments with methyl jasmonate (MeJa), methyl salicylate (MeSa), salicylic acid (SA) and oxalic acid (OA) and post-harvest treatments with MeJa and MeSa. In addition, their impact on skin properties was evaluated as a possible alternative for use in the pharmaceutical and food industry.

The pre-harvest treatments under greenhouse were carried out by foliar spraying at 4 key moments of fruit growth. The first started after pollination, four elicitors were applied (MeJa, MeSa, SA and OA), all at concentrations of 1, 5 and 10 mM, containing 0.5% Tween 20 as surfactant. In the second year, the best doses of the first year of MeJa and MeSa at 0.1 mM, and SA and OA at 5 mM, containing 0.5% Tween 20 as surfactant, were applied in pre-harvest and the same times and frequencies of the first year were used, and the evolution of fruit quality during storage was analyzed. In these experiments, the following were evaluated in the pulp: yield, fruit number, fruit weight, percentage of pulp and skin, total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), firmness, phenols and total carotenoids. Phenolic compounds, total carotenoids, macronutrients and micronutrients were evaluated in the skin. In the third year, post-harvest treatments were carried out in Cantón Palora, Ecuador, while post-harvest and storage analyses were performed at UMH-Spain. At the time of harvest, the weight and color of the skin of each fruit was evaluated and then immersions were carried out for 8 minutes, with MeSa and MeJa at 0.1 mM containing 0.5% Tween 20 as surfactant, except for the control fruits that were immersed in water. Storage experiments were carried out at 2 and 10 °C for 55 days, and the organoleptic, nutritional and functional quality of the pulp, and the bioactive compounds and antioxidant activity in the skin were evaluated every two weeks.

The results of this Doctoral Thesis have shown that pre-harvest treatments of MeJa, MeSa, SA, OA improved fruit size, crop yield and fruit weight compared to control fruits, although the results depended on the elicitor tested and the doses applied. The highest and lowest TSS levels were found in MeSa 10 mM and MeJa 5 mM treated fruits, respectively, while the highest TA content was observed in SA 5 mM treated fruits. Firmness was only improved in JaMe-treated fruits. The best concentrations in the second year showed that MeSa advanced fruit ripening, presenting higher TSS, lower TA

and firmness than MeJa-treated fruits, which demonstrated a delayed ripening process. All treatments induced a higher concentration of polyphenols during storage. Regarding the alternative use of peel as a by-product, the application of natural elicitors significantly increased the content of polyphenols, carotenoids, macronutrients and micronutrients in the peel, especially MeSa which can be used as a bioactive compound in the food industry. However, postharvest treatments of yellow pitahaya fruit with MeSa at 0.1 mM and MeJa at 0.1 mM did not show significant effects on the organoleptic, nutritional and functional quality parameters analyzed, possibly because the doses and/or immersion times applied were not adequate.

Finally, this research demonstrated that the application of natural elicitors in pre-harvest, such as methyl jasmonate (MeJa), methyl salicylate (MeSa), salicylic acid (SA) and oxalic acid (OA), at specific concentrations, constitutes an effective and safe strategy to improve the quality, functionality and shelf life of yellow pitahaya fruit. For practical purposes, MeJa could be used at 1 mM (pre- and postharvest). These findings offer a practical and sustainable solution to a global problem, which is to produce quality food with the least impact on the environment.

1. Introducción



1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes científicos y objetivos

La pitahaya amarilla es una fruta exótica también conocida como fruta de dragón, en los últimos años ha crecido su demanda y es valorada por su sabor, contenido nutricional y propiedades funcionales, las cuales pueden aportar beneficios para la salud. En su mayoría la pulpa se consume como fruta fresca, pero también se utiliza para hacer jugos, helados, mermeladas y postres.

La pitahaya es un fruto tropical conformado por estructuras vivas y, por tanto, se ve afectada por el manejo pre y poscosecha. La falta de conocimiento sobre estos protocolos provoca que esté expuesto a temperaturas y humedades relativas inadecuadas, manejo brusco que ocasiona golpes, cortes y compresiones, que aceleran los procesos de respiración y transpiración de la fruta, reduciendo su calidad y vida útil.

Esta tesis doctoral se enmarca en la línea de investigación del Grupo de Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la Universidad Miguel Hernández de Elche, que en los últimos años ha estado desarrollando investigaciones sobre la aplicación de elicitores en pre y poscosecha.

El objetivo general de este Proyecto de Tesis es aportar con soluciones sostenibles ante el problema de la conservación y vida útil reducida de la fruta de pitahaya amarilla, mediante la aplicación de tratamientos pre y poscosecha con jasmonato de metilo (JaMe), salicilato de metilo (SaMe), ácido salicílico (AS) y ácido oxálico (AO), para mantener la calidad de la fruta durante un mayor período de tiempo, siendo los beneficiarios directos los productores y exportadores de esta fruta, debido a que podrían acceder a mercados internacionales más distantes y atractivos.

Por otro lado, el reto del agro de producir alimentos de calidad, en mayor volumen y con el menor impacto al medio ambiente, cada vez es más recurrente, situación que obliga a ver opciones amigables con el medio ambiente como son los elicitores naturales, una alternativa para disminuir el uso de productos sintéticos, asegurando la salud del productor y consumidor, conscientes del cambio climático.

Es por ello, que es un desafío ineludible para los investigadores en buscar alternativas para la agricultura que sean amigables con el medio ambiente, que sean capaces de mantener o mejorar la calidad de la fruta en pre y poscosecha. En los últimos años se ha investigado el uso de productos naturales innovadores sobre el proceso del desarrollo del fruto en la planta, la evolución de la maduración y los cambios relacionados con la pérdida de la calidad durante el almacenamiento poscosecha en varias frutas y hortalizas, pero son limitadas las investigaciones en la pitahaya amarilla.

En el ámbito de esta Tesis Doctoral, el Grupo de Investigación de Post-Recolección de Frutas y Hortalizas, ha levantado información científica sobre el uso de elicitores naturales y su efecto en el aumento de la calidad de la cosecha y el mantenimiento de la calidad organoléptica, nutricional y funcional durante el almacenamiento en frutas como limón, granada, ciruela, y en hortalizas como la alcachofa, tomate y pimiento. Además del tratamiento precosecha y poscosecha con melatonina y GABA en frutas como la granada y cereza. Recientemente, se han utilizado poliaminas, como prutescina, espolmidina y barisinoesteroides, en tratamientos precosecha en frutas como la naranja sanguina, la cereza y granada. Por otro lado, se han estudiado los aceites esenciales, carvacrol y timol, para el control de enfermedades fúngicas en limones. También se ha investigado en la combinación de melatonina y GABA (ácido γ -aminobutírico) como bioestimulante para frutas no climatéricas para activar los mecanismos antioxidantes y mejorar la resistencia fisiológica en poscosecha.

En los proyectos antes mencionados, se han obtenido resultados satisfactorios para mantener la calidad de la fruta u hortaliza, por lo que se continúa con esta línea de investigación, pero aplicada en un fruto diferente como es la pitahaya amarilla para incrementar la vida útil del fruto con los mejores estándares de calidad.

La hipótesis principal de esta Tesis Doctoral es que la aplicación de los elicitores de origen natural (jasmonato de metilo, salicilato de metilo, ácido salicílico y ácido oxálico) durante el desarrollo del fruto de pitahaya en la planta, como después de la cosecha, induciría efectos beneficiosos y permitiría obtener frutos con menos fisiopatías, mayor coloración, mayor contenido de compuestos bioactivos y más resistentes al deterioro, lo que llevaría a aumentar el período de almacenamiento con una calidad óptima para el consumo. Por lo tanto, la estrategia precosecha basada en la aplicación de éstos elicitores induce un metabolismo más activo en comparación con la fruta sin tratamiento, y almacenamiento más prolongado en refrigeración a las

temperaturas óptimas. Esto aportará a una disminución de daños por frío a menudo asociados a la conservación de la pitahaya, ya sea para mercado nacional o mercados internacionales. Los resultados ayudarán a las empresas productoras de pitahaya a ofertar productos con mayor vida útil con mejores estándares de calidad.

1.2. Cultivo de la pitahaya

1.2.1. Origen y clasificación taxonómica

La pitahaya también conocida como fruta del dragón, es una cactácea originaria de América tropical y subtropical, especialmente de las regiones de Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú (Mitra Sisir, 2024; Valero et al., 2025). El término genérico «pitahaya» incluye varias especies diferentes, lo que puede generar confusión (Le Bellec et al., 2006). Datos históricos indican que pitahaya es una palabra que proviene de Haití, donde significa "fruta escamosa"; mientras que otros datos de México consideran que la palabra es quechua, establecida por los conquistadores españoles (Valero et al., 2025).

La pitahaya recibe diversos nombres según el país donde se produce, entre los cuales se destacan: pitajaya o pitaya (Colombia), Belle de nuit (Francia), flor de cáliz (Venezuela, Puerto Rico), Dragon fruit, Belle of the night (Países anglohablantes), Distelbrin (Alemania), piataya (Guatemala), pitahaya (Ecuador, Perú), junco tapatío, pitahaya orejona o tasajo (México) (Verona-Ruiz et al., 2020; Nunes et al., 2014).

La clasificación taxonómica de la pitahaya amarilla corresponde al Reino: Plantae, División: Magnoliophita, Clase: Magnoliopsida, Orden: Caryophyllales, Familia: Cactaceae, Género: *Selenicereus* Especie: *megalanthus*, Categoría: Fruta, Nombre científico: *Selenicereus megalanthus* (syn. *Hylocereus megalanthus*) (Valero et al., 2025).

En la actualidad se reconoce la existencia de más de una especie de pitahaya, dado que la intervención y la influencia humana han dado lugar a una diversidad que abarca aspectos tanto morfológicos como organolépticos (Verona-Ruiz et al., 2020). En los últimos años, el cultivo de pitahaya se ha expandido a otros países con condiciones de suelo y clima similares a sus regiones de origen, lo que ha permitido su adaptación adecuada (Valero et al., 2025).

Las especies de *Hylocereus* cultivadas en todo el mundo son principalmente *H. undatus*, *H. monacanthus* y *H. megalanthus* (Ortiz-Hernández & Carrillo-Salazar, 2012). Comercialmente se destacan tres géneros y especies: *Selenicereus undatus* (piel roja, pulpa blanca), *Selenicereus costaricensis* (piel y pulpa rojas) y *Selenicereus megalanthus*, conocida como pitahaya amarilla (piel amarilla y pulpa blanca), esta última es predominante en la producción colombiana (Mitra Sisir, 2024; Morillo et al., 2023). En Ecuador se produce *Selenicereus undatus*, pero la mayor parte de la producción es la pitahaya amarilla del ecotipo palora *Selenicereus megalanthus* Haw (piel de color

amarillo y la pulpa blanca), que es de mayor tamaño y peso comparada la pitahaya amarilla producida en Colombia.

Las regiones tropicales y subtropicales son aptas para este cultivo. En Ecuador la pitahaya amarilla se cultiva en las provincias de Imbabura, noroccidente de Pichincha, Morona Santiago, Orellana y Sucumbíos, mientras que la pitahaya roja se cultiva a lo largo de la costa ecuatoriana.

La pitahaya amarilla en Ecuador se desarrolla en pisos altitudinales entre 308 y 2.900 m, con temperaturas de 18 a 25 °C, la precipitación entre 1.200 y 2.000 mm de lluvia al año, humedad relativa de 70-80 % (Vargas, et al., 2020). Puede ser cultivada en un amplio rango de suelos, pero el factor más importante es el buen drenaje, ya que no tolera el anegamiento. Los suelos francos, arcillosos a franco-arenosos con altos contenidos de materia orgánica y con profundidad efectiva de 50cm, con pH entre 5,5-6,5, son adecuados para el desarrollo del cultivo (Vargas et al., 2020; Vásquez-Castillo et al., 2016).

Se pueden realizar ocho cosechas al año, distribuidas entre cosechas altas, medias y bajas, siendo las épocas de cosechas cíclicas, considerándose un problema para el productor, ya que al momento de la venta el precio es menor, debido a relación oferta-demanda. Las cosechas por lo general están distribuidas en los meses de enero, febrero, marzo, junio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

Las pitahayas son plantas hemiepífitas y absorben agua tanto por las raíces del suelo, como por las raíces adventicias que se desarrollan a lo largo del tallo, estas raíces son características de las cactáceas que tienen cladodios (pencas) (Vargas et al., 2020).

El tallo denominado cladodio es suculento, la superficie exterior es gruesa, son triangulares y se guían en tutores ya sean estos vivos o inertes Las areolas o yemas son redondeadas de color blanco, se desarrollan en las ondulaciones de las costillas del tallo, y presentan algunas espinas cortas, se ubican a distancias de 3 a 4 cm y en las mimas se insertan de 1 a 3 espinas (Vargas et al., 2020). (Figura 1)

Las flores son de un día, se abren durante la noche y cierran en la mañana, en promedio tienen 40 cm de longitud (ovario, estigma y estilo) y 24 cm de diámetro (corola, pétalos y sépalos). La flor de la pitahaya es hermafrodita por lo que se

autofecunda, pero también ocurrir polinización cruzada (Vargas et al., 2020). (Figura 1)

El fruto es una baya globosa o subglobosa muy jugosa, la pitahaya amarilla presenta un ciclo fenológico del fruto que varía de 120 a 135 días desde el apareamiento floral hasta la cosecha. La pitahaya amarilla produce frutos alargados de alrededor de 15 cm de diámetro longitudinal o polar y el diámetro ecuatorial es de 6 a 10 cm, el peso varía entre 350 a 450 g (Diéguez-Santana et al.,2020). Las semillas son numerosas aproximadamente 650 por fruto y su tamaño varía entre 2 y 4 mm, son de color negro o café brillantes, con funículo largo, esta última estructura une a la semilla con la pared interna del fruto y están rodeadas por una sustancia pegajosa (Vargas et al., 2020). (Figura 1)

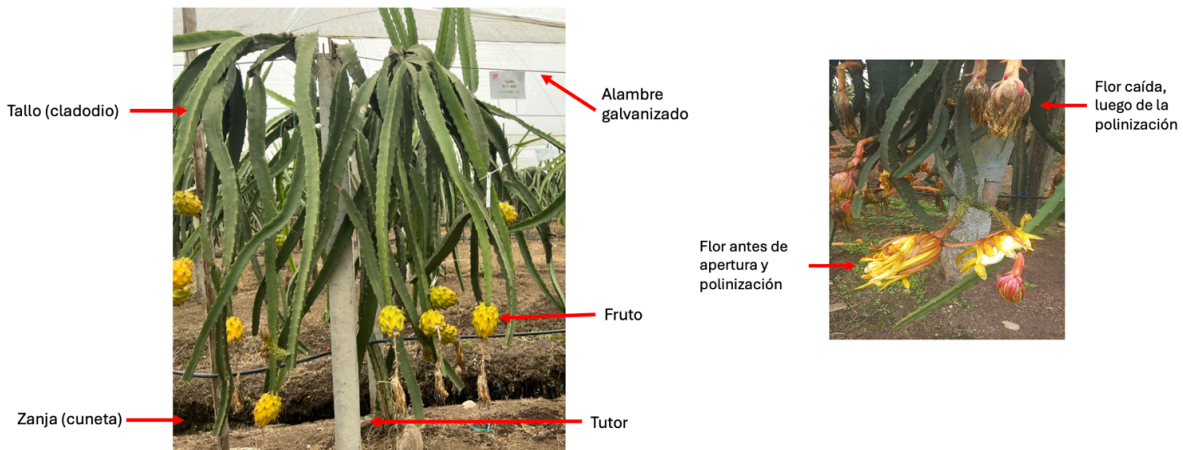


Figura 1. Pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw), bajo invernadero

Fuente: Imagen propia

1.2.2. Factores de producción

Para el establecimiento del cultivo se debe considerar que el terreno tenga pendientes moderadas, buen drenaje natural, en caso de ausencia de drenaje se debe construir drenajes artificiales para evitar problemas fitosanitarios (Vargas et al., 2020; Kondo et al., 2013). Se manejan 1.250 plantas/ha (2 m entre planta x 4 m entre hilera), 1 000 plantas/ha (2,5 m entre plantas y 4 m entre hileras) y 833 plantas (3 m entre planta x 4 m entre hilera) (Vargas, et al., 2020). Para el soporte de la planta se debe establecer un tutor, en Ecuador se utiliza el bambú gigante (*Dendrocalamus giganteus*) de 3 m de largo y 15 a 20 cm de diámetro, postes del árbol de chonta (*Astrocaryum standleyanum*) de 3 m de largo, y postes de cemento de 3 m, los mismos que se deben enterrar 1 m en el suelo para tener un tutor de una altura de 2 m. En la punta del tutor a lo largo de las hileras se ubicará un alambre galvanizado número 12 y al final de cada hilera se debe ubicar un soporte para evitar el pandeo del alambre. (Figura 1)

La propagación de la pitahaya se puede realizar de forma sexual o asexual. Para la forma sexual se utiliza las semillas de frutos, y en este método existe mucha variabilidad genética y tarda mucho tiempo para obtener la primera cosecha, por lo que es más común la reproducción asexual que contempla la utilización de esquejes que pueden variar de 0,70 a 1 m de largo. Para los esquejes es aconsejable usar brotes de mayor a 2 años, que luego del proceso de secamiento de la herida y desinfección del material vegetativo se trasplanta en el lugar definitivo. La pitahaya que es propagada de manera asexual (esqueje), no posee una raíz axonomorfa o pivotante, sino que posee raíces adventicias que requieren de abundante materia orgánica en el suelo.

Luego del trasplante, mientras la planta va desarrollándose, la rama de pitahaya debe estar siempre sujeta al tutor, se usa una cinta o piola con el objetivo de que se mantenga erguida hasta que llegue a una altura de 2 m, donde se encuentra el alambre galvanizado, para su efecto se debe realizar podas de formación continuas para evitar que la planta se extienda hacia los costados antes de que llegue a una altura de 2m. Existe diferentes tipos de podas: la poda de formación, poda sanitaria y poda de producción. La primera permite dar forma a la arquitectura de la planta y quitar ramas improductivas; la segunda, elimina las ramas enfermas o mal formadas; y la tercera, elimina los brotes apicales para madurar las ramas, lo que permite inducir nuevos brotes y la formación de los frutos, esta es quizá la poda más importante en los cultivos comerciales (Vargas et al., 2020).

La cosecha de la pitahaya empieza luego de 18 a 24 meses de realizado el trasplante, y va a depender de la especie, condiciones ambientales y del manejo del cultivo. La productividad tiene un incremento promedio de 3000 kg / ha / año, hasta que alcanzar un rendimiento anual de fruta de 10 toneladas (Diéguez-Santana et al., 2020)

En la cosecha a las especies de pitahaya amarilla se deben eliminar las espinas para tener facilidad al momento del corte de la fruta y evitar daños a la persona que está realizando esta labor. El desespinado es una etapa muy importante y delicada que amerita mucho cuidado, ya que el proceso ineficaz puede causar daños mecánicos al fruto, lo que ocasiona la entrada de microorganismos (Kondo et al., 2013; Vargas et al., 2020). La recolección de la fruta se realiza a mano, habitualmente una persona va desespinando y otra va cortando el fruto o una persona puede realizar estas dos actividades al mismo tiempo. Los frutos se cortan con un pedúnculo de 15 a 20 mm de longitud. (Figura 2)



Figura 2. Labor de cosecha fruto de pitahaya amarilla
Fuente: Imagen propia

La maduración de los frutos ocurre primero en la parte basal y va ascendiendo a las partes medias y altas. La actividad de cosecha debe realizarse en la mañana desde las 08:00 a 11:00 y en las tardes después de las 15:00 horas, para evitar problemas de deshidratación de los frutos. Se debe recolectar la fruta procurando que tenga el mismo grado de madurez, evitando dejar frutos maduros en las plantas

para prevenir pérdidas por el ataque de plagas (Kondo et al., 2013; Vargas et al., 2020).

1.2.3. Contexto socioeconómico

La rápida expansión del comercio mundial de frutas tropicales emergentes aumentó de USD 140 millones (año 2000) a USD 3.700 millones (año 2021), esto se debe principalmente al aumento de los ingresos y al cambio de las preferencias de los consumidores en los mercados de ingresos altos y emergentes, junto con una mejor gestión del transporte y de la cadena de suministro. En las zonas productoras de frutas tropicales emergentes pueden representar un papel importante no sólo para la seguridad alimentaria y la nutrición, sino también como fuente de ingresos (FAO, 2024).

Dentro de las frutas tropicales emergentes, a nivel mundial la pitahaya es una de las frutas más comercializadas con cantidades que varían entre 800.000 toneladas a 1,2 millones de toneladas en promedio anual, en el período del 2019 al 2023 (FAO, 2024).

En Ecuador en el año 2023 rompió récord en exportaciones, alcanzando USD 171,7 millones valor FOB, lo que representó un incremento del 72% respecto a 2022, consolidándose como uno de los principales productos no tradicionales de exportación (MAG, 2024)

La apertura del mercado de Estados Unidos en 2017, el mercado peruano a finales de 2022, y más recientemente el mercado chino en abril de 2023, han favorecido las exportaciones, siendo Estados Unidos el mayor destino de la pitahaya ecuatoriana, recibiendo el 80% de la producción, equivalente a 137,1 millones de dólares, junto a otros mercados como: Hong Kong (6,55%), España (3,53%), Perú (2,35%) y Canadá (1,85%) (MAG, 2024).

En Ecuador existen 7.216,73 hectáreas de pitahaya (amarilla y roja) en producción (Sanmiguel et al., 2025), la Provincia de Morona Santiago tiene la mayor superficie cultivada (2.400 ha) de pitahaya amarilla (MAG, 2024), ubicándose la mayor producción en el Cantón Palora, donde la fruta de pitahaya amarilla desde el año 2018 tiene denominación de origen como "Pitahaya Amazónica de Palora" (SENADI, 2018). Sin embargo, existe otras provincias productoras como: Pichincha, Imbabura,

Bolívar, Loja, Santo Domingo, Manabí, Los Ríos, Santa Elena, Guayas y El Oro (Figura 3) (MAG, 2024).

La producción de pitahaya en Ecuador es una actividad que permite el empleo a más de 15.000 familias, las mismas que cultivan dos variedades principales la pitahaya amarilla (90% de la producción) y la pitahaya roja (MIPRO, 2023). A nivel global, la pitahaya representa una oportunidad de diversificación agrícola para pequeños y medianos productores, contribuyendo a la seguridad alimentaria y al desarrollo rural (Diéguez-Santana et al., 2020).

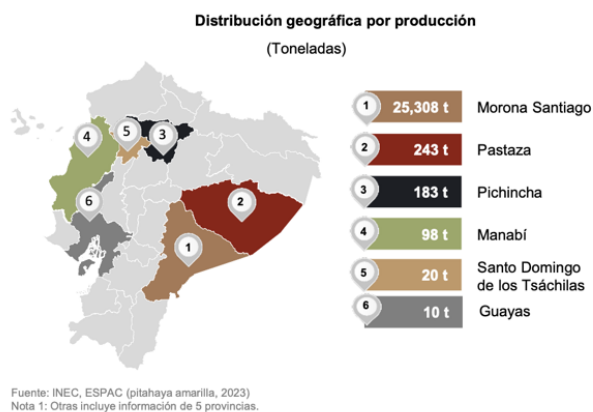


Figura 3. Distribución geográfica de la producción en Ecuador
Fuente: MAG, 2024

A pesar del éxito en las exportaciones existen aspectos que se deben tomar en cuenta como: cumplir con las normativas fitosanitarias en mercados internacionales exigentes, mantener la cadena de frío en cada uno de los eslabones de la cadena productiva y alternativas tecnológicas para romper ciclos de producción y de esta manera mermar el efecto de las fluctuaciones de los precios nacionales e internacionales.

1.3. Características del fruto de pitahaya

1.3.1. Propiedades nutricionales del fruto

El fruto de la pitahaya es una baya ovalada con una piel escamosa de colores que varían entre rojo, rosa y amarillo, dependiendo de la especie. La pulpa puede ser blanca, roja o púrpura y contiene numerosas semillas pequeñas y negras. Nutricionalmente, la pitahaya es baja en calorías y rica en fibra dietética, vitamina C, calcio, fósforo y antioxidantes, lo que la convierte en una opción saludable en la dieta (Cañar et al., 2014).

Entre los compuestos químicos que se encuentran en la pitahaya están las betalaínas identificados como un fuerte antioxidante natural, de igual manera existen elementos bioactivos tales como vitaminas, pigmentos y compuestos fenólicos denominados metabólicos secundarios que están relacionados a los sistemas de defensas de las plantas (Esquivel & Araya 2012; Huachi et al., 2015; Nunes et al., 2014).

La pitahaya amarilla no solo aporta azúcares simples y fibra dietética, sino que también es rica en antioxidantes, minerales esenciales y vitaminas, siendo un alimento funcional con potencial comercial muy alto. Su inclusión en la dieta diaria puede contribuir a una alimentación saludable y equilibrada. El fruto de pitahaya amarilla destaca por su bajo contenido calórico y alto contenido en agua (alrededor de 85-90%), lo que la convierte en una fruta refrescante y adecuada para dietas hipocalóricas. Según varios estudios realizados en Colombia y Perú, la pitahaya tiene un alto contenido de agua (86-89%), carbohidratos (8-13%) principalmente azúcares simples como la glucosa y fructosa, proteínas (0.4-1.2%), grasas (0.1-0.6%) en su mayoría insaturadas, fibra dietética (0.9-1.6%), cenizas-minerales totales (0.4-0.6%). Este fruto tiene pH entre 4.0 y 4.4, y un contenido de sólidos solubles totales (°Brix) entre 13 y 17, lo que explica su sabor dulce característico (Cañar et al., 2014; Jiménez et al., 2017).

La pitahaya amarilla es una fuente interesante de antioxidantes, destacando la vitamina C (18-25 mg/100g), con funciones antioxidantes importantes, carotenoides (incluyendo beta-caroteno), compuestos fenólicos (hasta 250 mg equivalentes de ácido gálico por 100g de fruta) y flavonoides presentes en la cáscara y en menor cantidad en la pulpa (Torres-Grisales et al., 2017). Los minerales más relevantes en la pitahaya amarilla incluyen al calcio (6-10 mg/100g), hierro (0.3-0.6 mg/100g), fósforo

(14–22 mg/100g) y potasio (180–300 mg/100g) expresado en peso seco. Estos valores pueden variar según el estado de madurez y el manejo agronómico (Obregón-La Rosa et al., 2022).

La pitahaya amarilla posee mucílagos y pectinas que actúan como prebióticos, y se han identificado ácidos orgánicos como: ácido cítrico, ácido málico, ácido ascórbico como la vitamina C (Otálora et al., 2023). El mucílago extraído de la cáscara ha mostrado propiedades antioxidantes, emulsionantes y de retención de agua, lo que la hace atractiva para aplicaciones farmacéuticas y alimentarias (Otálora et al., 2023). Además, investigaciones recientes destacan su uso como ingrediente funcional en panadería y galletas por su aporte de fibra dietética y antioxidantes (Salous et al., 2020).

1.3.2. Maduración y parámetros de calidad

La maduración de la fruta de pitahaya (*Hylocereus spp.* y *Selenicereus spp.*) implica una serie de transformaciones fisiológicas, fisicoquímicas y sensoriales que determinan su calidad final y aceptabilidad para el consumo. Durante este proceso, se observa un aumento progresivo en el contenido de azúcares solubles (°Brix), acompañado por una disminución de la acidez titulable, lo que mejora significativamente el sabor dulce característico del fruto (Jiménez et al., 2017; Verona-Ruiz et al., 2020).

A nivel visual, la intensificación del color de la cáscara y la pulpa es un indicador claro del avance de la madurez, siendo influenciado por la acumulación de pigmentos como las betalaínas (Shah et al., 2023). Al mismo tiempo, la firmeza del fruto disminuye conforme avanza la maduración, lo que puede afectar su vida útil si no se maneja adecuadamente en la poscosecha (Xie et al., 2022).

La pitahaya es una fruta estacional, por lo que su cosecha se realiza en determinadas épocas del año, lo que genera periodos de escasez y sobreoferta que influye directamente en el precio. La cosecha de la fruta se realiza en diferentes grados de madurez, todo esto depende del mercado en el que se realizará la comercialización. Generalmente, para exportación se requiere en estado de maduración que puede fluctuar desde el grado uno al dos para exportación y para consumo nacional se recolecta en estados de maduración cuatro y cinco (Figura 4).



Figura 4. Carta de color del fruto de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw)
Fuente: Imagen propia

El contenido de sólidos solubles totales en la pitahaya es una característica importante que determina el dulzor de la fruta. Se han encontrado valores altos de sólidos solubles en la pitahaya, lo que indica un alto contenido de azúcares y contribuye a su sabor dulce (Vásquez-Castillo et al., 2016). La glucosa y la fructosa son los principales azúcares predominantes en la pitahaya (Ochoa et al., 2012).

El perfil de sabor de la pulpa está influido por el pH, que oscila entre 4,3 y 4,7, y la acidez titulable que varía entre 2,4 y 3,0 en las variedades agridulces, mientras que, en las dulces, la acidez málica se sitúa entre 0,62 y 0,5% (Mercado-Silva, 2018). Estos elementos resaltan la importancia de la madurez y los componentes químicos en la formación del sabor y la calidad general de la pitahaya.

La respiración, también conocida como oxidación biológica, se refiere al proceso de descomposición oxidativa de moléculas complejas, como almidón, azúcares y ácidos orgánicos, presentes en las células vegetales. Esta transformación conduce a la formación de compuestos más simples como CO_2 y H_2O , generando energía y moléculas intermedias necesarias para mantener las reacciones celulares y la integridad de las membranas (Blandón, 2012).

La actividad respiratoria en los frutos guarda una estrecha relación con la maduración, calidad y duración después de la cosecha. Comprender el patrón respiratorio de un fruto en particular permite anticipar el momento idóneo para su cosecha con mayor precisión (Guadarrama & Peña, 2013). Aspectos como la textura, contenido de carotenoides, sólidos solubles totales y acidez titulable son indicadores

comúnmente empleados para determinar la madurez óptima en la recolección de frutos.

El etileno, un compuesto orgánico esencial en los procesos fisiológicos de las plantas, es generado tanto por tejidos vegetales como por microorganismos. Su función clave radica en regular el crecimiento, desarrollo, senescencia y abscisión de órganos vegetales. Su producción aumenta durante la maduración del producto, impactos físicos, actividad microbiana, aumento de temperatura y estrés hídrico (Kader, 2002). Los efectos de esta fitohormona dependen de la sensibilidad a dicho gas, del tiempo de exposición, de la concentración, de la composición atmosférica y de la temperatura de conservación (Salveit, 1999).

Los compuestos fenólicos, una categoría diversa de metabolitos vegetales secundarios, abarcan desde ácidos fenólicos simples hasta flavonoides complejos. Reconocidos por sus beneficios, incluyendo la prevención de ciertos cánceres hormonales, su destacada actividad antioxidante y propiedades antibacterianas los hacen relevantes en la salud humana (Sidhu et al., 2007).

Los carotenoides son pigmentos liposolubles naturales sintetizados por las plantas, algas y bacterias fotosintéticas. Diversos factores influyen en la presencia de carotenoides, incluyendo el genotipo, el manejo precosecha, el estado de madurez y las operaciones de procesamiento y conservación. La temperatura e intensidad de la luz, en particular, tienen una gran influencia en el contenido de los carotenoides (Carranco et al., 2011).

1.3.3. Beneficios potenciales para la salud

Diversos estudios han demostrado que tanto la pulpa como la cáscara de la fruta de pitahaya contienen una amplia gama de compuestos bioactivos, tales como polifenoles, flavonoides, betalaínas, vitamina C y ácidos orgánicos, que actúan como potentes antioxidantes (Verona-Ruiz et al., 2020; Le, 2022; Shah et al., 2023). Además, contiene una cantidad significativa de fibra que beneficia el sistema digestivo y ayuda a regular los niveles de azúcar en la sangre (Vera & Llerena, 2021).

El consumo regular de pitahaya puede ayudar a reducir el estrés oxidativo, prevenir el daño celular y contribuir a la protección contra enfermedades crónicas como diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer, gracias a su capacidad para neutralizar radicales libres (Al-Mekhlafi et al., 2021; Pasko

et al., 2021). Además, su contenido de fibra soluble, especialmente presente en la cáscara, favorece la salud digestiva y ayuda en el control del colesterol y la glucosa en sangre (Jiang et al., 2021; Le, 2022).

Estudios recientes también han resaltado las propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas e inmunomoduladores de los extractos de pitahaya, así como su potencial uso en el desarrollo de alimentos funcionales, suplementos nutracéuticos y productos farmacéuticos (Nishikito et al., 2023; Ferreira et al., 2023). Incluso los subproductos como las cáscaras han sido propuestos como ingredientes funcionales por su riqueza en pigmentos naturales y fibra dietética (Tripathi et al., 2023).

1.3.4. Maduración y senescencia

La maduración de la fruta de pitahaya es un proceso fisiológico complejo que transforma el fruto desde un estado inmaduro hasta alcanzar su punto óptimo de consumo. Este proceso implica cambios profundos en la composición bioquímica, estructura celular y características sensoriales de la fruta (Jiménez et al., 2017; Verona-Ruiz et al., 2020).

Además, la maduración va acompañada de la degradación de la clorofila y la síntesis de pigmentos, como las betalainas y los carotenoides, que intensifican el color de la cáscara y la pulpa, sirviendo como indicadores visuales del estado de madurez. También disminuye la firmeza del fruto debido al reblandecimiento de la pared celular, y se incrementan compuestos bioactivos como antioxidantes, fenoles y vitamina C (Huang et al., 2021).

Una vez alcanzada la madurez de consumo, el fruto entra en la etapa de senescencia, un proceso irreversible caracterizado por el deterioro progresivo de la calidad del fruto. Durante la senescencia, se intensifican los procesos oxidativos, disminuye la actividad enzimática beneficiosa, y se produce la pérdida de firmeza, marchitamiento, pardeamiento y reducción de compuestos funcionales (Valero & Serrano, 2010). Este proceso es acelerado por factores como altas temperaturas, daños mecánicos o almacenamiento prolongado.

Para retrasar la senescencia y extender la vida útil del fruto, se han investigado diversas estrategias de manejo pre y poscosecha, como el uso de elicitores naturales como: ácido salicílico, ácido oxálico, jasmonato de metilo, salicilato de metilo, entre otros, que ayudan a fortalecer los sistemas antioxidantes de la fruta y mantener su

calidad durante la postcosecha (García-Pastor et al., 2020a; García-Pastor et al., 2020b; Giménez et al., 2015; Zapata et al., 2014; Serna-Escolano et al., 2021).

1.4. Cambios en la calidad del fruto durante el almacenamiento poscosecha

1.4.1. Daño por frío o lesión por enfriamiento

La pitahaya es susceptible a daños por frío si se almacena a temperaturas inferiores a las recomendadas (generalmente por debajo de 6 °C). Estos daños se manifiestan como oscurecimiento de la piel, manchas acuosas y aumento de la susceptibilidad a patógenos. Es fundamental mantener condiciones óptimas de temperatura y humedad durante el almacenamiento para prevenir estas lesiones (Vera & Llerena et al., 2021).

El daño por frío o lesión por enfriamiento (chilling injury) es un tipo de estrés fisiológico que afecta a frutos tropicales y subtropicales, como la pitahaya (*Hylocereus spp.* y *Selenicereus spp.*), cuando se almacenan a temperaturas por debajo de su umbral crítico (generalmente por debajo de 10 °C), sin llegar a congelarse. Este fenómeno provoca alteraciones estructurales y metabólicas que reducen significativamente la calidad y la vida útil del fruto durante la poscosecha (Gong et al., 2022; Chen et al., 2019).

Los síntomas típicos del daño por frío en pitahaya incluyen: manchas acuosas o translúcidas en la cáscara, pardeamiento interno y externo del fruto, pérdida de firmeza y marchitamiento prematuro, disminución del contenido de azúcares y antioxidantes y desarrollo de aromas desagradables y menor aceptación sensorial (Gong et al., 2022; Zhao et al., 2021; Chen et al., 2019).

A nivel celular, la lesión se debe al desequilibrio en el metabolismo oxidativo, que genera especies reactivas de oxígeno (ROS) y compromete la integridad de las membranas celulares. Como consecuencia, hay pérdida de electrolitos, reducción de la actividad enzimática beneficiosa y aceleración de la senescencia (Wang et al., 2021; Zhao et al., 2021).

Para mitigar este daño, investigaciones recientes han demostrado que el uso de tratamientos pre-cosecha con elicitores como el ácido salicílico, ácido oxálico o jasmonato de metilo, fortalece el sistema antioxidante del fruto y mejora su tolerancia al frío. Estos tratamientos ayudan a conservar la calidad, disminuir el daño oxidativo y

extender el tiempo de almacenamiento en frío (Chen et al., 2019; Dhami et al., 2022; Gong et al., 2022).

1.4.2. Enfermedades fúngicas

Las enfermedades fúngicas en poscosecha representan uno de los principales factores que afectan la calidad, vida útil y valor comercial de la pitahaya (*Hylocereus spp.* y *Selenicereus spp.*). Estas enfermedades se desarrollan principalmente durante el almacenamiento, transporte y comercialización, cuando las condiciones de humedad, temperatura y ventilación son favorables para el crecimiento de hongos patógenos.

Entre los patógenos fúngicos más comunes en pitahaya se encuentran: *Botrytis cinerea* (moho gris), *Alternaria spp.*, *Fusarium spp.*, *Colletotrichum spp.* (antracnosis) y *Aspergillus spp.*, que también pueden producir micotoxinas en condiciones inadecuadas.

Los hongos en poscosecha pueden provocar lesiones blandas, acuosas y negruzcas en la piel del fruto de granada, así como pardeamiento interno, pérdida de firmeza y mal olor, lo que reduce drásticamente su aceptabilidad y comercialización (García-Pastor et al., 2020a).

El desarrollo de estas enfermedades está estrechamente relacionado con heridas mecánicas durante la cosecha, el manejo poscosecha deficiente y la alta humedad relativa durante el almacenamiento. Además, el contenido de azúcares y agua en la pitahaya madura la hace particularmente susceptible a la colonización fúngica.

Para controlar estas enfermedades, se han estudiado alternativas sostenibles como: aplicaciones pre-cosecha de elicitores naturales (ácido salicílico, metil salicilato, metil jasmonato), que estimulan el sistema de defensa antioxidante del fruto y reducen la incidencia de infecciones (García-Pastor et al., 2020b). También tratamientos poscosecha con compuestos bioactivos o recubrimientos naturales inhiben el crecimiento de hongos sin recurrir a fungicidas sintéticos (de Faria et al., 2022).

1.5. Tecnologías poscosecha para el mantenimiento de la calidad de la pitahaya

1.5.1. Uso de plaguicidas

El uso de pesticidas en poscosecha es una práctica tradicional orientada a controlar enfermedades fúngicas, bacterianas y la infestación por insectos durante el almacenamiento, transporte y comercialización de frutas. En el caso de la pitahaya (*Hylocereus spp.* y *Selenicereus spp.*), cuyo contenido de agua y azúcares la hace vulnerable al deterioro microbiológico, esta práctica busca prolongar la vida útil y preservar la calidad comercial. No obstante, el uso de plaguicidas sintéticos en poscosecha ha sido motivo de creciente preocupación debido a la posible presencia de residuos tóxicos en el alimento fresco que pueden tener riesgos para la salud humana (alergias o toxicidad crónica) por consumo acumulado de residuos, impactos ambientales negativos, como contaminación del agua y del suelo y la generación de resistencia en patógenos por uso repetido (Ferreira et al., 2023; Tripathi et al., 2023; Valero & Serrano, 2010).

Por estas razones, tanto a nivel nacional como internacional (normativas de la Unión Europea y Codex Alimentarius), se han establecido límites máximos de residuos (LMRs) y se exige el cumplimiento de períodos de carencia y el uso de productos registrados y autorizados para cada cultivo.

En respuesta a estas limitaciones y a la creciente demanda de alimentos más seguros, en frutas como la pitahaya se ha promovido el uso de alternativas más sostenibles en poscosecha. Los elicitores naturales (ácido salicílico, jasmonato de metilo, ácido oxálico) son una alternativa que estimulan defensas antioxidantes naturales del fruto (García-Pastor et al., 2020a).

1.5.2. Métodos físicos, químicos y biológicos

Los métodos físicos incluyen técnicas que modifican las condiciones externas del ambiente del fruto para ralentizar su senescencia. La refrigeración controlada, es la estrategia más común, aunque temperaturas por debajo de 10 °C pueden causar daño por frío en la pitahaya (Wang et al., 2021). La radiación UV-C, inhibe el desarrollo de hongos poscosecha y activa defensas antioxidantes sin dejar residuos (de Faria et al., 2022). Atmósferas modificadas o controladas, consiste en reducir el oxígeno y aumentar CO₂, se retrasa la respiración del fruto y se conservan sus propiedades físicas y químicas.

Por otro lado, los recubrimientos comestibles representan una alternativa innovadora y sostenible para el manejo poscosecha de frutas frescas. En el caso de la pitahaya, estos recubrimientos, elaborados a partir de biopolímeros naturales como aloe vera, quitina, cera de abejas u otros compuestos de origen vegetal, actúan como una barrera semipermeable que reduce la pérdida de agua, ralentiza la respiración y limita el desarrollo de hongos y bacterias, gracias a su actividad antifúngica natural (Ferreira et al., 2023).

Los métodos biológicos, radica en el aprovechamiento de microorganismos benéficos o compuestos bioactivos derivados de ellos para proteger el fruto de manera natural. Agentes de biocontrol: Cepas de *Bacillus*, *Trichoderma* o levaduras antagonistas pueden competir con patógenos poscosecha y reducir su incidencia. Extractos vegetales, existe algunos estudios investigan compuestos antifúngicos extraídos de plantas, como aceites esenciales de clavo, canela o ajo. Uso de subproductos de la misma pitahaya, como mucílagos de la cáscara, que poseen propiedades antioxidantes y pueden utilizarse como conservantes naturales (Otálora et al., 2023).

1.6. Nuevas estrategias de elicitación

En los últimos años, el uso de elicitores naturales se ha consolidado como una estrategia prometedora para mejorar la calidad y prolongar la vida útil de frutas y hortalizas en la etapa poscosecha. La aplicación de elicitores naturales en pre y poscosecha se ha convertido en una técnica clave para prolongar la vida útil de frutas y vegetales, actuando sobre los mecanismos fisiológicos y bioquímicos de las plantas.

Diversos estudios han demostrado que la melatonina, ácido oxálico, ácido salicílico, combinación de melatonina y GABA (ácido γ -aminobutírico) y otros, han mejorado significativamente la tolerancia al frío en frutas de hueso reduce la incidencia de daños por almacenamiento, conservación de las propiedades organolépticas por un mayor tiempo (Serradilla et al., 2024; Lozano et al., 2024).

Además, estudios en tomate, zarzamora y limón han evidenciado que los elicitores naturales no solo prolongan la vida útil, sino que también incrementan la actividad enzimática, mejoran la integridad de membranas celulares y retardan la senescencia (Serna-Escolano et al., 2021; Bernalte-García et al., 2020).

Estas investigaciones respaldan el potencial de los elicitores como una alternativa ecológica a los conservantes sintéticos, fomentando sistemas de producción más sostenibles.

1.6.1. Jasmonato de metilo (JaMe)

El Jasmonato de Metilo (JaMe) es una forma volátil del ácido jasmónico (AJ) que se identificó inicialmente en las flores de *Jasminum grandiflorum* y se distribuye de forma ubicua en todo el reino vegetal (Hamberg & Gardner, 1992). Es una fitohormona que se encuentra naturalmente en las plantas, su síntesis ocurre a partir del ácido linolénico a través de la vía de las oxilipinas, también conocida como la vía del ácido jasmónico, que se activa en respuesta a diversos factores de estrés (Ali et al., 2021). JaMe fue descubierto como un compuesto volátil en las hojas de varias plantas y posteriormente identificado como una molécula señalizadora con importantes funciones en el crecimiento, el desarrollo y la defensa vegetal (Abdelgawad et al., 2014).

Su fórmula química es $C_{13}H_{20}O_3$, con una estructura que incluye un anillo ciclopentano unido a una cadena lateral y un grupo metilo. Esta modificación estructural permite su difusión a largas distancias dentro de la planta y su volatilización, facilitando la comunicación intercelular y entre organismos (Ali et al., 2021; Aftab et al., 2011).

El JaMe actúa como una señal de defensa en las plantas a través de la vía de señalización del ácido jasmónico. Su mecanismo de acción implica la percepción y transducción de señales. Es reconocido por el complejo receptor COI1-JAZ en el núcleo celular, desencadenando una cascada de señalización (Anjum et al., 2016), que incluye la degradación de Proteínas Represoras JAZ, que en condiciones normales inhiben la activación de genes de respuesta y cuando JaMe está presente, COI1 (CORONATINE-INSENSITIVE 1) induce la degradación de las proteínas JAZ, permitiendo la activación de factores de transcripción MYC2 (Ahmadi et al., 2018), que promueven la expresión de genes relacionados con la producción de metabolitos secundarios, enzimas antioxidantes y proteínas de defensa, fortaleciendo la resistencia a estreses bióticos (ataques de herbívoros, patógenos) y abióticos (sequía, salinidad, frío, etc.) (Aftab et al., 2011). Como compuesto volátil, JaMe puede difundirse entre tejidos y entre plantas cercanas, alertando a organismos vecinos sobre amenazas potenciales (Cao et al., 2009)

Además, el JaMe tiene diferentes efectos en los frutos. Así estudios previos reportan que JaMe disminuye el daño por frío y mejora la actividad enzimática antioxidante en frutos de níspero (*Eriobotrya japonica*) durante el almacenamiento poscosecha (Cao et al., 2009). Efectos similares se registraron en duraznos (*Prunus persica*), donde JaMe reguló el metabolismo energético, reduciendo el daño por estrés frío (Jin et al., 2013). Estos resultados sugieren que el JaMe volátil es una forma transmisible de jasmonato y que su biosíntesis está involucrada en la regulación de la respuesta sistémica al jasmonato (Jang, et al., 2014).

1.6.2. Ácido salicílico (AS)

El ácido salicílico (AS) es un compuesto fenólico natural que fue originalmente aislado de la corteza del sauce (*Salix spp.*) y ha sido ampliamente utilizado en la medicina y la agricultura. Su descubrimiento sentó las bases para la síntesis del ácido acetilsalicílico (aspirina) y su aplicación en el manejo del estrés en plantas (Akash et al., 2024). Su estructura química (C₇H₆O₃) consiste en un anillo bencénico con un grupo hidroxilo (-OH) y un grupo carboxilo (-COOH), lo que le confiere propiedades antioxidantes y reguladoras del metabolismo vegetal, se encuentra de forma natural en frutas como manzanas, uvas y cítricos, y hortalizas como pimientos y espinacas (Kibar et al., 2024).

El ácido salicílico es una herramienta natural y sostenible para mejorar la calidad organoléptica, nutricional y funcional de frutas y hortalizas. Su capacidad para prolongar la vida útil, reducir enfermedades y optimizar características sensoriales lo convierte en una alternativa prometedora en la industria agroalimentaria (Baek et al., 2023; Dobón-Suárez et al., 2021)

El ácido salicílico regula el estrés oxidativo, actúa como antioxidante, activando enzimas como superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y peroxidasa (POD), reduciendo el daño oxidativo en almacenamiento (García-Pastor et al., 2020c). Así como modula el metabolismo del etileno retrasando la maduración en tomates, pimientos y duraznos, lo que prolonga su vida útil (Baek et al., 2023), y está relacionado con la inducción de la expresión de genes de defensa que fortalecen las paredes celulares y reducen infecciones por *Botrytis cinerea* y *Penicillium spp.* en fresas y cítricos (Amiri et al., 2021), entre otros.

En poscosecha sobre el efecto del ácido salicílico, se reportó que mejora el color y apariencia, aumentando la biosíntesis de antocianinas y carotenoides,

intensificando el color en pimientos, tomates y berries (Baek et al., 2023). También incrementa otros compuestos bioactivos como polifenoles y flavonoides, mejorando el valor nutricional de granadas y cítricos (Kibar et al., 2024). Por otra parte, también confiere mayor firmeza y resistencia a daños mecánicos, debido a que fortalece la pared celular, reduciendo el daño en uvas y duraznos durante cosecha y transporte (Darwish et al., 2021).

1.6.3. Salicilato de metilo (SaMe)

El salicilato de metilo (SaMe) es un compuesto volátil derivado del ácido salicílico que juega un papel clave en la defensa de las plantas frente a distintos tipos de estrés biótico y abiótico. Se produce de manera natural en las plantas mediante la metilación enzimática del ácido salicílico, lo que permite su transporte y señalización a nivel sistémico (Valero et al., 2020; García-Pastor et al., 2020c).

El salicilato de metilo posee la fórmula química $C_8H_8O_3$, con un anillo bencénico unido a un grupo metilo y un carboxilo esterificado. Esta estructura le otorga su volatilidad característica, permitiendo su papel en la señalización a nivel intercelular y entre plantas. Su mecanismo de acción implica que SaMe participa en la resistencia sistémica adquirida (SAR), un mecanismo mediante el cual las plantas activan respuestas inmunológicas en tejidos no infectados. Esta señalización es crucial para la protección frente a patógenos y estreses ambientales (Giménez et al., 2015). En los tejidos objetivo, el SaMe se hidroliza nuevamente a SA, el cual desencadena respuestas de defensa a través de la activación de genes relacionados con la síntesis de proteínas y otros compuestos antimicrobianos (Habibi et al., 2019). El SaMe también contribuye a mejorar la capacidad antioxidante de las plantas, activando la expresión de enzimas antioxidantes clave como el superóxido dismutasa (SOD) y la catalasa (CAT), reduciendo así el daño oxidativo inducido por el estrés ambiental (Gomes et al., 2021).

En precosecha, se ha demostrado que el tratamiento con SaMe mejora la resistencia de los cultivos a patógenos como *Botrytis cinerea* en uvas de mesa y *Penicillium* en cítricos, además de promover una mayor acumulación de antioxidantes en frutas como la granada y la cereza (García-Pastor et al., 2020c).

En postcosecha, en almacenamiento en frío, el SaMe ayuda a prevenir el daño por frío, reduciendo la producción de etileno y disminuyendo la descomposición celular en frutas como naranja sanguina y uvas (*Vitis vinifera*) (Habibi et al., 2019).

También SaMe a 1 mM mejoró la calidad del albaricoque al inhibir la disminución de la firmeza, la producción de etileno y la tasa de respiración (Sun et al., 2024). El SaMe durante el almacenamiento disminuyó la concentración de azúcares solubles y sustancias volátiles derivadas de aminoácidos y carotenoides (Lu et al., 2025).

1.6.4. Ácido oxálico (AO)

El ácido oxálico, posee una fórmula química $C_2H_2O_4$ es un compuesto orgánico dicarboxílico presente de forma natural en todas las especies vegetales. Se encuentra en frutas, hortalizas y cereales, desempeñando un papel clave en la regulación del pH celular, la homeostasis de minerales y la respuesta de defensa en las plantas (Asrey et al., 2024).

Su aplicación en postcosecha ha sido investigada como una alternativa natural para mejorar la calidad y prolongar la vida útil de productos agrícolas. El ácido oxálico regula el estrés oxidativo, activa las enzimas antioxidantes, como el superóxido dismutasa (SOD) y la catalasa (CAT), lo que ayuda a reducir el daño oxidativo causado por condiciones adversas durante el almacenamiento (Dobón-Suárez et al., 2021). Otros estudios han demostrado que el ácido oxálico fortalece las paredes celulares y activa genes relacionados con la resistencia inducida frente a patógenos fúngicos como *Botrytis cinerea* y *Penicillium spp.* en cítricos y uvas (Asrey et al., 2024). Su aplicación en frutos de mora aumentó el tamaño y el peso del fruto en un 40% y una reducción del contenido de sólidos solubles hasta en un 7% (Mertoğlu et al., 2025)

Durante la maduración de la fruta, las especies reactivas de oxígeno (ROS) como el radical superóxido ($O^{\cdot-}$), peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el radical hidroxilo (OH^{\cdot}) se generan inevitablemente a través de varias vías metabólicas. La acumulación excesiva de ROS causa daño oxidativo al ácido nucleico, proteínas y lípidos que finalmente conduce a la desintegración de la membrana celular (Mondal et al., 2004).

En poscosecha se ha reportado que la aplicación combinada de ácido oxálico con ácido ascórbico ha demostrado ser efectiva en inhibir la actividad de polifenol oxidasa (PPO), reduciendo el oscurecimiento en productos como manzanas y peras (Asrey et al., 2024). Además, tratamientos con ácido oxálico en peras asiáticas durante el almacenamiento redujeron efectivamente la pérdida de masa, mantuvieron la firmeza y retardaron la pérdida cualitativa de contenido de sólidos solubles totales y acidez titulable (Adhikary et al., 2024). También se observó que el tratamiento con OA retrasó la actividad de las enzimas suavizantes de la fruta, como la poligalacturonasa

(PG) y pectinametilesterasa (PE), durante el almacenamiento de ciruelas y mangos (Wu et al., 2011 ; Zheng et al., 2012 ; Razzaq et al., 2015).

2. Objetivos



2. OBJETIVOS

En la actualidad el mundo globalizado hace que los mercados sean más eficientes y competitivos, eso se debe a que los consumidores cada vez están más informados y procuran alimentarse de manera saludable, atributo que es considerado al momento de la decisión de la compra sobre la calidad de los alimentos. Estas exigencias obligan a que los productores oferten alimentos con los mayores atributos de calidad y que sean producidos de manera amigable con el medio ambiente.

En este sentido la fruta de pitahaya durante su manejo en la producción, poscosecha y comercialización, enfrenta varias dificultades para mantener la calidad en cada eslabón de la cadena de valor.

Por otro lado, debido al incremento de plagas y enfermedades en precosecha, es más recurrente el uso de productos sintéticos para incrementar el rendimiento de los cultivos de pitahaya, siendo necesidades clave que requieren de estudios a profundidad. Existe escasa información científica en el uso de elicitores naturales en la pitahaya, sobre todo en pitahaya amarilla y hasta la fecha de inicio de esta Tesis Doctoral, no se había investigado sobre el efecto de Jasmonato de Metilo (JaMe), Salicilato de Metilo (SaMe), Ácido oxálico (AO) y Ácido salicílico (AS) sobre la producción, calidad en la cosecha y durante el almacenamiento de la pitahaya amarilla.

Por ello, el objetivo general de esta Tesis Doctoral es incrementar la producción y calidad organoléptica, nutritiva y funcional de la pitahaya y mantenerla durante su conservación. Este objetivo general se desglosa en varios objetivos parciales:

1. Evaluar el efecto de los tratamientos a diferentes dosis en precosecha sobre los parámetros de calidad.
2. Evaluar el efecto de los mejores tratamientos en precosecha sobre la producción y calidad de la pitahaya, y su incidencia en la piel como alternativa de materia prima.
3. Analizar la vida útil de la fruta durante el almacenamiento en condiciones de refrigeración, evaluando el efecto de los mejores tratamientos sobre los parámetros de calidad.

4. Evaluar el efecto de los mejores tratamientos en poscosecha sobre la vida útil de la fruta durante el almacenamiento en condiciones de refrigeración, evaluando los parámetros de calidad, implicados en los mecanismos de defensa de las plantas.

5. Difundir los resultados obtenidos de los tratamientos pre y pos-recolección más efectivos, a lo largo del desarrollo del proyecto.

3. Materiales y Métodos



3. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección se incluyen las principales características del material vegetal, las condiciones experimentales, los tratamientos previos y posteriores a la cosecha, las determinaciones analíticas y el diseño estadístico utilizado en esta Tesis Doctoral. Para aspectos más detallados, se podrían consultar las publicaciones que constituyen la sección de resultados.

3.1. Material vegetal de precosecha y diseño experimental

Los dos ensayos de precosecha se realizaron en una plantación de pitahaya amarilla variedad Palora (*Selenicereus megalanthus* Haw.), establecida bajo invernadero. La Finca Algro, está ubicada en el Cantón Palora, Provincia de Morona Santiago, Ecuador. Tiene una superficie de 2,5 ha con 1200 plantas de 3 años, en las coordenadas geográficas 1°41'00" Latitud Sur, 77°58'56,8" Longitud Oeste, a una altitud de 839 m. El clima es tropical húmedo, con humedad relativa superior al 80% y temperatura fluctúa entre 18 y 23 °C.

Para el primer ensayo, en la campaña (octubre 2022 – enero 2023) se utilizó 4 elicitores en 3 concentraciones cada una, con tres repeticiones. En total se utilizaron 117 plantas y se marcaron 3 frutos por planta, se registraron un total de 351 frutos y se midió el desarrollo fenológico del fruto (diámetro polar y ecuatorial) y el peso del fruto en la cosecha. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar bifactorial. Se aplicaron los elicitores mediante pulverización foliar en 4 momentos clave, la primera aplicación se realizó luego de la polinización y luego cada 15 días (55, 70, 85 y 100 días), utilizando 1,5 L por planta de soluciones recién preparadas de JaMe, SaMe, AS, y AO (adquiridas de Sigma-Aldrich, Madrid, España) todos ellos a concentraciones de 1, 5 y 10 mM, conteniendo un 0,5% de Tween 20 como surfactante, mientras que las plantas sin tratar sirvieron como control. Estas concentraciones se basaron en informes previos con frutas no climatéricas, como cereza dulce y granadas (Valverde et al., 2015; García-Pastor et al., 2020b). La cosecha se llevó a cabo a los 110 después de apareamiento del botón floral (DABF) y la madurez del fruto se encontraba en la escala 2 y 3 (Figura 4).

En el segundo ensayo, en la campaña (marzo-junio 2023) se aplicaron los elicitores con las mejores concentraciones del experimento de año 1 (Erazo-Lara et al., 2024). En total se utilizaron 45 plantas y se marcaron 3 frutos por planta, se registraron un total de 135 frutos y se midió el desarrollo fenológico del fruto

(diámetro polar y ecuatorial) y el peso del fruto en la cosecha. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar. Se aplicaron los elicitores mediante pulverización foliar en 4 momentos clave, la primera aplicación se realizó luego de la polinización y luego cada 15 días (57, 71, 86 y 102 días), utilizando 1,5 L por planta de soluciones recién preparadas de JaMe y SaMe a 0,1 mM y AS, y AO a 5 mM (adquiridas de Sigma-Aldrich, Madrid, España), conteniendo un 0,5% de Tween 20 como surfactante, mientras que las plantas sin tratar sirvieron como control. La cosecha se llevó a cabo a los 126 DABF y la madurez del fruto se encontraba en la escala 3 (Figura 4).

En los dos experimentos al momento de la cosecha se evaluaron número de frutos, el peso del fruto y rendimiento. Posterior al envío de la fruta de pitahaya de Ecuador a España, en el laboratorio se midieron los siguientes parámetros de calidad en frutos control y tratados (9 frutos por réplica), según informes previos (Giménez et al., 2014; García-Pastor et al., 2020a; García-Pastor et al., 2020b): firmeza, color, porcentaje de piel y pulpa, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) y relación SST/AT. Se evaluó en la piel el contenido de fenoles, carotenoides, macronutrientes y micronutrientes.

En el segundo ensayo se almacenaron a 10 °C y con una humedad relativa del 85 %. Tras 24, 38 y 52 días, se extrajo de la cámara frigorífica un lote de cada tratamiento (9 pitahayas) para analizar los SST, la AT, la firmeza, los compuestos fenólicos totales, los carotenoides totales y la actividad antioxidante de los extractos hidrofílicos y lipofílicos.

A continuación, se detalla un resumen de los dos experimentos realizados en precosecha (Figura 5).

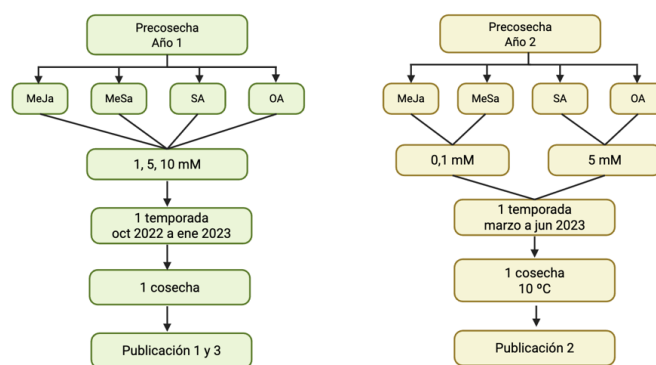


Figura 5. Esquema del diseño experimental de los experimentos precosecha
Fuente: Elaboración propia

3.2. Material vegetal de poscosecha y diseño experimental

Los frutos de pitahaya amarilla se cosecharon en julio de 2024 de la plantación anteriormente señalada, la madurez del fruto se encontraba en la escala 3 y 4 (Figura 4), y se seleccionó un total de 250 frutos homogéneos en tamaño y sin defectos visuales, de los cuales se seleccionaron 25 frutos y se utilizaron para medir los parámetros de peso y color al momento de la cosecha. En el área de poscosecha de la Finca Algro, Ecuador, se dividieron los 225 frutos en 5 lotes de 45 frutos por tratamiento y usando JaMe y SaMe a 0,1 mM adquiridos de Sigma, Sigma-Aldrich, Madrid, España) conteniendo un 0,5% de Tween 20 como surfactante. Se realizaron los tratamientos por inmersión durante 8 minutos y los frutos control se sumergieron en agua el mismo tiempo. Las frutas tratadas y sin tratar se secaron al aire y se empacaron en cajas de cartón para su posterior envío al aeropuerto localizado en la ciudad de Quito-Ecuador. Luego de 12 días de logística y transporte aéreo y terrestre bajo condiciones de refrigeración a 10 °C, se inició con los primeros análisis en el laboratorio del Grupo de Posrecolección de Frutos y Hortalizas de la Universidad Miguel Hernández (UMH), Campus Orihuela.

La fruta se separó y en dos ambientes de refrigeración a 2 y 10 °C, en lotes de tres frutos para tres réplicas, y tras 12, 23, 40 y 55 días de almacenamiento, se tomó un lote de cada réplica y tratamiento para las determinaciones analíticas relacionadas con los parámetros de calidad en frutos control y tratados (3 frutos por réplica), según informes previos (Giménez et al., 2014; García-Pastor et al., 2020a). Los parámetros evaluados fueron pérdidas de peso, firmeza, color, SST, AT y relación SST/AT. Se evaluó en la pulpa y piel el contenido de fenoles, carotenoides y actividad antioxidante total, y en el zumo de la pulpa se midió azúcares y ácidos individuales.

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4 x 2, correspondiente a los cuatro elicitores y las dos condiciones de almacenamiento.

A continuación, se detalla un resumen del ensayo realizado en poscosecha (Figura 6)

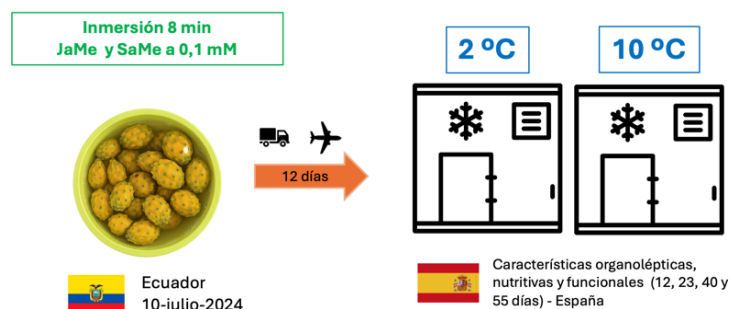


Figura 6. Esquema del diseño experimental en poscosecha
Fuente: Elaboración propia

3.3. Determinaciones analíticas

3.3.1. Calibre del fruto

El diámetro polar y ecuatorial se determinó con la ayuda de un pie de rey Digital, Digimático Absoluto, Sensor Avanzado, 0-6"/0-150 mm, Resolución 0,01 mm (Mitutoyo). Los resultados se expresaron en mm (media \pm ES).

3.3.2. Peso del fruto y piel, y pérdidas de peso durante la conservación

El peso del fruto y piel se determinó mediante una balanza Radwag WLC 2/A2 (Radwag Wagi Elektroniczne) con 2 cifras decimales de precisión y se expresaron en (g). Para determinar las pérdidas de peso durante la conservación se pesaron los frutos y piel en el primer ensayo y solo frutos en el segundo ensayo, se expresaron en porcentaje y serán (media \pm ES) de las diferentes réplicas utilizadas.

3.3.3. Firmeza

La firmeza se determinó individualmente en cada fruto de cada lote utilizando un analizador de textura TX-XT2i Texture Analyzer (Stable Microsystems, Godalming, Reino Unido) acoplado a una sonda con un disco plano de acero. El disco de acero de la sonda aplicó una fuerza constante a la superficie de la fruta hasta que se produjo una deformación del 3 % del diámetro ecuatorial. Los resultados se expresaron como la relación entre la fuerza aplicada y la distancia recorrida ($N\ mm^{-1}$), siendo la media \pm ES de las mediciones realizadas en cada fruto para cada uno de los tratamientos.

3.3.4. Color interno y externo

El color externo de los frutos se determinó en 3 puntos equidistantes del perímetro ecuatorial del fruto, mediante un colorímetro triestímulo Minolta (CRC200, Minolta Camera Co., Tokio, Japón), utilizando el sistema CIELab (L^* , a^* y b^*). Para medir el color interno se realizó un corte transversal del fruto, y se midió en tres puntos equidistantes. Los resultados se expresaron en función de los parámetros L^* , a^* y b^* . L^* o Luminosidad representa el rango de color que va desde 0 (color negro) hasta la luminosidad de 100 (color blanco). El parámetro a^* representa las coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde), mientras que el parámetro b^* representa las coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul). El valor hue (h) es el ángulo del tono y se expresa en grados que van desde 0° (inclusive) a 360° (excluido). Su cálculo es el siguiente $h = \arctan(b^* / a^*)$.

3.3.5. Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales (SST) del zumo recién exprimido y filtrado a través de una gasa, se midieron por duplicado mediante refractometría. Se utilizó el refractómetro digital (Atago PR-101, Atago Co. Ltd., Tokio, Japón o Hanna Instruments, Rhode Island, EE.UU). Se calibró con agua destilada y las lecturas se tomaron a temperatura ambiente (20°C). Esta técnica se basa en los diferentes índices de refracción de dos medios con diferentes sustancias disueltas, zumo y agua destilada. Los resultados se expresaron en g equivalentes de sacarosa en 100 g^{-1} de peso fresco y representaron la media \pm ES.

3.3.6. Acidez total

La acidez total (AT) se determinó por duplicado utilizando el mismo zumo de pitahaya utilizado para los SST, mediante titulación automática con pHmetro 785 DMP (Metrohm), de sensibilidad ± 0.01 pH. Se realizó una valoración automática con sosa (NaOH) 0,1 N hasta alcanzar un pH 8,10 usando 1 mL de zumo diluido en 25 mL de agua destilada. Los resultados serán la media \pm ES y se expresaron como g de ácido cítrico equivalentes a 100 mL^{-1} de zumo.

3.3.7. Tasa de respiración

Para cuantificar la tasa de respiración, se colocaron grupos fruto de peso conocido en un bote de vidrio de 1L durante 60 minutos y se cerraron herméticamente. El tapón de bote de vidrio incorporaba un septo, que permitió el

muestreo del aire de cabeza con jeringas de 1 mL. A continuación, se extrajeron 4 muestras de 1 mL de la atmósfera, 2 muestras se utilizaron para cuantificar, por duplicado, el CO₂ utilizando un cromatógrafo de gases Shimadzu 14B (Shimadzu Europe GmbH, Duisburg, Alemania), equipado con un detector de conductividad térmica (TCD) y una columna de acero inoxidable de 3 m con un diámetro interno de 3,3 mm que contenía Chromosorb 102 para determinar las concentraciones de CO₂. El gas portador fue helio a un caudal de 50 mL min⁻¹. La temperatura de la columna fue de 55 °C y las temperaturas del inyector y del detector fueron de 110 °C. Las 2 muestras restantes se tomaron por razones de seguridad en caso de que alguna de las mediciones fuera errónea. El cromatógrafo se conectó a un ordenador que registró e integró el área del pico, permitiendo la cuantificación. Para calcular el CO₂ producido, se utilizó el peso del fruto, el volumen del recipiente y el tiempo del fruto en el recipiente. Los resultados de la tasa de respiración fueron la media ± SE y se expresaron como mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

3.3.8 Producción de etileno

Para medir la producción de etileno, se inyectó 3 jeringas extraídas de la misma atmósfera de los botes de vidrio del apartado anterior y se inyectaron en el cromatógrafo de gases Hewlett - Packard (HP) 5730-A, equipado con un detector de conductividad térmica (TCD) y una columna de acero inoxidable de 3 m con un diámetro interno de 3,3 mm que contenía Chromosorb 102 para determinar las concentraciones de etileno. Los resultados de la producción de etileno fueron la media ± ES y se expresaron los resultados en nL g⁻¹h⁻¹.

3.3.9. Compuestos bioactivos y actividad antioxidante

Se emplearon los métodos descritos por Habibi et al. (2021) y se adaptaron a la pitahaya. Los compuestos fenólicos totales se calcularon mediante el protocolo de Folin-Ciocalteu, homogenizando de manera independiente 2 g de piel y 5 g de pulpa con 10 mL de extractante (agua/metanol 20:80) y centrifugando a 10.000 × g a 4 °C durante 20 min. El sobrenadante se añadió al reactivo de Folin-Ciocalteu, y los resultados se expresaron como mg de ácido gálico equivalente por 100 g⁻¹.

La actividad antioxidante total se determinó tanto en el disolvente acuoso (hidrófilo) como en el disolvente orgánico (lipófilo) mediante el método ABTS. Brevemente, en un tubo de centrifuga con tapa, de manera independiente se añadieron 2 g de piel y 5 g de pulpa en 5 mL de tampón de fosfato (pH = 6,8) y 10 mL de acetato de etilo. Se homogenizó con un Polytron (Ultraturrax, T18 basic, IKA, Berlín,

Alemania) durante 60 segundos y se centrifugaron a 10.000 x g en una centrifugadora C30P (B. Braun Biotech internacional) durante 15 minutos a 4 °C. Tras la separación de las fases, cada extracto se midió por duplicado con un sistema de peroxidasa ABTS, y los resultados se expresaron como mg·100 g⁻¹ de equivalentes de Trolox.

Para los carotenoides totales, se utilizó la fase orgánica (lipofílica) y se sometió a saponificación con KOH al 10 % en disolvente MeOH, seguida de extracción con éter dietílico y, finalmente, secado y disolución en acetona. Los carotenoides totales se cuantificaron mediante la lectura de la absorbancia a 450 nm en un espectrofotómetro (espectrofotómetro UNICAM Helios-α, Sci-Tek Instruments Ltd., Olney, Reino Unido) y se expresaron como µg de β-caroteno equivalente 100 g⁻¹.

3.3.10. Macro y micronutrientes en la piel

La piel de pitahaya se sometió a deshidratación en un calentador a 65 °C hasta lograr un peso constante. Se pesó 0,25 g de la piel deshidratada de cada tratamiento (por triplicado) y se metió en un microondas (CEM Mars One) después de la adición de 10 mL de ácido nítrico al 1% durante 3 h y, posteriormente, hasta 50 mL con agua destilada. Luego, las alícuotas de cada muestra se utilizaron para cuantificar la concentración mineral mediante el método de espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) (Shimadzu icpms-2030, Kioto, Japón). La cuantificación mineral se llevó a cabo mediante el uso de curvas estándar de Ca, Mg, Na, P y K (macronutrientes) y Fe, Mn, Cu y Zn (micronutrientes), y los resultados se expresaron como mg kg⁻¹ de peso seco.

3.3.11. Azúcares individuales y ácidos orgánicos

En un tubo de centrifuga se colocaron 5 g de pulpa de fruta de pitahaya y 15 mL de tampón fosfato (dilución 1:4). Se homogenizó con un Polytron (Ultraturrax, T18 basic, IKA, Berlín, Alemania) durante 60 segundos y se centrifugaron a 10.000 x g en una centrifugadora C30P (B. Braun Biotech internacional) durante 15 minutos a 4 °C. A continuación, se midió el volumen final del sobrenadante y se filtró a través de un filtro Millipore de 0,45 µm y luego se inyectó en un sistema de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) (Hewlett-Packard HPLC serie 1100) para cuantificar azúcares individuales y ácidos orgánicos. El sistema de elución consistió en ácido fosfórico al 0,1% que corría isocráticamente con un caudal de 0,5 mL min⁻¹ a través de una columna Supelco (Supelcogel C_610H, 30 cm 7,8 mm, Supelco Park, Bellefonte, PA, EE. UU.). Los ácidos orgánicos se detectaron por absorbancia a 210 nm y los azúcares por

detector de índice de refracción. Los resultados se expresaron como $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ en la cosecha. Para la cuantificación, se utilizó una curva estándar de azúcares puros y ácidos orgánicos adquiridos de Sigma (Poole, Reino Unido). Los resultados se obtuvieron como la media \pm ES.

3.3.12. Análisis estadístico

En esta Tesis Doctoral, los resultados se expresaron como media \pm error estándar (ES) de las réplicas. Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) unidireccional para la variable tratamiento. Se compararon las medias mediante una prueba de rangos múltiples (prueba de Tukey) para encontrar diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos para cada fecha de muestreo, se utilizaron letras mayúsculas (ensayo 1) y minúsculas (ensayo 2 y 3), cuando hay significancia las letras son diferentes. Todos los análisis se realizaron con el programa SPSS versión 22 y se utilizó el programa SigmaPlot 11.0 para la elaboración de gráficos.

4. Publicaciones



4. PUBLICACIONES

4.1 Publicación 1

Publicación 1 (Transcripción literal)

Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) Growth and Ripening as Affected by Preharvest Elicitors (Salicylic Acid, Methyl Salicylate, Methyl Jasmonate, and Oxalic Acid): Enhancement of Yield, and Quality at Harvest.

Erazo-Lara, A., García-Pastor, M. E., Padilla-González, P. A., Serrano, M., & Valero, D.

Horticulturae, 2024, 10, 493

<https://doi.org/10.3390/horticulturae10050493>



Article

Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) Growth and Ripening as Affected by Preharvest Elicitors (Salicylic Acid, Methyl Salicylate, Methyl Jasmonate, and Oxalic Acid): Enhancement of Yield, and Quality at Harvest

Alex Estuardo Erazo-Lara ^{1,2}, María Emma García-Pastor ³, Pedro Antonio Padilla-González ², María Serrano ³ and Daniel Valero ^{2,*}

¹ Escuela Politécnica Superior de Chimborazo (ESPOCH), Sede Morona Santiago, Macas 140101, Ecuador; alex.erazol@epoch.edu.ec

² Department Food Technology, EPSO-CIAGRO, University Miguel Hernández, Ctra. Beniel km. 3.2, 03312 Orihuela, Alicante, Spain; ppadilla@umh.es

³ Department Applied Biology, EPSO-CIAGRO, University Miguel Hernández, Ctra. Beniel km. 3.2, 03312 Orihuela, Alicante, Spain; m.garciap@umh.es (M.E.G.-P.); m.serrano@umh.es (M.S.)

* Correspondence: daniel.valero@umh.es; Tel.: +34-966749743



Citation: Erazo-Lara, A.E.; García-Pastor, M.E.; Padilla-González, P.A.; Serrano, M.; Valero, D. Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) Growth and Ripening as Affected by Preharvest Elicitors (Salicylic Acid, Methyl Salicylate, Methyl Jasmonate, and Oxalic Acid): Enhancement of Yield, and Quality at Harvest. *Horticulturae* **2024**, *10*, 493. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10050493>

Academic Editor: Alberto Pardossi

Received: 7 March 2024

Revised: 3 May 2024

Accepted: 8 May 2024

Published: 10 May 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) is an exotic fruit with great potential for exportation in Ecuador. The research was carried out with the objective of evaluating the fruit growth and ripening as affected by four elicitors: salicylic acid (SA), methyl salicylate (MeSa), methyl jasmonate (MeJa), and oxalic acid (OA), all of them at 1, 5, and 10 mM concentration, compared with untreated plants (control). For each elicitor, nine plants were selected, and on each plant, three fruits were marked to follow up the growth by measuring polar and equatorial diameters. At harvest, yield (kg plant⁻¹ and number of fruits plant⁻¹), fruit weight, percentage of pulp and skin, total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), and firmness were determined. Treated plants enhanced fruit size, crop yield, and fruit weight compared with control fruits, although results depended on the elicitor tested and applied doses. The highest and lowest TSS were found in 10 mM MeSa and 5 mM MeJa-treated fruit, respectively, while the highest TA content was shown in 5 mM SA. Firmness was only enhanced in MeJa-treated fruits. Overall, results suggest that preharvest use of elicitors could modulate the pitahaya ripening and could improve quality attributes at harvest.

Keywords: methyl salicylate; salicylic acid; methyl jasmonate; oxalic acid; crop yield; total soluble solid; total acidity; firmness

1. Introduction

The pitahaya (*Selenicereus* sp.) belongs to the *Cactaceae* family and is an exotic fruit native to Central and parts of South America. It was discovered by the Spanish conquerors, who gave it the name pitahaya, which means scaly fruit. The pitahaya market size is estimated at USD 14.73 billion in 2024 and is expected to reach USD 18.27 billion by 2029, growing at a CAGR of 4.40%. It is widely cultivated in South East Asia, South America, Mexico, USA, and Spain. In recent years, yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) is gaining popularity in international markets. In Ecuador, there are two ecotypes of yellow pitahaya: the first called “Pichincha” (also known as “Nacional”) with fruits being reached up to 150 g in weight, and the second known as “Palora” with higher weight (up to 350 g), which is cultivated in large areas of the Palora Cantón in Morona Santiago [1]. According to the Ministry of Agriculture and Livestock [2], Ecuador has approximately 7500 hectares of pitahaya (with an average yield of 7.6 t ha), the Palora being the main yellow-pitahaya-producing areas covering around 2400 ha. The plants are hemiepiphytic and absorb water

both through the roots of the soil and through adventitious roots that are developed along the stem or pods, these roots being characteristic of Cactus species [3].

The pitahaya phenology depends on climatic conditions, including photoperiod, precipitation, solar radiation, day and night temperature, among others. Generally, there are 4–7 flowering cycles in a period of 8 months [4]. Accordingly, within a plant, several phases of development can exist such as mature fruits, flowers (buds open and in anthesis), or developing fruits [5]. In addition, the high temperatures during the summer inhibit the pitahaya flowering [6]. The fruit is a medium-sized berry with a yellow skin having ribs and thorns that detach during the ripening process. The pitahaya flesh is white, sweet, soft, and slightly fibrous, containing many small digestible black seeds [7]. The consumption of yellow pitahaya has increased in recent years due to its nutritional content, the pulp being considered as a functional food with medicinal properties [8] due to a high content of polyphenols, carotenoids (β -carotene and lycopene), and rich in vitamins [9].

In modern horticulture, research is focusing on finding preharvest treatments with elicitors, which are naturally occurring compounds, generally recognized as safe (GRAS), having a role on improving crop yield, and enhancing the fruit quality at harvest and during postharvest storage in several fruit and vegetables [10,11]. Some of these elicitors include salicylic acid (SA), methyl salicylate (MeSa), methyl jasmonate (MeJa), and oxalic acid (OA). These elicitors play important roles in plant development, fruit growth and ripening, mainly as inducers of defence mechanisms against pathogens and abiotic stresses. SA and its derivative MeSa modulate some physiological processes related to fruit quality by inducing metabolic and physiological reactions with a great potential for reducing the crop productivity [12]. In sweet cherry, preharvest spraying with SA and MeSa increased total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), and fruit firmness at harvest [13,14]. In table grapes, SA, MeSa, and MeJa applied at 5 and 10 mM delayed berry ripening and lowered crop yield, while ripening was accelerated and yield was enhanced at lower concentrations [15,16]. In pomegranate fruit, MeJa treatments (1, 5, and 10 mM) increased the crop yield, and again MeJa at 1 and 5 mM accelerated the on-tree ripening process, while it was delayed with 10 mM [17]. Oxalic acid is a naturally organic acid occurring in plant tissues, and in the case of fruits, OA has induced clear benefits on delaying senescence and maintaining the quality of sweet cherries [18] and pomegranates [19].

Contrarily to red pitahaya (*Hylocereus* sp.) [20], the growth and ripening of yellow pitahaya and its effect on quality traits are relatively unknown, despite external colour, TSS, and TA, which are considered good indicators of maturity. However, the determination of the period at which the fruit reaches the physiological ripening is essential to obtain superior pitahayas with the highest quality attributes. In addition, to achieve shipments to such remote distances from the place of origin, it is necessary that the pitahaya has a sufficient shelf life during postharvest storage. As far as we know, there is no literature on the use of elicitors on pitahaya yield and quality. Thus, the aim of this work was to study the preharvest application of SA, MeSa, MeJa, or OA on crop yield, physico-chemical properties of pitahaya fruit at harvest, and the effects of these treatments on the fruit maturation process.

2. Materials and Methods

2.1. Plant Material, Treatments, and Experimental Design

The research was carried out in an established crop of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) under a greenhouse at the Algro Farm, located in the Cantón Palora, Province of Morona Santiago (Ecuador). The Algro Farm has an area of 2.5 ha with 1200 plants of 3 years old, at the geographic coordinates 1°41'00" South Latitude, 77°58'56.8" West Longitude, at a height of 839 m. The climate is humid tropical, with relative humidity above 80%, and temperature fluctuates between 18 and 23 °C. For the present investigation, a bifactorial randomized complete block design (4 treatments and 3 concentrations) was used, executing 3 repetitions ($n = 3$) (Figure S1). A total number of 117 plants were chosen, from which 3 yellow pitahaya

plants were selected per block and 3 fruits per plant were marked (9 fruits for each block) to measure fruit growth (total number of fruits was 27).

Treatments were applied with a frequency of 15 days, starting at 55 days after full blossom (DAFB), and after 70, 85, and 100 DAFB, while harvest was carried out at 110 DAFB. The elicitors were methyl salicylate (MeSa), salicylic acid (SA), methyl jasmonate (MeJa), and oxalic acid (OA) at concentrations of 1, 5, and 10 mM, while untreated plants served as the control. These doses were based on previous reports with non-climacteric fruits, such as table grapes and pomegranates [15,16,19]. Treatments were performed by spraying 1.5 L per plant of freshly prepared solutions of MeSa, SA, MeJa, and OA (purchased from Sigma-Aldrich, Madrid, Spain) containing 0.5% Tween-20 as surfactant. Treatments were applied early in the morning and under favourable weather conditions (no rain or wind were forecasted).

Pitahaya fruits were manually harvested at the commercial ripening stage based on fruit size, fruit weight (≈ 360 g), colour (light-green or yellow with green bracts), and the content of total soluble solids (TSS) over 15 °Brix [21]. In addition, the thorns were manually removed with a brush. For each treatment, 27 fruits (9 fruits per replicate) were picked and transferred to the laboratory for further analytical determinations.

2.2. Measurement of Fruit Growth, Crop Yield, Fruit Weight, Pulp, and Skin Percentage

Pitahaya fruit growth was followed by measuring 2 diameters (polar and equatorial) with a digital calliper in the marked fruits every 15 days, and results were expressed in $\text{mm} \pm \text{SE}$. Pitahaya production was evaluated based on the total yield (kg plant^{-1}) and the number of fruits per plant. Each fruit from control and treated plants were weighed and results were expressed as $\text{g} \pm \text{SE}$.

2.3. Measurement of Quality Traits

The following quality parameters were measured in control and treated-fruits (9 fruits per replicate) according to previous reports [13,19]: firmness, percentage of skin and flesh, total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), and TSS/TA ratio. Fruit firmness ($\text{mean} \pm \text{SE}$) was determined in each fruit by using a GY-3™ penetrometer with a 7.8 mm insertion tip, and results were expressed as kg cm^{-2} .

For each individual fruit, pulp and skin were weighed and results were expressed as percentage $\pm \text{SE}$. Then, pulp from the 9 fruits of each replicate was combined to obtain a homogeneous sample, in which TSS and TA were measured in duplicate. TSS were determined as °Brix ($\text{mean} \pm \text{SE}$), with a Kem brand refractometer, model RA-620, after fruit pulp was extracted. The percentage of TA ($\text{mean} \pm \text{SE}$) was evaluated by mixing 10 g of pulp and 100 mL of distilled water, which was liquefied until a homogeneous solution, filtered, adding 3 drops of 1% phenolphthalein, and neutralized by using 0.1 N sodium hydroxide until the colour change occurred. Ripening index was calculated as the ratio of TSS/TA.

2.4. Statistical Analysis

A one-way analysis of variance (ANOVA) was performed with data from analytical determinations for each elicitor by using the SPSS software package v. 12.0 for Windows. Mean comparisons were performed using Tukey's test to examine if differences were significant at $p < 0.05$ (Table S1).

3. Results

3.1. Fruit Growth, Crop Yield, and Fruit Weight Subsection

Pitahaya fruit growth was evaluated by measuring the polar (longitudinal) diameter (Figure 1) and the equatorial diameter (Figure 2). For both, a simple sigmoid curve was obtained with a progressive increase in both diameters, although the magnitude was affected by type of elicitor and applied doses.

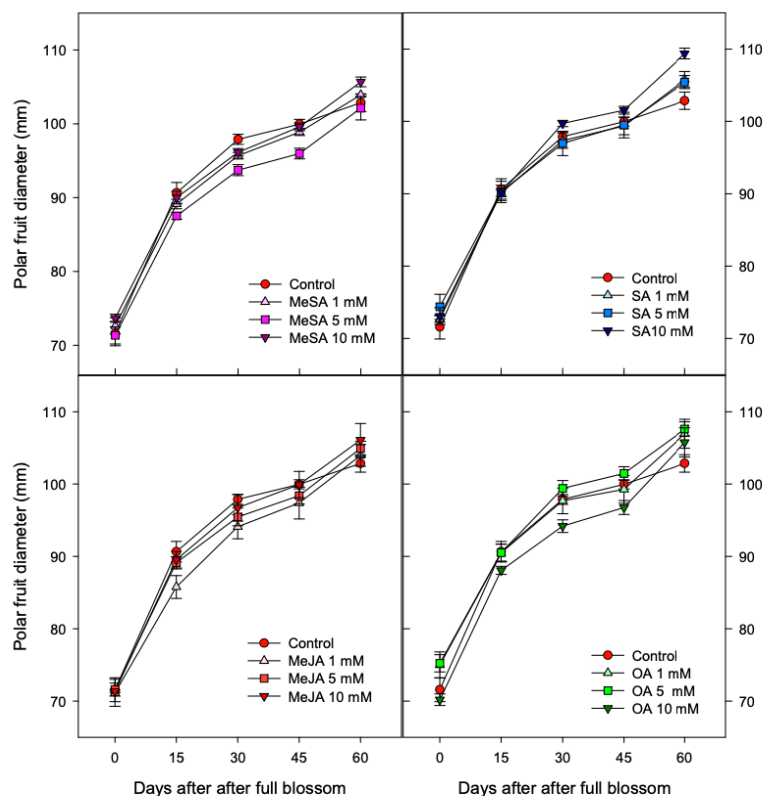


Figure 1. Polar diameter (mm) during growth and ripening of pitahayas from control and treated plants with methyl salicylate (MeSa), salicylic acid (SA), methyl jasmonate (MeJa), and oxalic acid (OA) at concentrations of 1, 5, and 10 mM. Data are the mean \pm SE (n = 9).

Pitahaya fruit growth and development took approximately 125 days from full blooming to fruit ripening. For control fruits, the maximum polar diameter was significantly lower (≈ 102 mm) in respect to treated pitahaya, especially with MeSa at 10 mM (≈ 105 mm), SA at 10 mM (≈ 109 mm), MeJa at 10 mM (≈ 106 mm), and OA at 5 mM (≈ 107 mm). The lowest equatorial diameter was found in control pitahaya (≈ 75 mm) and significantly higher in treated-fruits, especially for MeSa at 1 mM (≈ 78 mm), SA at 1 mM (≈ 82 mm), MeJa at 1 mM (≈ 79 mm), and OA at 1 mM (≈ 79 mm).

Crop yield was determined by fruit production (kg plant^{-1}) (Figure 3) and the number of fruits plant^{-1} (Figure 4). The lowest yield was found in SA at 10 mM (≈ 7 kg plant^{-1}) followed by control pitahaya (≈ 13 kg plant^{-1}), while the highest was obtained for MeJa at 10 mM (≈ 20 kg plant^{-1}) followed by OA at 10 mM (≈ 19 kg plant^{-1}) and MeSa at 5 mM (≈ 17 kg plant^{-1}). With respect to the number of fruits, SA at 5 or 10 mM showed the lowest yield (≈ 19 and 30 fruits plant^{-1} , respectively) followed by control (≈ 42 fruits plant^{-1}), while the highest yield was obtained for MeJa at 5 mM (≈ 57 fruits plant^{-1}). Fruit weight was significantly affected by treatment (Figure 5), with control fruits being found as the smallest pitahayas (≈ 294 g), while fruit weight was significantly greater in treated plants. The most effective treatment on enhancing fruit weight was OA at 5 mM (≈ 388 g) followed by SA at 5 mM (≈ 377 g), MeJa at 1 mM (≈ 366 g), and MeSa at 1 mM (≈ 361 g).

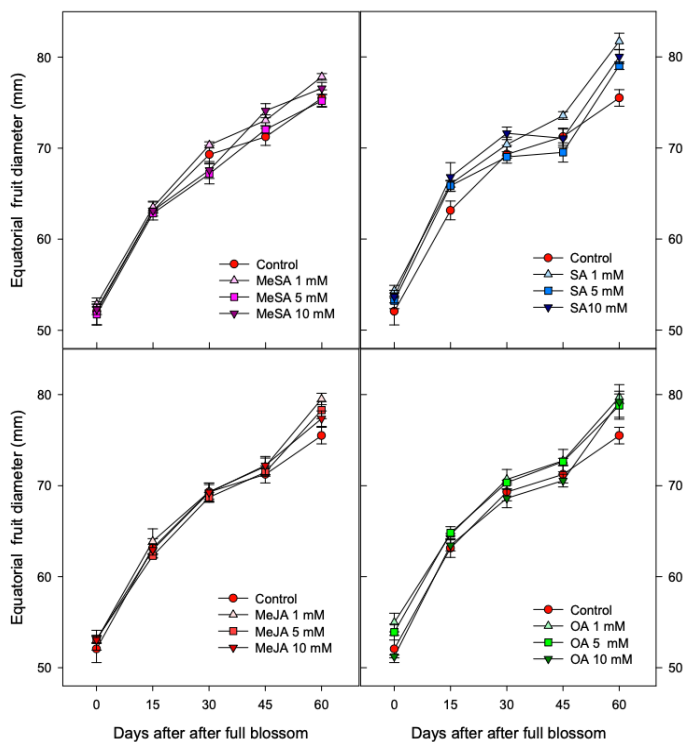


Figure 2. Equatorial diameter (mm) during growth and ripening of pitahayas from control and treated plants with methyl salicylate (MeSa), salicylic acid (SA), methyl jasmonate (MeJa), and oxalic acid (OA) at concentrations of 1, 5, and 10 mM. Data are the mean \pm SE (n = 9).

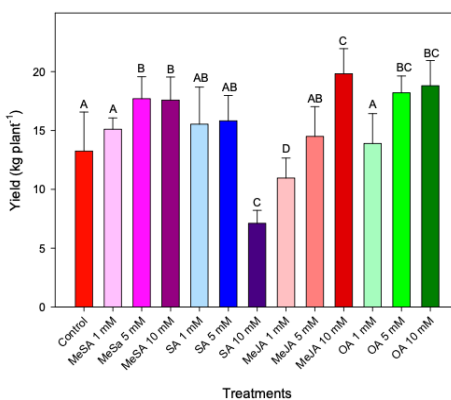


Figure 3. Crop yield (kg plant⁻¹) at harvest time of pitahayas from control and treated plants with methyl salicylate (MeSa), salicylic acid (SA), methyl jasmonate (MeJa), and oxalic acid (OA) at concentrations of 1, 5, and 10 mM. Data are the mean \pm SE (n = 9). Bars with different letters denote significant differences at $p < 0.05$ after the Tukey's test.

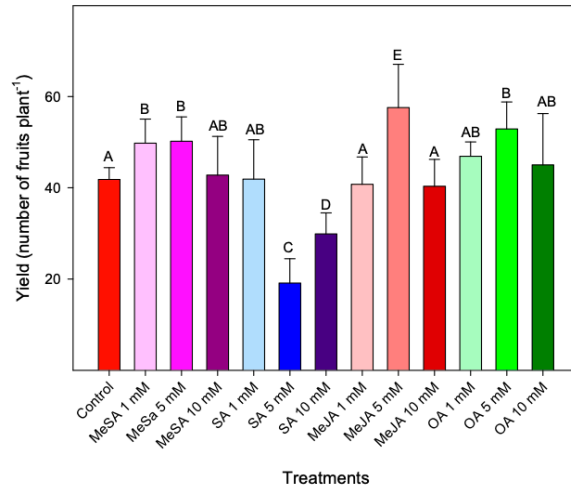


Figure 4. Crop yield (number of fruits plant⁻¹) at harvest time of pitahayas from control and treated with methyl salicylate (MeSa), salicylic acid (SA), methyl jasmonate (MeJa), and oxalic acid (OA) at concentrations of 1, 5, and 10 mM. Data are the mean ± SE (n = 9). Bars with different letters denote significant differences at $p < 0.05$ after the Tukey's test.

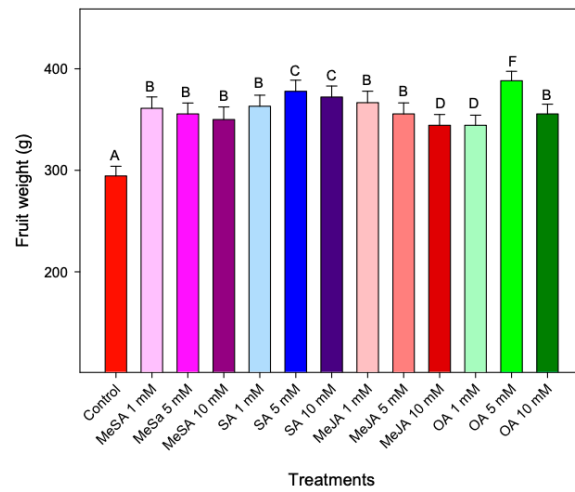


Figure 5. Fruit weight (g) at harvest time of pitahayas from control and treated with methyl salicylate (MeSa), salicylic acid (SA), methyl jasmonate (MeJa), and oxalic acid (OA) at concentrations of 1, 5, and 10 mM. Data are the mean ± SE (n = 9). Bars with different letters denote significant differences at $p < 0.05$ after the Tukey's test.

3.2. Quality Parameters: Pulp and Skin Percentage, Fruit Firmness, TSS, and TA

With respect to the percentages of pulp and skin (Table 1), control fruits had 49 and 51%, respectively. All treatments were effective in increasing the pulp content, with the

exception of SA at 10 mM, which showed the lowest and the highest pulp and skin, 47 and 53%, respectively. The most important parameters for pitahaya quality are firmness, TSS, and TA. The level of firmness in control fruits was $7.60 \pm 0.3 \text{ kg cm}^{-2}$, and the effect of the preharvest treatments was different depending on the elicitor and the applied concentration (Table 1). Thus, MeSa at 5 mM and OA at 1 mM showed lower values of pitahaya firmness ($6.60\text{--}6.70 \text{ kg cm}^{-2}$), while the only treatment that increased the firmness at harvest was MeJa at 10 mM ($10.16 \pm 0.7 \text{ kg cm}^{-2}$).

Table 1. Percentage of pulp and skin, total soluble solids (TSS), total acidity (TA), TSS/TA ratio, and firmness of pitahayas harvested from the control plants or plants treated with methyl salicylate (MeSa), salicylic acid (SA), methyl jasmonate (MeJa), or oxalic acid (OA) at concentrations of 1, 5, and 10 mM. Data are the mean \pm SE (n = 9). Bars with different letters denote significant differences at $p < 0.05$ after the Tukey's test *.

Treatments	Pulp (%)	Skin (%)	TSS ($^{\circ}$ Brix)	TA (%)	TSS/TA	Firmness (kg cm^{-2})
Control	48.78 \pm 0.9 a	51.21 \pm 0.6 a	12.59 \pm 0.2 a	1.47 \pm 0.3 a	8.56 \pm 0.3 a	7.60 \pm 0.3 a
MeSa 1 mM	58.54 \pm 1.2 b	41.15 \pm 0.8 b	13.08 \pm 0.2 a	1.53 \pm 0.3 a	8.54 \pm 0.2 a	8.03 \pm 0.5 a
MeSa 5 mM	55.41 \pm 0.9 c	44.56 \pm 0.9 c	10.87 \pm 0.2 b	1.47 \pm 0.2 a	7.39 \pm 0.2 a	6.60 \pm 0.3 b
MeSa 10 mM	54.51 \pm 1.1 c	45.49 \pm 1.1 c	15.21 \pm 0.4 c	1.53 \pm 0.3 a	9.94 \pm 0.3 b	7.66 \pm 0.3 a
SA 1 mM	51.38 \pm 1.3 a	48.60 \pm 0.8 d	13.73 \pm 0.3 a	1.83 \pm 0.3 b	7.50 \pm 0.3 a	7.76 \pm 0.4 a
SA 5 mM	55.68 \pm 1.2 c	44.31 \pm 1.1 c	12.88 \pm 0.2 a	1.90 \pm 0.2 b	6.77 \pm 0.2 a	8.43 \pm 0.4 a
SA 10 mM	46.67 \pm 1.3 a	53.32 \pm 0.7 a	14.42 \pm 0.3 c	2.20 \pm 0.3 b	6.55 \pm 0.3 a	7.36 \pm 0.5 a
MeJa 1 mM	54.10 \pm 1.3 c	45.89 \pm 0.8 c	12.61 \pm 0.4 a	1.57 \pm 0.3 a	8.03 \pm 0.3 a	7.73 \pm 0.4 a
MeJa 5 mM	54.94 \pm 0.8 c	45.05 \pm 0.6 c	10.26 \pm 0.2 b	1.93 \pm 0.2 b	5.31 \pm 0.2 a	7.80 \pm 0.5 a
MeJa 10 mM	52.35 \pm 1.2 a	47.64 \pm 0.9 d	12.20 \pm 0.3 a	1.13 \pm 0.2 a	10.79 \pm 0.3 b	10.16 \pm 0.7 c
OA 1 mM	55.95 \pm 0.9 c	44.14 \pm 0.7 c	10.88 \pm 0.2 b	1.30 \pm 0.3 a	8.36 \pm 0.3 a	6.73 \pm 0.3 b
OA 5 mM	51.19 \pm 1.2 a	48.80 \pm 0.8 d	11.87 \pm 0.3 a	1.50 \pm 0.4 a	7.91 \pm 0.3 a	8.20 \pm 0.5 a
OA 10 mM	58.92 \pm 0.8 b	41.07 \pm 0.9 b	11.79 \pm 0.4 a	1.30 \pm 0.3 a	9.06 \pm 0.3 b	7.10 \pm 0.6 a

* For each quality parameter, different letters within the column denote significant differences at $p < 0.05$ among treatments.

Total soluble solids, expressed as $^{\circ}$ Brix, was different depending on elicitor type and the applied dose (Table 1). The highest TSS was found in 10 mM SA- and MeSa-treated pitahayas ($\approx 15^{\circ}$ Brix), while the lowest content was observed in 5 mM MeSa- and MeJa-treated fruits ($\approx 10^{\circ}$ Brix) and OA at 1 mM compared to the values in controls ($\approx 12^{\circ}$ Brix). In relation to TA, the application of SA at the three concentrations, as well as MeJa at 5 mM, enhanced the TA with respect to control pitahayas, the values being similar to the MeSa- and OA-treated fruits independently of the applied doses. The lowest ripening index (RI, TSS/TA ratio) was shown for all SA treatments and MeJa at 5 mM (Table 1), while the highest one was observed in pitahayas treated with the maximum concentration tested (10 mM) of MeSa, MeJa, and SA.

4. Discussion

The harvest time of a fruit greatly affects the final quality based on the sugar and acidity content, uniform colour, texture, flavour, and aroma, and all of them depend on the ripening degree [22]. It is generally acceptable that the best quality is reached when the fruit ripens when attached on the plant, but also will influence the further storage. Since only a few studies have been published on the interrelationship between fruit development and quality in pitahaya fruits [5,23], and any reports are available for the use of elicitors and their role in yellow pitahaya growth and ripening, we planned to apply preharvest treatments with SA, MeSa, MeJa, and OA at 1, 5, and 10 mM in order to evaluate the growth, development, and ripening on the plants, focusing on the role of the different elicitors on crop yield performance and the pitahaya quality at harvest.

The pitahaya growth follows a single sigmoid curve, which is typical of non-climacteric fruit, such as pepper, lemon, table grape, or pomegranate, but also in climacteric fruits such as apple and pear, and contrarily to stone fruits which showed a double sigmoid

curve [24–26]. The application of the different preharvest elicitors increased pitahaya size with respect to control fruits, with an enhancement in both polar and equatorial diameters. Interestingly, polar diameter was maximum with the highest doses (10 mM) of MeSa, SA, and MeJa, and 5 mM OA, while the equatorial showed the maximum dimensions with the lowest doses (1 mM) of MeSa, SA, MeJa, and OA. The increase in pitahaya size was also accompanied by an enhancement of crop yield in both production (kg plant^{-1}) and number of fruit plant^{-1} . Moreover, all treatments and concentrations were effective in increasing the fruit weight with respect to controls. These effects are attributed to the enhancement of the photosynthetic rate, and thus more assimilates reach the fruit, producing bigger fruits, and also the increase in the number of fruits is attributed to the inhibition of the fruit abscission. Similar results were observed in other fruits, such as sweet cherry, plum, pomegranate, table grape, or tomato, among others [10]. However, these results might be related to the seed development, which should merit further investigation.

The effect of SA application was reported to be dependent on the applied concentration and fruit species. Generally, those fruits with non-edible peel (banana, pineapple, pomegranate, among others, etc.) will tolerate higher concentration in comparison with fruit having edible skin, such as plum, table grape, or cherries [12]. However, there are several situations in which SA at elevated concentrations negatively regulates the fruit development and growth [27], as observed for pitahaya treated with 10 mM SA, for which the lowest yield and number of fruits were obtained, although fruit weight was not negatively affected.

In plum, preharvest treatment with SA and MeSa at 0.5 mM increased fruit weight ($\approx 25\%$, on average) and total yield (between 10–20%), although the number of fruits per tree was not affected [28]. In pomegranate, SA and MeSa treatments enhanced crop yield, which was attributed to the higher number of fruits per tree, but not to fruit mass [29]. In two sweet cherry cultivars, their fruit volume was higher ($\approx 40\%$, on average) after preharvest treatment with MeSa at 0.5 and 1 mM, although the yield was not affected [30]. Some explanations could be related to SA ability on increasing the flowering rate, improving fruit set or decreasing fruit abscission. In this study, treatments were applied after fruit set, and thus the higher yield and the number of fruits could be related to lower abscission in comparison with the control pitahaya fruits, since salicylates reduce the normal fruit abscission [31].

It has been observed that MeJa treatments (at 1, 5, and 10 mM) affected the table grape maturation process and crop yield depending on the applied concentration. Therefore, MeJa at 1 mM advanced the berry ripening process (with a higher yield than controls, while a retardation was obtained in treated-pitahayas at 5 and 10 mM with dose-dependence effect [15]. Lower concentrations of MeJa (at 1, 0.1, and 0.01 mM) confirmed the acceleration of the ripening process, the highest yield being maximum with MeJa at 0.01 mM. On the contrary, MeJa treatments did not affect the fruit mass and size on sweet cherry [32], probably due to that one single treatment performed at the late growth period, specifically before harvest. It is well known that a delay in harvest causes a net increase in fruit weight, as reported for 2 mM MeJa applied to sweet cherry 1 week before harvesting, but failed if applications were made 2 or 3 weeks earlier [33]. In tomato, yield was enhanced after MeJa and SA preharvest treatments, the performance being higher in MeJa-treated plants, which has been attributed to the effect of MeJa on alleviating abiotic stress and is associated with an improvement of the net photosynthesis rate and productivity [34]. In pomegranates, jasmonic acid (JA) enhanced the size and quality traits of ‘Wonderful’ pomegranate [35], since JA plays essential roles in fruit and growth development [19]. In fact, MeJa at 0.5 mM not only enhanced the bioactive compounds and quality, but also increased the productivity and yield. In ‘Mollar de Elche’ pomegranate, application of MeJa (at 1, 5, and 10 mM) also increased crop yield, which was attributed to the number of fruits per tree, and it was not related to fruit weight [29]. Similarly, in date fruits, MeJa at 10, 20, and 50 mM showed that the highest yield was obtained for 50 mM, whereas the bunch weight also increased with both 20 and 50 mM [19].

In plum, preharvest application of OA (at 0.5, 1, and 2 mM) induced higher yield in control from the first harvest date, while the contrary occurred in the second one, suggesting that exogenous OA delays on-tree ripening process, although total yield and the number of fruits per tree were always higher in OA-treated trees [36]. Pomegranate trees treated with OA at the same concentrations resulted in higher crop yield due to a higher number of fruits, but with similar fruit weight with no dose-dependence effect [19].

The above elicitors have been proved to induce positive effects in terms of pitahaya crop yield, enhancing the number and weight of the fruits when treatments were applied at preharvest, but this effect was dependent on the type of elicitor and applied concentration. In addition, the percentage of pulp, TSS, TA, and firmness, which are the most important quality attributes in pitahaya, were also affected by preharvest elicitors. In relation to pulp content, all treatments showed higher pulp percentage (50–59%) and lower peel percentage (41–53%), with the exception of SA at 10 mM. These results agree with those reported by Morillo et al. [36] for yellow pitahaya under two productive systems: open field, and under cover.

Total soluble solids, TA, and firmness are important quality attributes for yellow pitahaya and are related to shelf life. TSS was unaffected by preharvest treatments at harvest, although MeSa and MeJa at 5 mM and OA at 1 mM showed a decrease in TSS content compared to control, while MeSa at 10 mM showed the contrary. In sweet cherry, MeSa at 1 or 2 mM also increased TSS and TA concentration [13]. TSS is a significant harvest criterion for pitahaya fruits, and the present results revealed that MeSa at 10 mM advanced the ripening process, while harvest could be delayed with OA at 1 mM and MeJa at 5 mM, in agreement with the results reported in table grape [19] and sweet cherry [37], in which MeJa also showed lower TSS levels than control [32], and was confirmed by the higher TA content of those treated pitahayas. For this parameter, all SA treatments induced a higher percentage of TA, which was unaffected in the remained treated-pitahaya. The application of lower doses of MeJa (0.1 and 0.01 mM) resulted in higher TSS and TA content in table grapes [19]. The highest fruit firmness was obtained for those pitahayas treated with MeJa at 10 mM, while MeSa at 5 mM and OA at 1 mM showed lower valued in firmness compared with control fruits. Accordingly, MeJa was more effective than SA on increasing tomato firmness, probably attributed to the reported role of MeJa on cell-wall metabolism by increasing the activity of the enzymes phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and peroxidase (POD) involved on lignin biosynthesis, and thus increasing fruit firmness [34]. OA has been also effective on enhancing fruit firmness in mango [37] and pomegranate [38], mainly due to a decrease in polygalacturonase and pectin methyl esterase enzymes activities, which resulted in a delay of the pectin degradation and rigidification of the cell wall.

In this paper, we report the beneficial effects of the elicitors SA, MeSa, MeJa, and OA in terms of crop performance (higher size, yield, and pitahaya quality). However, these positive effects, attributed to the role of the preharvest application of a particular elicitor at a given dose, cannot rule out the signalling crosstalk with other plant hormones or plant growth regulators that may be involved. Today, whether these elicitors modulate the high or low concentration of the plant hormones, their role during growth and ripening of yellow pitahaya are still unknown, although there is evidence in other fruit and vegetables [39]. SA is an essential signalling elicitor participating in plant responses to several type of stresses throughout a wide signalling crosstalk with ethylene, auxins, MeJa, abscisic acid, melatonin, or brassinosteroids [39–41]. The final result is the alleviation of the stress through both biochemical and physiological responses and also by the change in gene expression. In many cases, JA acts in concert with abscisic acid, ethylene, and SA to achieve a balance the fruit growth and the defence mechanisms leading to tree acclimation to the stress [42].

Among these hormones, there is synergism or antagonism depending on the applied concentration and date of application within the fruit growth cycle. However, it seems that all of them induced the antioxidant enzymes to counteract the reactive oxygen species (ROS) and the reactive nitrogen species (RNS). In line with this, in the future, the possible

role of the elicitors on the antioxidant enzymes deserves further investigation. In addition, it is necessary to confirm that these elicitors applied at preharvest will have a positive impact during postharvest storage.

5. Conclusions

This is the first report about the preharvest application of methyl salicylate, salicylic acid, methyl jasmonate, and oxalic acid as elicitors in pitahaya throughout its growth and developmental cycle. These elicitors induced benefits on pitahaya crop production, but the effect depended on the concentration tested. All elicitors increased pitahaya size in both polar (at higher doses, 10 mM) and equatorial (at lower doses, 1 mM) diameters, and fruit weight with the highest fruit mass being found with oxalic acid at 5 mM. Pitahaya yield was also enhanced, the methyl jasmonate at 10 mM being the most effective treatment ($\approx 20 \text{ kg plant}^{-1}$) followed by oxalic acid at 10 mM ($\approx 19 \text{ kg plant}^{-1}$). This enhancement on crop yield was due to higher number of fruits, especially with methyl jasmonate at 5 mM ($\approx 57 \text{ fruits plant}^{-1}$). On the other hand, preharvest elicitors were effective on improving pitahaya quality attributes. A higher pulp percentage was achieved in treated fruits, which was of the great interest in the juice extraction industry. The elicitors also possess the ability to modulate the pitahaya ripening without imparting negative effects on total soluble solids, total acidity, or firmness. Thus, methyl salicylate at 10 mM advanced the pitahaya ripening process, while methyl jasmonate at 5 mM and oxalic acid at 1 mM delayed it. Overall, preharvest treatments with methyl salicylate, salicylic acid, methyl jasmonate, and oxalic acid could be a promising and innovative tool to enhance pitahaya crop yield by obtaining fruits with higher size and weight and improve its quality traits at harvest. In the future, the effect of the elicitors on the yellow pitahaya during postharvest storage under low temperatures to determine the postharvest shelf-life should be investigated.

Supplementary Materials: The following supporting information can be downloaded at: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/horticulturae10050493/s1>, Figure S1: Experimental design with distribution of treatments at random in 3 blocks for pitahaya preharvest elicitors; Table S1: Results from the statistical analysis.

Author Contributions: Methodology, formal analysis, investigation, A.E.E.-L.; formal analysis, investigation, P.A.P.-G.; Methodology, formal analysis, investigation, M.E.G.-P.; supervision, writing—review and editing, M.S.; conceptualization, writing—original draft preparation, supervision, funding acquisition, D.V. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Data Availability Statement: Data are contained within the article and Supplementary Materials.

Acknowledgments: The authors extend their appreciation to Alfonso Sánchez (Algro Farm) for providing the experimental plants and the technical advice.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

1. Trujillo, D. Micoorganismos Asociados a la Pudrición Blanda del Tallo y Manchado del Fruto en el Cultivo de Pitahaya Amarilla. Bachelor's Thesis, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2014.
2. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAG). Primer Censo de Pitahaya. Available online: <https://www.agricultura.gob.ec/en-palora-morona-santiago-se-realiza-el-primer-censo-de-pitahaya/> (accessed on 29 February 2024).
3. Sotomayor, A.; Pitzaca, S.; Sánchez, M.; Burbano, A.; Díaz, A.; Nicolalde, J.; Viera, W.; Caicedo, C.; Vargas, Y. Physical chemical evaluation of pitahaya fruit (*Selenicereus megalanthus*) in different development stages. *Enfoque UTE* **2019**, *10*, 89–96. [\[CrossRef\]](#)
4. Rabelo, J.M.; Cruz, M.C.M.; Alves, D.A.; Lima, J.E.; Reis, L.A.C.; Santos, N.C. Reproductive phenology of yellow pitaya in a high-altitude tropical region in Brazil. *Acta Sci. Agron.* **2020**, *42*, e43335. [\[CrossRef\]](#)
5. Nerd, A.; Mizrahi, Y. Fruit development and ripening in yellow pitaya. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **1998**, *123*, 560–562. [\[CrossRef\]](#)
6. Dag, A.; Mizrahi, Y. Effect of pollination method on fruit set and fruit characteristics in the vine cactus *Selenicereus megalanthus* ("yellow pitaya"). *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* **2005**, *80*, 618–622. [\[CrossRef\]](#)
7. Kumar, S.; Issac, R.; Prabha, M. Functional and health-promoting bioactivities of dragon fruit. *Drug Invent. Today* **2018**, *10*, 3307–3310.

8. Díaz, Y.L.; Torres-Valenzuela, L.S.; Serna-Jiménez, J.A.; Sotelo, L.I. Encapsulation effect on spray drying of yellow pitahaya biocomponents of functional interest. *Inform. Tecnol.* **2017**, *28*, 23–34.
9. Sanín, A.; Navia, D.P.; Serna-Jiménez, J.A. Functional foods from crops on the Northern Region of the South American Andes: The importance of blackberry, yacon, açai, yellow pitahaya and the application of its biocompounds. *Int. J. Fruit Sci.* **2020**, *20*, S1784–S1804. [[CrossRef](#)]
10. Serrano, M.; Valero, D. Role of tree elicitor treatment on crop yield and pomegranate fruit quality parameters and bioactive compounds. *Acta Hort.* **2022**, *134*, 18. [[CrossRef](#)]
11. Lastochkina, O.; Aliniaiefard, S.; SeifiKalhor, M.; Bosacchi, M.; Maslennikova, D.; Lubyanova, A. Novel Approaches for Sustainable Horticultural Crop Production: Advances and Prospects. *Horticulturae* **2022**, *8*, 910. [[CrossRef](#)]
12. Chen, C.; Sun, C.; Wang, Y.; Gong, H.; Zhang, A.; Yang, Y.; Guo, F.; Cui, K.; Fan, X.; Li, X. The preharvest and postharvest application of salicylic acid and its derivatives on storage of fruit and vegetables: A review. *Sci. Hort.* **2023**, *312*, 111858. [[CrossRef](#)]
13. Giménez, M.J.; Valverde, J.M.; Valero, D.; Guillén, F.; Martínez-Romero, D.; Serrano, M.; Castillo, S. Quality and antioxidant properties in sweet cherries as affected by preharvest salicylic and Acetylsalicylic acids treatments. *Food Chem.* **2014**, *160*, 226–232. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Giménez, M.J.; Valverde, J.M.; Valero, D.; Díaz-Mula, H.M.; Zapata, P.J.; Serrano, M.; Moral, J.; Castillo, S. Methyl salicylate treatments of sweet cherry trees improve fruit quality at harvest and during storage. *Sci. Hort.* **2015**, *197*, 665–673. [[CrossRef](#)]
15. Valverde, J.M.; Giménez, M.J.; Guillén, F.; Valero, D.; Martínez-Romero, D.; Serrano, M. Methyl salicylate treatments of sweet cherry trees increase antioxidant systems in fruit at harvest and during storage. *Postharvest Biol. Technol.* **2015**, *109*, 106–113. [[CrossRef](#)]
16. García-Pastor, M.E.; Zapata, P.J.; Castillo, S.; Martínez-Romero, D.; Valero, D.; Serrano, M.; Guillén, F. Preharvest salicylate treatments enhance antioxidant compounds, color and crop yield in low pigmented-table grape cultivars and preserve quality traits during storage. *Antioxidants* **2020**, *9*, 832. [[CrossRef](#)]
17. García-Pastor, M.E.; Serrano, M.; Guillén, F.; Castillo, S.; Martínez-Romero, D.; Valero, D.; Zapata, P.J. Methyl jasmonate effects on table grape ripening, vine yield, berry quality and bioactive compounds depend on applied concentration. *Sci. Hort.* **2019**, *247*, 380–389. [[CrossRef](#)]
18. Martínez-Esplá, A.; Zapata, P.J.; Valero, D.; García-Viguera, C.; Castillo, S.; Serrano, M. Preharvest application of oxalic acid increased fruit size, bioactive compounds, and antioxidant capacity in sweet cherry cultivars (*Prunus avium* L.). *J. Agric. Food Chem.* **2014**, *62*, 3432–3437. [[CrossRef](#)]
19. García-Pastor, M.E.; Giménez, M.J.; Valverde, J.M.; Guillén, F.; Castillo, S.; Martínez-Romero, D.; Serrano, M.; Valero, D.; Zapata, P.J. Preharvest application of oxalic acid improved pomegranate fruit yield, quality, and bioactive compounds at harvest in a concentration-dependent manner. *Agronomy* **2020**, *10*, 1522. [[CrossRef](#)]
20. Kenanoğlu, B.B.; Mertoğlu, K.; Sülişoğlu Durul, M.; Korkmaz, N.; Çolak, A.M. Maternal Environment and Priming Agents Effect Germination and Seedling Quality in Pitaya under Salt Stress. *Horticulturae* **2023**, *9*, 1170. [[CrossRef](#)]
21. NTC 3554; Norma Técnica Colombiana. Frutas Frescas. Pitahaya amarilla. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC): Bogotá, Colombia, 1996; pp. 1–14.
22. Valero, D.; Serrano, M. *Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality*, 1st ed.; CRC-Taylor & Francis: Boca Raton, FL, USA, 2010.
23. Ortiz, S.A.; Takahashi, L.S.A. Physical and chemical characteristics of pitaya fruits at physiological maturity. *Genet. Mol. Res.* **2015**, *14*, 14422–14439. [[CrossRef](#)]
24. Serrano, M.; Guillén, F.; Martínez-Romero, D.; Castillo, S.; Valero, D. Chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry at different ripening stages. *J. Agric. Food Chem.* **2005**, *53*, 2741–2745. [[CrossRef](#)]
25. Díaz-Mula, H.M.; Zapata, P.J.; Guillén, F.; Martínez-Romero, D.; Castillo, S.; Serrano, M.; Valero, D. Changes in hydrophilic and lipophilic antioxidant activity and related bioactive compounds during postharvest storage of yellow and purple plum cultivars. *Postharvest Biol. Technol.* **2009**, *51*, 354–363. [[CrossRef](#)]
26. Li, K.T. Physiology and classification of fruits. In *Handbook of Fruits and Fruit Processing*; Sinha, N.K., Sidhu, J.S., Barta, S.J., Wu, J.S.B., Cano, M.P., Eds.; John Wiley & Sons: Oxford, UK, 2012; pp. 3–12.
27. Koo, Y.M.; Heo, A.Y.; Choi, H.W. Salicylic acid as a safe plant protector and growth regulator. *Plant Pathol. J.* **2020**, *36*, 1–10. [[CrossRef](#)]
28. Martínez-Esplá, A.; Zapata, P.J.; Valero, D.; Martínez-Romero, D.; Díaz-Mula, H.M.; Serrano, M. Preharvest treatments with salicylates enhance nutrient and antioxidant compounds in plum at harvest and after storage. *J. Sci. Food Agric.* **2017**, *98*, 2742–2750. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. Shi, Y.; Song, B.; Liang, Q.; Su, D.; Lu, W.; Liu, Y.; Li, Z. Molecular regulatory events of flower and fruit abscission in horticultural plants. *Hortic. Plant J.* **2023**, *9*, 867–883. [[CrossRef](#)]
30. Saracoglu, O.; Ozturk, B.; Yildiz, K.; Kucuker, E. Pre-harvest methyl jasmonate treatments delayed ripening and improved quality of sweet cherry fruits. *Sci. Hort.* **2017**, *226*, 19–23. [[CrossRef](#)]
31. Faizy, A.H.; Ozturk, B.; Aglar, K.Y.; Yildiz, K. Role of methyl jasmonate application regime on fruit quality and bioactive compounds of sweet cherry at harvest and during cold storage. *J. Food Process. Preserv.* **2021**, *45*, e15882. [[CrossRef](#)]

32. Baek, M.W.; Choi, H.R.; Yun Jae, L.; Kang, H.-M.; Lee, O.-H.; Jeong, C.S.; Tilahun, S. Preharvest treatment of methyl jasmonate and salicylic acid increase the yield, antioxidant activity and GABA content of tomato. *Agronomy* **2021**, *11*, 2293. [[CrossRef](#)]
33. Hussein, A.S.; Ibrahim, R.A.; Eissa, M.A. Exogenous pre-harvest application of abscisic and jasmonic acids improves fruit quality by enhancing sugar synthesis and reducing acidity in pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Wonderful). *J. Soil Sci. Plant Nutr.* **2023**, *23*, 2237–2246. [[CrossRef](#)]
34. Asghari, M.; Merrikhi, M.; Kavooosi, B. Methyl jasmonate foliar spray substantially enhances the productivity, quality and phytochemical contents of pomegranate fruit. *J. Plant Growth Regul.* **2020**, *39*, 1153–1161. [[CrossRef](#)]
35. Fekry, W.M.E.; Rashad, Y.M.; Alaraidh, I.A.; Mehany, T. Exogenous application of melatonin and methyl jasmonate as a pre-harvest treatment enhances growth of Barhi date palm trees, prolongs storability, and maintain quality of their fruits under storage conditions. *Plants* **2022**, *11*, 96. [[CrossRef](#)]
36. Morillo, A.C.; Manjarres, E.H.; Pedreros, M.C. Characterization of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) genotypes under two productive systems in Colombia. *Braz. J. Biol.* **2023**, *83*, e274152. [[CrossRef](#)]
37. Razzaq, K.; Khan, A.S.; Malik, A.U.; Shahid, M.; Ullah, S.E. Effect of oxalic acid application on Samar Bahisht Chaunsa mango during ripening and postharvest. *LWT Food Sci. Technol.* **2015**, *63*, 152–160. [[CrossRef](#)]
38. García-Pastor, M.E.; Serrano, M.; Guillén, F.; Giménez, M.J.; Martínez-Romero, D.; Valero, D.; Zapata, P.J. Preharvest application of methyl jasmonate increases crop yield, fruit quality and bioactive compounds in pomegranate 'Mollar de Elche' at harvest and during postharvest storage. *J. Sci. Food Agric.* **2020**, *100*, 145–153. [[CrossRef](#)]
39. Kaya, C.; Ugurlar, F.; Ashraf, M.; Ahmad, P. Salicylic acid interacts with other plant growth regulators and signal molecules in response to stressful environments in plants. *Plant Physiol. Biochem.* **2023**, *196*, 431–443. [[CrossRef](#)]
40. Li, N.; Han, X.; Feng, D.; Yuan, D.; Huang, L.-J. Signaling Crosstalk between Salicylic Acid and Ethylene/Jasmonate in Plant Defense: Do We Understand What They Are Whispering? *Int. J. Mol. Sci.* **2019**, *20*, 671. [[CrossRef](#)]
41. Ádám, A.L.; Nagy, Z.Á.; Kátay, G.; Mergenthaler, E.; Viczián, O. Signals of Systemic Immunity in Plants: Progress and Open Questions. *Int. J. Mol. Sci.* **2018**, *19*, 1146. [[CrossRef](#)]
42. Liu, H.; Timko, M.P. Jasmonic Acid Signaling and Molecular Crosstalk with Other Phytohormones. *Int. J. Mol. Sci.* **2021**, *22*, 2914. [[CrossRef](#)]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

4.2 Publicación 2

Publicación 2 (Transcripción literal)

Preharvest Elicitors as a Tool to Enhance Bioactive Compounds and Quality of Both Peel and Pulp of Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) at Harvest and during Postharvest Storage.

Erazo-Lara, A.; García-Pastor, M.E.; Padilla-González, P.A.; Valero, D.; Serrano, M.

Int. J. Mol. Sci. 2024, 25, 5435

<https://doi.org/10.3390/ijms25105435>



Article

Preharvest Elicitors as a Tool to Enhance Bioactive Compounds and Quality of Both Peel and Pulp of Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) at Harvest and during Postharvest Storage

Alex Erazo-Lara ^{1,2}, María Emma García-Pastor ³, Pedro Antonio Padilla-González ², Daniel Valero ^{2,*} and María Serrano ^{3,*}

¹ Escuela Politécnica Superior de Chimborazo (ESPOCH), Sede Morona Santiago, Macas 140101, Ecuador; alex.erazol@epoch.edu.ec

² Department of Food Technology, Escuela Politécnica Superior de Orihuel—Centro de Investigación e Innovación Agroalimentario y Agroambiental, University Miguel Hernández, Ctra. Beniel Km. 3.2, 03312 Orihuela Alicante, Spain; ppadilla@umh.es

³ Department of Applied Biology, Escuela Politécnica Superior de Orihuel—Centro de Investigación e Innovación Agroalimentario y Agroambiental, University Miguel Hernández, Ctra. Beniel Km. 3.2, 03312 Orihuela Alicante, Spain; m.garciap@umh.es

* Correspondence: daniel.valero@umh.es (D.V.); m.serrano@umh.es (M.S.); Tel.: +34-966749743 (D.V.); +34-966749616 (M.S.)

Citation: Erazo-Lara, A.; García-Pastor, M.E.; Padilla-González, P.A.; Valero, D.; Serrano, M. Preharvest Elicitors as a Tool to Enhance Bioactive Compounds and Quality in Both Peel and Pulp of Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) at Harvest and during Postharvest Storage. *Int. J. Mol. Sci.* **2024**, *25*, 5435. <https://doi.org/10.3390/ijms25105435>

Academic Editor: Stephan Pollmann

Received: 14 April 2024

Revised: 11 May 2024

Accepted: 13 May 2024

Published: 16 May 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Yellow pitahaya is a tropical fruit that has gained popularity in recent years. Natural elicitors are compounds that can stimulate the resistance and quality of fruits. The objective of this study was to evaluate the effects of natural elicitors, methyl salicylate (MeSa), methyl jasmonate (JaMe), salicylic acid (SA) and oxalic acid (OA) at concentrations of 0.1 mM (MeSa and JaMe) and 5 mM (SA and OA), applied to the yellow pitahaya fruits under greenhouse conditions. After full blossom, four applications were made with a frequency of 15 days. At the time of harvest and after storage, the following variables were evaluated: firmness (whole fruit), total soluble solids (TSS), total acidity (TA), phenolics and carotenoids (in the pulp), while phenolics, carotenoids, macronutrients and micronutrients were determined in the peel. The results showed MeSa advanced the fruit maturation, according to higher TSS, lower TA and firmness than MeJa-treated fruits, for which a delayed ripening process was shown. All treatments induced a higher polyphenolic concentration during storage. Regarding the alternative use of the peel as a by-product, the application of natural elicitors significantly increased the content of polyphenols, carotenoids, macronutrients and micronutrients in the peel, especially MeSa, which can be used as a bioactive compound in the food industry. In conclusion, the results indicate that natural elicitors can be an alternative to improve the quality and shelf life of yellow pitahaya fruits.

Keywords: methyl salicylate; salicylic acid; methyl jasmonate; oxalic acid; bioactive compounds; phenolics; carotenoids

1. Introduction

Pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) is a native plant of the *Cactaceae* family, known worldwide as “dragon fruit” [1]. The province of Morona Santiago, especially the Palora canton, is among the main pitahaya-producing areas in Ecuador, this activity being an important source of employment and economic income for the country [2]. Yellow dragon fruit has gained popularity in the food industry and export due to its water content, nutrients and bioactive compounds, such as glucose, vitamins, organic acids, soluble dietary fibre and constituent minerals [3]. Pitahaya is considered an exotic fruit that originates

the wild by Spanish conquistadors, who christened the term “pitahaya”, which refers to its scaly appearance. Currently, the existence of more than one species of pitahaya is recognized, given that human intervention and influence have given rise to its diversity that encompasses both morphological and organoleptic aspects: red pitahaya (*Hylocereus undatus*) and the yellow. Compared with the red pitahaya, the Palora ecotype has higher values of firmness, total acidity (TA), total soluble solids (TSS), vitamin C, antioxidant capacity and total polyphenols [4]. Yellow pitahaya is characterized by its attractive colour and the composition of bioactive moieties, such as flavonoids and other polyphenolic compounds [5]. When consumed, it can provide functional actions, supporting immunity and performing antimicrobial, antioxidant, hepatoprotective, hypoglycaemic, healing and antiproliferative activities [6].

Although the cultivation and commercialization of the yellow pitahaya has gained relevance in the agri-food industry, due to the growing demand in both the national and international markets, there are significant challenges in relation to the quality and management of this exotic fruit, especially with regard to optimizing its production and sustainable use, the growth and ripening process and postharvest handling [7]. In this sense, the use of natural elicitor compounds could be a good alternative. Elicitors present a viable option to promote sustainable agriculture to replace the use of agrochemicals in the production of food and other resources useful to people. To date, there has been no report indicating that the use of elicitors, regardless of whether they are of biotic or abiotic origin, generates adverse effects on plants, human health or the surrounding environment [8].

Agricultural crops are very sensitive to different abiotic stresses due to abnormal climatic changes, the increase in atmospheric temperature being one of the most crucial factors, affecting crop yield performance, food quality, security, availability and nutrient deficiencies, among others [9,10]. Therefore, it is necessary to mitigate climate change and adopt efficient measurements. Although there are many research limitations, the use of natural elicitors has been proved to be effective at counteracting the negative effects of climate change. These elicitors include methyl salicylate (MeSa), methyl jasmonate (JaMe), oxalic acid (OA) and salicylic acid (SA). The preharvest application of these compounds was effective on increasing crop yield and quality at the time of harvest and after storage in several fruit commodities, such as table grape, pomegranate and sweet cherry [11–15]. These elicitors can stimulate the defence responses of plants by the activation of phenolic compounds and antioxidant enzymes, which have the ability to counteract the negative effects of reactive oxygen species (ROS) [16].

As yellow pitahaya production advances, its relevance for industrial uses increases. This process involves the extraction of the pulp and generating a vast amount of disposable by-product, including the epicarp and part of the mesocarp [17,18]. The pitahaya peel, which accounts 35–45% of the total fruit, contains fibre, polyphenols, macro- and micronutrients, which represent a potential source for various industries, such as pharmaceuticals, cosmetics and nutraceuticals, among others [19]. Pitahaya peels contain 75.2% fibre and high amounts of vitamin C and magnesium, which makes them suitable for the production of products rich in fibre, such as cookies and fritters [20].

Given the above, there is little scientific evidence on the effect of the application of natural elicitors on the quality of yellow pitahaya fruit and the use of the peel as a source of bioactive compounds for composting. This research evaluated the effect of four natural elicitors, methyl salicylate (MeSa), methyl jasmonate (JaMe), oxalic acid (OA) and salicylic acid (SA), on the quality of pitahaya at the time of harvest and after storage, as well as the peel's bioactive compounds. By addressing these aspects, the aim is to contribute to the development of more sustainable agricultural practices and the improvement of the dragon fruit value chain, benefiting both producers and consumers and the environment.

2. Results

The objective of this study was to evaluate the effects of the natural elicitors methyl salicylate (MeSa), methyl jasmonate (JaMe), salicylic acid (AS) and oxalic acid (AO) at

2. Results

The objective of this study was to evaluate the effects of the natural elicitors methyl salicylate (MeSa), methyl jasmonate (JaMe), salicylic acid (SA) and oxalic acid (AO) at concentrations of 0.1 mM and 5 mM, respectively, applied four times during the growth of yellow pitahaya fruits under greenhouse conditions located in Palora, Ecuador. The efficacy of these treatments on pitahaya quality at harvest was evaluated, as well as the peel to be used as a by-product. Finally, the pitahaya fruits were stored to evaluate the fruit quality and the expected shelf life.

2.1. Fruit Quality at Harvest and during Postharvest Storage

The pitahaya quality at harvest and during storage at 10 °C was evaluated by three parameters: TSS and TA (Figure 1) and fruit firmness (Figure 2).

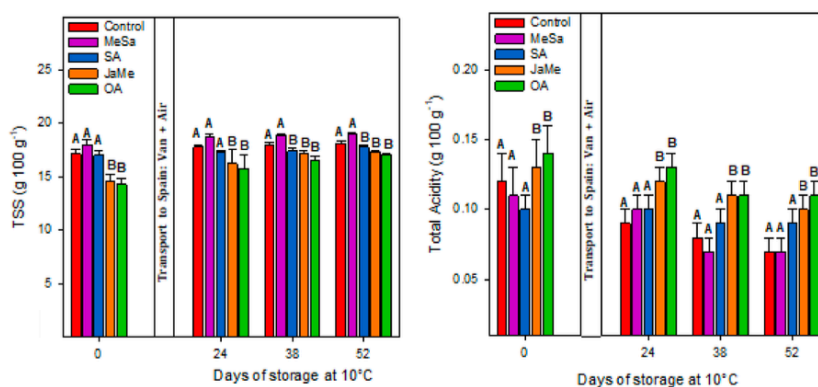


Figure 1. Total soluble solids (TSS) and total acidity (TA) concentration in pitahaya fruits as affected by preharvest treatments with methyl salicylate (MeSa), salicylic acid (SA), methyl jasmonate (JaMe) and oxalic acid (OA) and the control (untreated). For each sampling date, bars (mean \pm SE) with different letters show significant differences at $p \leq 0.05$.

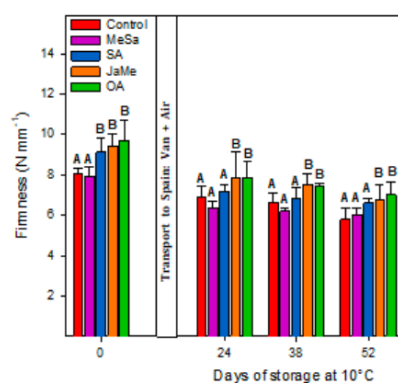


Figure 2. Firmness ($N\ mm^{-1}$) values in pitahaya fruits as affected by preharvest treatments with methyl salicylate (MeSa), salicylic acid (SA), methyl jasmonate (JaMe) and oxalic acid (OA) and the control (untreated). For each sampling date, bars (mean \pm SE) with different letters show significant differences at $p \leq 0.05$.

At harvest time, the fruits treated with MeSa and SA and the control showed significantly higher TSS (17–18 °Brix) and lower TA ($\approx 0.10 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) compared with those treated with JaMe and OA, in which lower TSS (14–15 °Brix) and higher TA ($\approx 0.14 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) were obtained. Similarly, firmness (Figure 2) was higher in the pitahayas treated with SA, JaMe and OA ($\approx 9\text{--}19 \text{ N mm}^{-1}$), while the contrary occurred with the fruit treated with MeSa and the control (8 N mm^{-1}). During postharvest storage, the same behaviour was observed, with MeSa and the control being the treatments that exhibited higher TSS and lower TAA and firmness compared with the pitahayas treated with SA, JaMe and OA. It was noticeable that for all treatments, TSS slightly increased during storage, while for TA and firmness, a significant diminution was obtained.

2.2. Mineral Composition and Bioactive Content of the Peel

The peel of the recently harvested pitahayas was used for the determination of the mineral composition (Figure 3) and total phenolics and carotenoids (Figure 4).

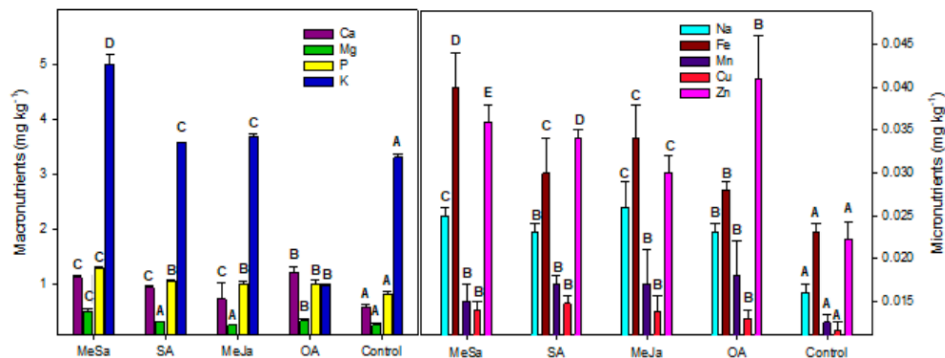


Figure 3. Concentration of Ca, Mg, P and K (macronutrients) and Na, Fe, Mn, Cu and Zn (micronutrients) in the peel of pitahaya fruits as affected by preharvest treatments with methyl salicylate (MeSa), salicylic acid (SA), methyl jasmonate (JaMe) and oxalic acid (OA) and the control (untreated). For each mineral, bars (mean \pm SE) with different letters show significant differences among treatments at $p \leq 0.05$.

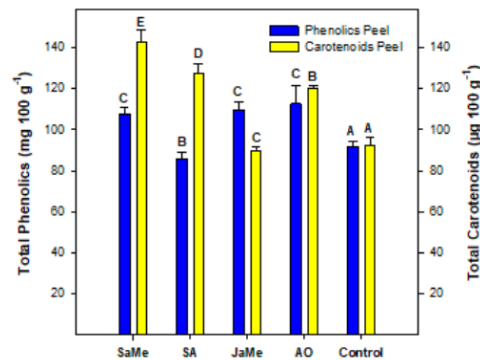


Figure 4. Concentration of total phenolics and carotenoids in the peel of pitahaya fruits as affected by preharvest treatments with methyl salicylate (MeSa), salicylic acid (SA), methyl jasmonate (JaMe) and oxalic acid (OA) and the control (untreated). For each bioactive compound, bars (mean \pm SE) with different letters show significant differences among treatments at $p \leq 0.05$.

The content of all macronutrients Ca, P and K was significantly higher in the peel of all pitahaya treated fruits than in the control samples, while Mg was significantly higher in the MeSa- and OA-treated peels (Figure 3). The cation K was found to be the major mineral followed by P, with the content of Mg being a minor macronutrient. Among the treatments, MeSa was the most effective elicitor in increasing the content of all micronutrients.

With respect to the bioactive compounds, all treatments were effective in increasing the concentration of total carotenoids in the peel of the pitahaya fruits, with the exception of JaMe (Figure 4). On the other hand, the same behaviour was observed for the concentration of total phenolics, with the exception of SA-treated peels, which showed the lowest content.

2.3. Bioactive Compounds and Antioxidant Activity at Harvest and during Postharvest Storage

At harvest, the content of total phenolics and total antioxidant activity (hydrophilic) was higher in the SA-, JaMe- and OA-treated pitahayas than those obtained in the MeSa-treated and control fruits (Figure 5). During storage, the phenolic concentration for the control fruits remained unchanged, while the total antioxidant activity showed a significant diminution, reaching the lowest activity (≈ 30 mg of Trolox eq. 100 g^{-1}). On the contrary, the total polyphenol content (Figure 5) increased during storage for all treated pitahaya fruits (≈ 18 mg of gallic acid eq. 100 g^{-1}). The determination of the total antioxidant activity revealed that all treated pitahayas saw significant decreases in their values, as did the control fruits, and also reached the minimum activity at the end of storage (≈ 30 mg of Trolox eq. 100 g^{-1}).

At harvest, the content of total carotenoids in the pulp (Figure 6) was significantly higher in the SA-, JaMe- and OA-treated pitahayas ($\approx 40\text{--}60\ \mu\text{g}\ \beta\text{-carotene eq. }100\text{ g}^{-1}$) than those obtained in the MeSa-treated and control fruits ($\approx 20\ \mu\text{g}\ \beta\text{-carotene eq. }100\text{ g}^{-1}$). The highest carotenoid content was shown for pitahayas treated with SA. With respect to the total antioxidant activity (lipophilic) at harvest, all pitahayas treated showed significantly higher activity ($\approx 5\text{--}7$ mg of Trolox eq. 100 g^{-1}) than the control fruits (≈ 3 mg of Trolox eq. 100 g^{-1}).

During storage, the carotenoid concentration for the control fruits remained unchanged, while treated pitahayas showed a significant increase, especially with the application of OA ($\approx 90\text{--}100\ \mu\text{g}\ \beta\text{-carotene eq. }100\text{ g}^{-1}$) and JaMe ($\approx 90\ \mu\text{g}\ \beta\text{-carotene eq. }100\text{ g}^{-1}$). The total antioxidant activity (lipophilic) during storage revealed that for all control and pitahaya treated fruits, a significant reduction was shown, although the values were always significantly higher in the treated than in the control fruits. Interestingly, the elicitor that induced the highest lipophilic activity was MeSa.

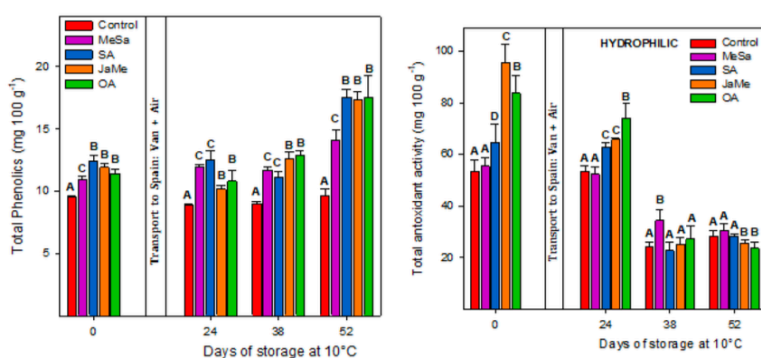


Figure 5. Total phenolics and hydrophilic antioxidant activity concentration in the pulp of pitahaya fruits as affected by preharvest treatments with methyl salicylate (MeSa), salicylic acid (SA), methyl jasmonate (JaMe) and oxalic acid (OA) and the control (untreated). For each sampling date, bars (mean \pm SE) with different letters show significant differences at $p \leq 0.05$.

Finally, the hydrophilic antioxidant activity was higher (≈ 50 -fold) than the lipophilic one in the pulp of yellow pitahayas. The comparison between peel and pulp demonstrated that the concentration of total phenolics and carotenoids was 10-fold and 2.5-fold higher, respectively, in the peel than in the pulp.

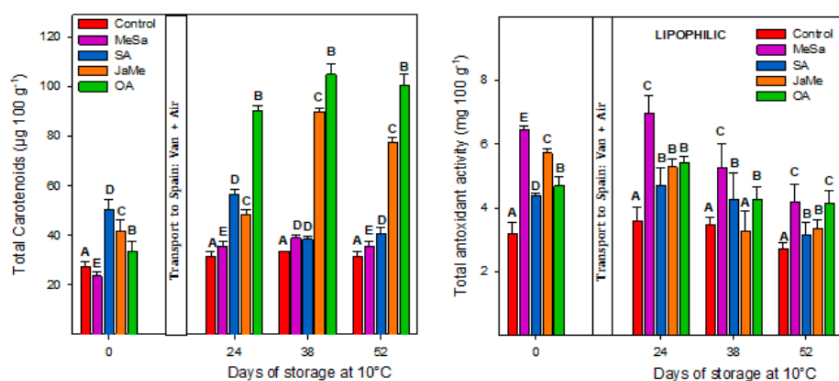


Figure 6. Total carotenoids and lipophilic antioxidant activity concentration in the pulp of pitahaya fruits affected by preharvest treatments with methyl salicylate (MeSa), salicylic acid (SA), methyl jasmonate (JaMe) and oxalic acid (OA) and the control (untreated). For each sampling date, bars (mean \pm SE) with different letters show significant differences at $p \leq 0.05$.

3. Discussion

The pitahaya is divided in two genera: *Hylocereus* (red skin and white or pink flesh) and *Selenicereus* (yellow skin and white flesh). Most of the research has been carried out on red varieties [3,17] compared to the limited knowledge about the growth process, maturation, postharvest potential and shelf life of other varieties [4].

With the aim of providing new knowledge on the quality of yellow pitahaya at the time of harvest and its behaviour during postharvest storage, in this study, we consider the use of different elicitors, applied at preharvest, and their influence on several organoleptic, nutritional and functional quality parameters. In addition, some properties of the peel of yellow pitahaya were evaluated with the objective to be used as a by-product.

At harvest time, the preharvest application of the elicitors affected differentially the quality traits in yellow pitahaya, since JaMe and OA showed higher values of firmness and TA and lower TSS, while MeSa and SA showed the contrary and exhibited similar behaviour to the control fruits. These results demonstrate that the on-tree ripening process was delayed in the fruits treated with JaMe and OA, while MeSa and SA advanced the ripening process of pitahaya. The ripening process is accompanied by fruit softening and is related to the degradation of cell wall components, such as pectin and cellulose, by the action of the cell wall enzymes polygalacturonase (PG), pectin methylesterase (PME) and cellulase (CEL) causing the decomposition of cellulose and hemicelluloses [21]. This softening process is accompanied by the increase in TSS parallel to the TA diminution. The differences found at harvest were also maintained during postharvest storage, in which after 52 days, the pitahayas treated with JaMe and OA maintained a higher firmness and TA and lower TSS than MeSa and SA.

SA and its derivative MeSa are naturally occurring and considered safe [22] and, when applied as preharvest treatment, could have roles as plant growth regulators and as inducers of SAR, in turn alleviating the devastating effects of abiotic stresses [16,23]. During pitahaya growth, ripening and postharvest storage, both SA and MeSa enhanced TSS but induced lower TA and firmness, these effects being related to an advancement of the

ripening process. TSS and TA are good indicators of sweetness and sourness, respectively, with the most important parameter of fruit being taste, which determines consumer acceptability and purchase decisions [21]. During storage, the decrease in TSS and TA is mainly caused by the increase in respiration rate by utilizing the reserved substances [24]. SA and MeSa have been reported to modulate these quality traits, although the effects depended on fruit species, the type of elicitor, concentration and the number of applications. For instance, preharvest SA (1, 2 and 3 mM) applied to lime resulted in hastening maturity for all doses [25], similarly to grapes at 1, 1.5 and mM [26], and in contrast, SA at 1 mM accelerated ripening, but at 2 mM, a delay was observed in peach [27]. Table grapes treated with SA (0.01 mM) and MeSa (0.1 mM) increased TSS, while ASA (acetylsalicylic acid 1 mM), which is an SA derivative, decreased TSS at harvest [28].

In our previous report on pitahaya [29], preharvest SA and MeSa applied at 1, 5 and 10 mM increased TSS with the doses of 1 and 10 mM of MeSa and SA at 1 and 5 mM. In addition, the elicitors increased yield productivity and fruit weight. All elicitors induced benefits on pitahaya crop production, but the effect depended on the concentration tested. All elicitors increased pitahaya size in both polar and equatorial diameters, and the fruit weight with the highest fruit mass was found with oxalic acid at 5 mM. These results justify the concentration used in this study for storage. It seems that SA could increase the translocation of sugars from the leaves to the pitahaya and thus lead to the enhancement of TSS. During fruit growth and development, sucrose is accumulated due to the increase in the enzymes sucrose phosphate synthase and sucrose phosphatase [30], but during ripening, sucrose levels decrease parallelly to the increased levels of nonreducing sugar content, mainly glucose and fructose. However, the higher sugar translocation could be due also to the possible role of the elicitors in increasing vegetative (foliar) growth.

Methyl jasmonate (MeJA) is a volatile hormone derived from jasmonic acid involved in a wide range of plant functions, acting as a signal in response to abiotic stresses and modulating the biosynthesis of other plant growth regulators [31,32]. Plants synthesize this hormone in defence against biotic and abiotic stresses but also modulate fruit growth and ripening [33]. The higher TA and firmness and the lower TSS in MeJA-treated pitahaya may be attributed to the ripening-retarding effects of MeJA and a delay in the senescence process. It is noteworthy that MeJA positively affects fruit growth and crop quality, this issue being extensively reported in several fruit commodities. Also, the MeJA effects on these quality traits in pitahaya applied at preharvest remained also during postharvest storage. Accordingly, postharvest MeJA treatments have been demonstrated to modify the properties of fruits during postharvest storage [34].

In this sense, MeJA increased the sugar content in peach, leading to an enhancement of nutritional quality [35]. MeJA applied to Kinnow mandarin as preharvest treatment at 0.1, 0.3, 0.5 and 0.7 mM showed higher fruit firmness and TA and a lower TSS/TA ratio (indicative of the ripening index), 0.5 mM being the most effective in delaying the ripening [36]. Also, preharvest MeJA treatments resulted in higher fruit firmness values at harvest for all the evaluated cultivars, including 'Early Lory', 'Prime Giant' and 'Sweetheart', during four (2019–2022) different growing seasons [37]. It seems that MeJA leads to firmer fruit by direct action since this volatile compound can enhance the integrity of the cell wall [38]. Moreover, indirect action has been also proposed by which MeJA delayed fruit softening due to an elevated and stable level of Ca^{2+} content in the cell walls. Other authors suggest that MeJA activates pectin methylesterase (PME) enzymes, with the liberation of methyl esters from the pectins and generation of free pectins that could cross-link with Ca^{2+} , thus increasing cell wall firmness [39].

On the other hand, oxalic acid (OA) is a naturally occurring organic acid belonging to the Krebs cycle, with multiple functions that alter plant metabolism. According to research carried out during the last two decades, OA has been proven to have antioxidant activity, focusing essentially on the enhancement of crop yield and quality, but it has also been shown to delay postharvest ripening and senescence [40,41]. In yellow pitahaya, the

preharvest application of OA showed similar results to those obtained for MeJa-treated fruits, that is, a delay of the ripening based on lower TSS and higher TA and firmness.

The role of organic acids in general, and particularly OA, play an essential role in modulating fruit ripening and delaying senescence during postharvest storage, as well as upregulating the resistance against both abiotic and biotic stresses. Pre- and postharvest OA applications have been widely used with the objective to improve fruit quality at harvest. Preharvest OA in sweet cherry [14] and pomegranate [13] showed a clear delay in ripening and senescence, with net benefits in terms of quality. The higher firmness in OA-treated pitahayas probably related to the biosynthesis of oxalate-soluble pectin and the inhibition of pectin solubilization, with this maintaining higher fruit firmness [21]. This effect was shown in other fruits such as peach and lemon [42,43]. Higher levels of TA could be related to lower respiration rates, since organic acids are the primary substrates to be used in the respiration physiological process.

The edible part of the pitahaya is the pulp, which is mainly consumed as fresh fruit, juices, jams, ice cream and dessert [44]. However, the fruit has an important part, peel (which account for between 40 and 50% of the total mass), which currently is considered waste but could have some potential to be used as a by-product. In the case of yellow pitahaya, there is almost no literature about the composition of the peel, although there is knowledge in the case of red varieties [45].

According to the latest figures, about 1.3 billion tonnes of food and food by-products are wasted each year, the agroindustry sector being very significative of this, since fruit peels are a good source of high-value-added functional compounds to be used in food, pharmaceutical or cosmetic industries [46]. The fruit of yellow pitahaya is formed by the peel or skin, which accounts for 35–45% of the total mass, pulp that has a mass of 50–55% and black seeds. Dragon fruit peels are by-products of juice production that are usually wasted, but they are rich in polyphenols, vitamins and dietary fibres [47]. Several studies have shown that pitahaya can alleviate some diseases including cardiovascular diseases and metabolic syndromes due to the occurrence of bioactive compounds such as polyphenols, betacyanins or vitamins that can be found in both in the peel or pulp of red pitahayas species [48]. However, there is no available literature about the use of the peel of yellow pitahaya, which could have the potential to be used in the food industry as functional ingredients, nutraceutical compounds or edible films. Thus, the peels may be used as fat substitutes, enhancing the nutritional value and functional properties of food.

As a first approximation, we analysed the mineral composition, total phenolics and total carotenoids in the peel of yellow pitahaya cv. Palora. With respect to mineral composition in the peel of pitahaya, the preharvest elicitors contained a higher concentration of the macronutrients Ca, P and K, with Mg being significantly higher in the peel of MeSa- and OA-treated pitahayas. All micronutrients (Fe, Mn, Cu, Zn and Na) were higher in the treated pitahaya, with MeSa being the most effective elicitor in increasing the content of all minerals. Numerous studies found that pitahaya (red species) has more mineral content (K, P, Na, Mg, Fe and Ca) than other tropical fruits, such as pineapple or mango [49]. Shah et al., 2020 [50], reported that the total ash and mineral contents of the peel were 2-fold higher than those obtained in the pulp, studying several pitahayas species, either red or yellow fruits.

All treatments induced increased concentrations of total carotenoids in the peel of the pitahaya fruits, with MeSa being the most effective elicitor. There is no literature reporting the carotenoids in the peel of yellow pitahaya for comparative purposes, although there is some evidence in other red pitahayas. The total carotenoids content in the peel of *H. costaricensis* (red pitahaya) at commercial ripening were $\approx 2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ [51]. In a comparative study with three pitahaya peels (*Hylocereus undatus*, *Hylocereus costaricensis* and *Hylocereus megalanthus*), the total carotenoids were found in the range of $18\text{--}24 \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$, with the main compounds being xanthophyll and β -Carotene [52]. The market of natural pigments has been growing in the last decade as consumer demand alternatives to synthetic colorants, which are considered harmful. Then, exploring natural and eco-friendly

pigments is therefore necessary [53]. Contrary to red pitahaya, which is rich in red pigments (betalains and anthocyanins), the peel of yellow pitahaya (rich in carotenoids) has not been studied in depth and should be considered as a potential source of carotenoids.

The preharvest application of MeSa, JaMe and OA showed a higher content of total phenolics in the peel, while SA-treated peels had lower concentrations. On average, total polyphenol concentrations ranged between 90 and 100 mg gallic acid eq. 100 g⁻¹ in the peel of yellow pitahaya. It was reported [54] that total phenol and flavonoid (6 and 20 mg g⁻¹, respectively) contents reached their maximum at stage 1 (immature fruits) and decreased progressively as fruit development advanced, reaching the lowest levels at harvest time.

The main phenolic compounds found in the peel of red pitahaya belongs to the flavonoid group. Recent studies identified 16 phenolic acids including derivatives of benzoic and ellagic acid [5,55]. The peel of three cultivars of *Hylocereus undatu* increased gradually the content of total phenolics during fruit ripening until reaching the maximum at the time of harvest, the concentration being higher than those obtained in the pulp, suggesting that pitaya peels could be considered as good sources of natural phenols [56]. The phenolic content in the peel of red (*Hylocereus monacanthus*) and yellow (*Hylocereus megalanthus*) pitahaya ecotypes confirmed that the peel had higher total polyphenols (2-fold) than the pulp of the red species, but the contrary occurred in the yellow pitahaya since the pulp had a 12% higher content than the peel [57]. The higher content of total phenolics in the peel of yellow pitahaya treated with the elicitors supports the idea that the peel could have a potential in the food industry to be used in nutritional supplements. Recently, the mucilage of the peel of yellow pitahaya has been postulated as an innovative hydrocolloid to be used in the food industry because it is a good source of dietary fibre with a potent antioxidant activity, as well as good solubility, a high water retention efficiency and an excellent capacity to form emulsions [58]. Also, biscuits made with 50% refined wheat flour and 50% peel powder from pitahaya increased 5-fold the fibre content as well as the amount of gallic acid, and the biscuit has been considered palatable and of a good quality [59].

In recently harvested fruits, the concentration of total phenolics and total antioxidant activity (hydrophilic) was higher in the pulp treated with SA, JaMe and OA and lower in those treated with MeSa and the control fruits. These differences were maintained for the entire period of postharvest storage (52 days at 10 °C), although the content of total phenolics increased during storage, while the contrary occurred for the total antioxidant activity. Interestingly, the levels of total phenolics in control pitahayas remained unchanged during storage, while MeSa-treated fruits enhanced the total phenolics. Accordingly, the application of MeSa during fruit growth has been shown to increase the content of polyphenols of several fruits at harvest and during cold storage, such as grape and sweet cherry, among others [11,16,28]. Similarly, JaMe and OA enhanced the total phenolics of table grapes, pomegranate and sweet cherry at the time of harvest and also during postharvest storage [12,13].

MeJa applied as postharvest treatment in red pitahaya induced higher total flavonoids, phenolics, anthocyanins and antioxidant activity measured by FRAP and DDPH assays [60]. In a comparison of three species (*H. costaricensis*, *H. undatus* and *H. megalanthus*), the content of total phenolics in the pulp was 33, 23 and 22 mg gallic acid eq. 100 g⁻¹, *H. costaricensis* being the fruit with the highest antioxidant activity, 15-fold higher than *H. undatus* and *H. megalanthus* [61]. The three species differ in the colour of the peel and flesh, and it can be concluded that total phenol content and antioxidant capacity are notably higher in red-fleshed fruits than white-fleshed fruits. This was confirmed by [62], regarding their results for *Hylocereus polyrhizus* *Hylocereus undatus*, in which the main phenolic compound in both pitahayas was quercetin.

At the time of harvest, the total carotenoid content was affected by preharvest treatment, with SA, JaMe and OA being the elicitors showing higher concentrations than those treated with MeSa and the control fruits. The concentration of carotenoids in pitahaya species, either red or yellow, has not been investigated in depth, although some evidence exists. Four xanthophylls (lutein, neoxanthin, violaxanthin and dihydroxy

dihydrozeaxanthin) and two carotenes (lycopene, β -carotene) have been identified in both the peel and pulp of red pitahayas [63]. The pulp of three species (*H. undatus*, *H. costaricensis* and *H. megalanthus*) revealed a range of 32–60 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ of β -carotene and 18.24 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ of xanthophyll [52]. In Indian species of dragon fruits (*H. costaricensis* and *H. megalanthus*), β -carotene has been found to be a major carotenoid. In white flesh dragon fruits from the Vietnam variety (white flesh), β -carotene, lycopene and vitamin E at concentrations of 1.4, 3.4 and 0.26 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$, respectively, were reported [64].

During storage, the carotenoids increased in OA- and JaMe-treated pitahayas, while the lipophilic antioxidant activity decreased during storage, although all treated fruits had higher concentrations than the control ones, the MeSa treatment being the elicitor that induced the highest amount of carotenoids. The continuous increase in carotenoids in the postharvest storage of yellow pitahaya maybe is due to the normal ripening process, in which the acceleration of chlorophyll degradation leads to increases in carotenoids.

Generally, there is a close relationship between carotenoids and lipophilic antioxidant activity, given the lipophilic nature of the carotenoids [21]. The increase in β -carotene and lycopene has been associated to an enhancement of the capacity to scavenge the ROS species that can be generated during the postharvest storage of fruits [65]. There is no literature about the effect of the elicitors on carotenoid content in red or yellow pitahaya, although our results confirm that JaMe applied at preharvest or postharvest increased the concentration of the total carotenoids of mandarin [36]. On the other hand, preharvest SA and its derivatives MeSa and acetylsalicylic acid (AAS) treatments induced a significant increase in total carotenoids in two plum cultivars at harvest and during storage [66].

4. Materials and Methods

4.1. Plant Material, Treatments and Experimental Design

The experiments were carried out on a commercial farm (Algro Farm, located in Palora, the province of Morona Santiago, Ecuador) of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) plants grown under greenhouse conditions. The pitahaya plot consists in 4-year-old 1200 plants in an area of 2.5 ha (located at 1°41'00" south latitude, 77°58'56.8" west longitude, and altitude of 839 m).

For the experiments, 135 plants were chosen totally at random and divided in 3 blocks, and each block contained 3 plants in triplicate ($n = 3$) per treatment, as shown in Figure S1. In each plant, 3 fruits were marked to follow fruit growth (9 fruits per treatment) and the total number of fruits was 27.

Treatments were applied with a frequency of 15 days, starting at 57 days after full blossom (DAFB) and after 71, 86 and 102 DAFB, while the harvest was carried out at 126 DAFB. The elicitors were methyl salicylate (MeSa) and methyl jasmonate (MeJa) (both at 0.1 mM), while salicylic acid (SA) and oxalic acid (OA) were applied at 5 mM, based on previous experiments (Erazo-Lara et al., 2024) [29]. Treatments were performed by spraying 1.5 L per plant with freshly prepared solutions of MeSa, SA, MeJa and OA (purchased from Sigma-Aldrich, Madrid, Spain) containing 0.5% Tween-20 as the surfactant. Treatments were applied early in the morning and under favourable weather conditions (no rain or wind were forecasted). The control plants were treated with water + 0.5% Tween-20.

Pitahaya fruits were manually harvested at the commercial ripening stage based on fruit size, fruit weight ($\approx 360 \text{ g}$), colour (light-green or yellow with green bracts) and the content of total soluble solids (TSS) with 15 °Brix [21]. In addition, the thorns were manually removed with a brush. For each treatment, 27 fruits (9 fruits per replicate) were picked and transferred by a refrigerated van to the airport and then shipped to Spain for the storage experiment. Another group of pitahayas (2 fruits per replicate and treatment) was used to determine TSS, the total acidity (TA) and fruit firmness at harvest (Day 0). The fruits were peeled to separate the pulp from the peel, for which the mineral content (macro- and micronutrients) and total phenolics were determined.

4.2. Postharvest Storage

Once the fruits arrived in Spain, they were stored in 10 °C and at a relative humidity of 85%. After 24, 38 and 52 days, one lot from each treatment (9 pitahayas) was taken from the cold room to analyse TSS, TA, firmness, total phenolic compounds, total carotenoids, and antioxidant activity from hydrophilic and lipophilic extracts.

4.3. Mineral Composition of the Peel

The peels corresponding to the fruits at harvest were submitted to dehydration in a heater at 65 °C until a constant weight was achieved. Moreover, 0.25 g of the peel samples from each treatment (in triplicate) was microwave-digested (CEM Mars One) after the addition of 10 mL of 1% nitric acid for 3 h and, afterwards, up to 50 mL with distilled water. Then, the aliquots of each sample were used to quantify the mineral concentration using the method of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) (Shimadzu icpms-2030, Kyoto, Japan). The mineral quantification was carried out by the use of standard curves of Ca, Mg, Na, P and K (macronutrients) and Fe, Mn, Cu and Zn (micronutrients), and the results were expressed as mg kg⁻¹ dried weight.

4.4. Measurement of Quality Traits

Quality was evaluated in the pitahaya pulp obtained from the 9 fruits of each replicate by obtaining subsamples of the 3 fruits. TSS was determined as °Brix and expressed as g 100 g⁻¹ with a Kem® brand refractometer (RA-620 model). The percentage of TA (g 100 g⁻¹) was determined by automatic titration (785 DMP Titrino, Metrohm, Herisau, Switzerland) by the use of 0.1 N NaOH up to pH 8.1. Fruit firmness (N mm⁻¹) was evaluated with a texture analyser (Model TA.XTplus, Stable Micro Systems Ltd., Godalming, UK) by compression (3% of the pitahaya diameter), with the aid of a 75 mm flat plate probe and recording the force (N) and the distance (mm).

4.5. Bioactive Compounds and Antioxidant Activity

We used the methods described by Habibi et al. (2021) [67] and adapted them to the pitahaya fruit. The total phenolics were calculated by the Folin–Ciocalteu protocol by homogenizing 2 g of peel and pulp with 10 mL of extractant (20:80. water/methanol) and then submitted to centrifugation at 10,000× g at 4 °C for 20 min. The supernatant was added to the Folin–Ciocalteu reagent, with the results expressed as mg of gallic acid equivalent 100 g⁻¹.

Total antioxidant activity was determined in both the aqueous solvent (hydrophilic) and organic solvent (lipophilic) by using the method of ABTS. Briefly, 5 g of pulp was added to 5 mL of phosphate buffer (pH = 6.8) and 10 mL of ethyl acetate, homogenizing for 2 min and then centrifuging at 10,000× g at 4 °C for 20 min. After the separation of the phases, each extract was measured in duplicate with an ABTS peroxidase system, and the results were expressed as mg 100 g⁻¹ of Trolox equivalents. For total carotenoids, the organic phase was used and subjected to saponification with 10% KOH in MeOH solvent followed by extraction with diethyl ether and finally drying and dissolving in acetone. The total carotenoids were quantified by reading the absorbance at 450 nm in a spectrophotometer (UNICAM Helios-α spectrophotometer, Sci-Tek Instruments Ltd, Olney, UK) and expressed as µg β-carotene equivalent 100 g⁻¹.

4.6. Statistical Analysis

All data in the paper were expressed as the mean ± standard error (SE) of three replicates. The data were subjected to one-way analysis of variance (ANOVA) for the variable treatment. A comparisons of the means were performed using a multiple range test (Tukey test) to find significant differences ($p \leq 0.05$) among the treatments for each sampling date. All analyses were performed with the SPSS version 22 software package, and the SigmaPlot 11.0 software program was used for graphs.

5. Conclusions

It is clear that the postharvest storage of fruits is affected by preharvest factors, such as the ripening stage at harvest and quality traits (TSS, TA and firmness). The elicitors used in this study (MeSa, SA, JaMe and OA) induced a better quality of yellow pitahaya. Treated fruits with MeSa and SA had a higher TSS content and lower TA and firmness than those treated with MeJa and OA. The on-tree ripening process was affected by the type of elicitor since SA, JaMe and OA delayed the ripening process, while MeSa advanced the ripening. The peel of the yellow pitahaya is rich in minerals and bioactive compounds (polyphenols and carotenoids), and all of them showed a net enhancement with the use of the elicitors. The macronutrients Ca, P, K and Mg were enhanced in MeSa- and OA-treated pitahayas. All micronutrients (Fe, Mn, Cu, Zn and Na) were higher in the MeSa-treated pitahaya. So far, peel has been considered as waste, but given the great amount of both nutritional and phytochemical compounds, the peel of yellow pitahaya would be a perfect candidate to be recycled and applied in the food industry. Since carotenoids and phenolics have been proven to have beneficial effects against degenerative diseases, preharvest treatments with these elicitors would provide healthier yellow pitahayas for human consumption. The preharvest spray is recommended as the optimal method due to its fast absorption and high effectiveness as an alternative to postharvest treatments. The preharvest elicitors demonstrated an improvement of yellow pitahaya quality during postharvest storage quality through maintaining fruit firmness, TSS and TA. Tropical fruits are very sensitive to develop chilling injury (CI) when stored at sub-optimal temperatures. For that reason, we stored the fruits at 10 °C (non-CI temperature), but in future, the use of these elicitors and the possibility to use lower temperatures for storing yellow pitahaya deserves further investigation.

Supplementary Materials: The following supporting information can be downloaded at: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/ijms25105435/s1>.

Author Contributions: Methodology, formal analysis, investigation, A.E.-L.; formal analysis, investigation, P.A.P.-G.; methodology, formal analysis, investigation, M.E.G.-P.; supervision, writing—review and editing, M.S.; conceptualization, writing—original draft preparation, supervision, funding acquisition, D.V. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: No applicable.

Informed Consent Statement: No applicable.

Data Availability Statement: The original contributions generated for this study are included in the article; the data presented in this study are available on request from the authors.

Acknowledgments: The authors extend their appreciation to Alfonso Sánchez (Algro Farm) for providing the experimental plants and technical advice.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

1. Jiménez, L.; González, M.; Cruz, S.; Santana, R.; Villacís, L. Análisis poscosecha de frutos de pitahaya amarilla (*Cereus triangularis* Haw.) a distintos niveles de madurez y temperatura. *J. Selva Andin. Biosphere*. **2017**, *5*, 107–115.
2. Vargas, Y.; Pico, J.; Díaz, A.; Sotomayor, D.; Burbano, A.; Caicedo, C.; Paredes, N.; Congo, C.; Tinoco, L.; Bastidas, S.; et al. *Manual Técnico del Cultivo de Pitahaya*; INIAP: Quito, Ecuador, 2020; 39p.
3. Verona-Ruiz, A.; Urcia-Cerna, J.; Paucar-Menacho, L. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds. *Sci. Agropecu.* **2020**, *11*, 439–453.
4. Morillo-Coronado, A.C.; Manjarres Hernández, E.H.; Forero-Mancipe, L. Phenotypic diversity of morphological characteristics of pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) germplasm in Colombia. *Plants* **2021**, *10*, 2255.
5. Al-Mekhlafi, N.; Mediani, A.; Hadiani, N.; Abas, F.; Dymerski, T.; Lubinska-Szczygeł, M.; Vearasilp, S.; Gorinstein, S. Metabolic and antioxidant properties of different varieties and origins of Dragon fruit. *Microchem. J.* **2021**, *160*, 105687.
6. Paško, P.; Galanty, A.; Zagrodzki, P.; Ku, Y.G.; Luksirikul, P.; Weisz, M.; Gorinstein, S. Bioactivity and cytotoxicity of different species of pitaya fruits—A comparative study with advanced chemometric analysis. *Food Biosci.* **2021**, *40*, 100888.

7. Le Bellec, F.; Vaillant, F.; Imbert, E. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): A new fruit crop, a market with a future. *Fruits* **2006**, *61*, 237.
8. Caicedo, L.H.; Villagómez, A.L.; Sáenz, D.; Zavala, C.E.; Espinoza, E.; Romero, H. Elicitors: Bioethical implications for agriculture and human health. *Rev. Bioet.* **2021**, *29*, 76–86.
9. Hasanuzzaman, M.; Nahar, K.; Alam, M.M.; Roychowdhury, R.; Fujita, M. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *Int. J. Mol. Sci.* **2013**, *14*, 9643–9684.
10. Farooq, M.S.; Uzair, M.; Raza, A.; Habib, M.; Xu, Y.; Yousuf, M.; Yang, S.H.; Ramzan Khan, M. Uncovering the Research Gaps to Alleviate the Negative Impacts of Climate Change on Food Security: A Review. *Front. Plant Sci.* **2022**, *13*, 927535.
11. García-Pastor, M.E.; Zapata, P.J.; Castillo, S.; Martínez-Romero, D.; Valero, D.; Serrano, M.; Guillén, F. Preharvest salicylate treatments enhance antioxidant compounds, color and crop yield in low pigmented-table grape cultivars and preserve quality traits during storage. *Antioxidants* **2020**, *9*, 832.
12. García-Pastor, M.E.; Giménez, M.J.; Valverde, J.M.; Guillén, F.; Castillo, S.; Martínez-Romero, D.; Serrano, M.; Valero, D.; Zapata, P.J. Preharvest application of oxalic acid improved pomegranate fruit yield, quality, and bioactive compounds at harvest in a concentration-dependent manner. *Agronomy* **2020**, *10*, 1522.
13. Martínez-Esplá, A.; Zapata, P.J.; Valero, D.; García-Viguera, C.; Castillo, S.; Serrano, M. Preharvest application of oxalic acid increased fruit size, bioactive compounds, and antioxidant capacity in sweet cherry cultivars (*Prunus avium* L.). *J. Agric. Food Chem.* **2014**, *62*, 3432–3437.
14. García-Pastor, M.E.; Serrano, M.; Guillén, F.; Castillo, S.; Martínez-Romero, D.; Valero, D.; Zapata, P.J. Methyl jasmonate effects on table grape ripening, vine yield, berry quality and bioactive compounds depend on applied concentration. *Sci. Hortic.* **2019**, *247*, 380–389.
15. Gong, D.; Bi, Y.; Li, Y.; Wang, Y.; Prusky, D.; Alkan, N. Preharvest Elicitors Spray Improves Antioxidant Activity, Alleviates Chilling Injury, and Maintains Quality in Harvested Fruit. *Horticulturae* **2022**, *8*, 1208.
16. Chen, C.J.; Sun, C.C.; Wang, Y.H.; Gong, H.S.; Zhang, A.D.; Yang, Y.Q.; Guo, F.J.; Cui, K.B.; Fan, X.G.; Li, X.L. The preharvest and postharvest application of salicylic acid and its derivatives on storage of fruit and vegetables: A review. *Sci. Hortic.* **2023**, *312*, 111858.
17. Le, N.L. Functional compounds in dragon fruit peels and their potential health benefits: A review. *Int. J. Food Sci. Technol.* **2022**, *57*, 2571–2580.
18. Ferreira, V.C.; Ampese, L.C.; Sganzerla, W.G.; Colpini, L.M.S.; Forster-Carneiro, T. An Updated Review of Recent Applications and Future Perspectives on the Sustainable Valorization of Pitaya (*Hylocereus* spp.) by-Products. *Sustain. Chem. Pharm.* **2023**, *33*, 101070.
19. Tripathi, M.; Diwan, D.; Shukla, A.C.; Gaffey, J.; Pathak, N.; Dashora, K.; Pandey, A.; Sharma, M.; Guleria, S.; Varjani, S.; et al. Valorization of dragon fruit waste to value-added bioproducts and formulations: A review. *Crit. Rev. Biotechnol.* **2023**, 1–19. <https://doi.org/10.1080/07388551.2023.2254930>.
20. Jiang, H.; Zhang, W.; Li, X.; Shu, C.; Jiang, W.; Cao, J. Nutrition, phytochemical profile, bioactivities and applications in food industry of pitaya (*Hylocereus* spp.) peels: A comprehensive review. *Trends Food Sci. Technol.* **2021**, *116*, 199–217.
21. Valero, D.; Serrano, M. *Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality*, 1st ed.; CRC-Taylor & Francis: Boca Raton, FL, USA, 2010.
22. Koo, Y.M.; Heo, A.Y.; Choi, H.W. Salicylic acid as a safe plant protector and growth regulator. *Plant Pathol. J.* **2020**, *36*, 1–10.
23. Ahmad, F.; Singh, A.; Kamal, A. Salicylic Acid-Mediated Defense Mechanisms to Abiotic Stress Tolerance. In *Plant Signaling Molecules: Role and Regulation Under Stressful Environments*; Khan, M.I.R.; Reddy, P.S.; Ferrante, A.; Khan, M.A.; Eds.; Elsevier: Oxford, UK, 2019; pp. 355–369.
24. Hazarika, T.K.; Marak, T. Salicylic acid and oxalic acid in enhancing the quality and extending the shelf life of grape cv. Thompson seedless. *Food Sci. Technol. Int.* **2021**, *28*, 463–475.
25. Samaradiwakara, S.D.; Champa, W.A.H.; Eeswara, J.P. Preharvest foliar spray of plant growth regulators expand the harvest season and improve fruit quality of acid lime (*Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle). *J. Hort. Postharvest Res.* **2023**, *6*, 207–220.
26. Champa, W.A.H.; Gill, M.I.S.; Mahajan, B.V.C.; Arora, N.K. Preharvest salicylic acid treatments to improve quality and postharvest life of table grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Flame Seedless. *J. Food Sci. Technol.* **2015**, *52*, 3607–3616.
27. Ali, I.; Xiukang, W.; Mohammad, J.T.; Fahad, M.W.; Mahmood, U.I.H.; Muhammad, S.; Mehwish, L.; Sana, A.; Tanveer, H.; Sajid, F.; et al. Foliar application of salicylic acid at different phenological stages of peach fruit cv. 'Florida King' improves harvest quality and reduce chilling injury during low temperature storage. *Plants* **2021**, *10*, 1981.
28. García-Pastor, M.E.; Giménez, M.J.; Zapata, P.J.; Guillén, F.; Valverde, J.M.; Serrano, M.; Valero, D. Preharvest application of methyl salicylate, acetyl salicylic acid and salicylic acid alleviated disease caused by *Botrytis cinerea* through stimulation of antioxidant system in table grapes. *Int. J. Food Microbiol.* **2020**, *334*, 108807.
29. Erazo-Lara, A.; García-Pastor, M.E.; Padilla-González, P.A.; Serrano, M.; Valero, D. Yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) growth and ripening as affected by preharvest elicitors: Enhancement of yield and quality at harvest. *Horticulturae* **2024**, *10*, 493.
30. Hubbard, N.L.; Pharr, D.M.; Huber, S.C. Sucrose phosphate synthase and other sucrose metabolizing enzymes in fruit of various species. *Physiol. Plant.* **1991**, *82*, 191–196.
31. Ahmad, P.; Rasool, S.; Gul, A.; Sheikh, S.A.; Akram, N.A.; Ashraf, M.; Kazi, A.M.; Gucel, S. Jasmonates: Multifunctional roles in stress tolerance. *Front. Plant Sci.* **2016**, *7*, 813.

32. Li, C.; Xu, M.; Cai, X.; Han, Z.; Si, J.; Chen, D. Jasmonate Signaling Pathway Modulates Plant Defense, Growth, and Their Trade-Offs. *Int. J. Mol. Sci.* **2022**, *23*, 3945.
33. Kolupaev, Y.E.; Yastreb, T.O.; Dmitriev, A.P. Signal Mediators in the Implementation of Jasmonic Acid's Protective Effect on Plants under Abiotic Stresses. *Plants* **2023**, *12*, 2631.
34. Wang, S.-Y.; Shi, X.-C.; Liu, F.-Q.; Laborda, P. Effects of exogenous methyl jasmonate on quality and preservation of postharvest fruits: A review. *Food Chem.* **2021**, *353*, 129482.
35. Zhao, Y.Y.; Song, C.C.; Brimmel, D.A.; Qi, S.N.; Lin, Q.; Bi, J.F.; Duan, Y.Q. Salicylic acid treatment mitigates chilling injury in peach fruit by regulation of sucrose metabolism and soluble sugar content. *Food Chem.* **2021**, *358*, 129867.
36. Dhamia, K.S.; Asreya, R.; Awasthib, O.P.; Bhowmik, A. Pre and postharvest treatments of methyl jasmonate: Maintain quality and shelf-life of Kinnow mandarin fruit during cold storage. *South Afr. J. Bot.* **2022**, *151*, 808–815.
37. Ruiz-Aracil, M.C.; Valverde, J.M.; Lorente-Mento, J.M.; Carrión-Antolí, A.; Castillo, S.; Martínez-Romero, D.; Guillén, F. Sweet Cherry (*Prunus avium* L.). Cracking during Development on the Tree and at Harvest: The Impact of Methyl Jasmonate on Four Different Growing Seasons. *Agriculture* **2023**, *13*, 1244.
38. Chen, M.; Guo, H.; Chen, S.; Li, T.; Li, M.; Rashid, A.; Xu, C.; Wang, K. Methyl jasmonate promotes phospholipid remodeling and jasmonic acid signaling to alleviate chilling injury in peach fruit. *J. Agric. Food Chem.* **2019**, *67*, 9958–9966.
39. Trejo, E.J.O.; Brizzolara, S.; Cardillo, V.; Ruperti, B.; Bonghi, C.; Tonutti, P. The impact of PGRs applied in the field on the postharvest behavior of fruit crops. *Sci. Hortic.* **2023**, *318*, 112103.
40. Walker, R.P.; Famiyani, F. Organic acids in fruits: Metabolism, functions and contents. *Hortic. Rev.* **2018**, *45*, 371–430.
41. Hasan, M.U.; Singh, Z.; Shoaib, S.; Kaur, H.M.; Woodward, J.; Afrifa-Yamoah, A.; Malik, A.U.E. Oxalic acid: A blooming organic acid for postharvest quality preservation of fresh fruit and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* **2023**, *206*, 112574.
42. Razavi, F.; Hajilou, J. Enhancement of postharvest nutritional quality and antioxidant capacity of peach fruits by preharvest oxalic acid treatment. *Sci. Hort.* **2016**, *200*, 95–101.
43. Serna-Escolano, V.; Giménez, M.J.; Castillo, S.; Valverde, J.M.; Martínez-Romero, D.; Guillén, F.; Serrano, M.; Valero, D.; Zapata, P.J. Preharvest Treatment with Oxalic Acid Improves Postharvest Storage of Lemon Fruit by Stimulation of the Antioxidant System and Phenolic Content. *Antioxidants* **2021**, *10*, 963.
44. Huang, Y.; Brennan, M.A.; Kasapis, S.; Richardson, S.J.; Brennan, C.S. Maturation process, nutrition profile, bioactivities and utilisation in food products of red pitaya fruits: A review. *Foods* **2021**, *10*, 2862.
45. Mirabella, N.; Castellani, V.; Sala, S. Current options for the valorization of food manufacturing waste: A review. *J. Clean Prod.* **2014**, *65*, 28–41.
46. Matharu, A.S.; de Melo, E.M.; Houghton, J.A. Opportunity for high value-added chemicals from food supply chain wastes. *Bioresour. Technol.* **2016**, *215*, 123–130.
47. Jamilah, B.; Shu, C.E.; Kharidah, M.; Dzulkifly, M.A.; Noranizan, A. Physico-chemical characteristics of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel. *Int. Food Res. J.* **2011**, *18*, 279–286.
48. Nishikito, D.F.; Borges, A.C.A.; Laurindo, L.F.; Otoboni, A.M.M.B.; Direito, R.; Goulart, R.d.A.; Nicolau, C.C.T.; Fiorini, A.M.R.; Sinatora, R.V.; Barbalho, S.M. Anti-Inflammatory, Antioxidant, and Other Health Effects of Dragon Fruit and Potential Delivery Systems for Its Bioactive Compounds. *Pharmaceutics* **2023**, *15*, 159.
49. Hossain, F.M.; Numan, S.M.N.; Akhtar, S. Cultivation, nutritional value, and health benefits of dragon fruit (*Hylocereus* spp.): A Review. *Int. J. Hortic. Sci. Technol.* **2021**, *8*, 259–269.
50. Shah, K.; Chen, J.; Chen, J.; Qin, Y. Pitaya Nutrition, Biology, and Biotechnology: A Review. *Int. J. Mol. Sci.* **2023**, *24*, 13986.
51. de Faria, R.C.; Morgado, C.M.A.; Vespucci, I.L.; de Campos, A.J. UV-C radiation in the post-harvest quality of red pitaya. *Communicata Scientiae* **2022**, *13*, e3857.
52. Abirami, K.; Swain, S.; Baskaran, V.; Venkatesan, K.; Sakthivel, K.; Bommayasamy, N. Distinguishing three Dragon fruit (*Hylocereus* spp.) species grown in Andaman and Nicobar Islands of India using morphological, biochemical and molecular traits. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 2894.
53. Sharma, M.; Usmani, Z.; Gupta, V.K.; Bhat, R. Valorization of fruits and vegetable wastes and by-products to produce natural pigments. *Crit. Rev. Biotechnol.* **2021**, *41*, 535–563.
54. Xie, F.; Chen, C.; Chen, J.; Yuan, Y.; Hua, Q.; Zhang, Z.; Zhao, J.; Hu, G.; Chen, J.; Qin, Y. Metabolic Profiling of Sugars and Organic Acids, and Expression Analyses of Metabolism-Associated Genes in Two Yellow-Peel Pitaya Species. *Plants* **2022**, *11*, 694.
55. Arivalagan, M.; Karunakaran, G.; Roy, T.K.; Dinsha, M.; Sindhu, B.C.; Shilpashree, V.M.; Satisha, G.C.G.; Shivashankara, K.S. Biochemical and nutritional characterization of dragon fruit (*Hylocereus* species). *Food Chem.* **2021**, *353*, 129–426.
56. Hua, Q.; Chen, C.; Tel, N.; Wang, H.; Wu, J.; Chen, J.; Zhang, Z.; Zhao, J.; Hu, G.; Qin, Y. Metabolomic characterization of pitaya fruit from three red-skinned cultivars with different pulp colors. *Plant Physiol. Biochem.* **2018**, *126*, 117–125.
57. Quispe Lupuche, E.; Chávez Pérez, J.A.; Medina-Pizzali, M.L.; Loayza Gutiérrez, L.; Apumayta Suárez, E. Chemical characterization, polyphenol content and antioxidant capacity of two pitahaya ecotypes (*Hylocereus* spp.). *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* **2021**, *74*, 9723–9734.
58. Otálora, M.C.; Wilches-Torres, A.; Gómez Castaño, J.A. Mucilage from Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) Fruit Peel: Extraction, Proximal Analysis, a Molecular Characterization. *Molecules* **2023**, *28*, 786.
59. Pawde, S.; Talib, M.I.; Parate, V.R. Development of Fiber-Rich Biscuit by Incorporating Dragon Fruit Powder. *Int. J. Fruit Sci.* **2020**, *20*, S1620–S1628.

60. Faizy, A.H.; Ozturk, B.; Aglar, E.; Yıldız, K. Role of methyl jasmonate application regime on fruit quality and bioactive compounds of sweet cherry at harvest and during cold storage. *J. Food Process. Preser.* **2021**, *45*, e15882.
61. Constantino, L.V.; Zeffa, D.M.; Ventorim, M.F.; Gonçalves, L.S.A.; Marcos, A.W.; Sanzovo, A.W.D.S.; Rossetto, L.M.; Alves, S.M.; Resende, J.T.V.; Takahashi, L.S.A. Qualidade nutricional e potencial tecnológico de espécies de pitaya. *Semin. Ciências Agrárias* **2021**, *42*, 2023–2030.
62. Attar, Ş.H.; Gündeşli, M.A.; Urün, I.; Kafkas, S.; Kafkas, N.E.; Ercisli, S.; Ge, C.; Mlcek, J.; Adamkova, A. Nutritional Analysis of Red-Purple and White-Fleshed Pitaya (*Hylocereus*) Species. *Molecules* **2022**, *27*, 808.
63. Corea, R.C.G.; Garcia, J.A.A.; Correa, V.G.; Vieira, T.F.; Bracht, A.; Peralta, R.M. Pigments and vitamins from plants as functional ingredients: Current trend and perspectives. In *Advances in Food and Nutrition Research*; Ferreira, I.C.F.R., Barros, L., Eds.; Elsevier: Oxford, UK, 2019; Volume 90, pp. 259–303.
64. Charoensiri, R.; Kongkachuichai, R.; Suknicom, S.; Sungpuag, P. Beta-carotene, lycopene, and alpha-tocopherol contents of selected Thai fruits. *Food Chem.* **2009**, *113*, 202–207.
65. da Silveira Agostini-Costa, T. Bioactive compounds and health benefits of Pereskioideae and Cactoideae: A review. *Food Chem.* **2020**, *327*, 126961–12975.
66. Martínez-Esplá, A.; Serrano, M.; Valero, D.; Martínez-Romero, D.; Castillo, S.; Zapata, P.J. Enhancement of Antioxidant Systems and Storability of Two Plum Cultivars by Preharvest Treatments with Salicylates. *Int. J. Mol. Sci.* **2017**, *18*, 1911.
67. Habibi, F.; Guillén, F.; Serrano, M.; Valero, D. Physicochemical changes, peel colour, and juice attributes of blood orange cultivars stored at different temperatures. *Horticulturae* **2021**, *7*, 320.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

4.3 Publicación 3

Publicación 3 (Transcripción literal)

Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.): The Less Known of the Pitahayas

Valero, D.; **Erazo-Lara, A.**; García-Pastor, M.E.; Padilla-González, P.A.; Agulló, V.; El-Hiali, F.B.; Serrano, M.

Foods 2025, 14, 202

<https://doi.org/10.3390/foods14020202>

Perspective

Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.): The Less Known of the Pitahayas

Daniel Valero ^{1,*}, Alex Erazo-Lara ^{1,2}, María Emma García-Pastor ³, Pedro Antonio Padilla-González ¹, Vicente Agulló ¹, Fátima Badiche El-Hiali ¹ and María Serrano ³

¹ Department of Food Technology, EPSO-CIAGRO, University Miguel Hernández, Ctra. Beniel km. 3.2, 03312 Orihuela, Alicante, Spain; alex.erazol@esPOCH.edu.ec (A.E.-L.); ppadilla@umh.es (P.A.P.-G.); vagullo@umh.es (V.A.); fbadiche@umh.es (F.B.E.-H.)

² Escuela Politécnica Superior de Chimborazo (ESPOCH), Sede Morona Santiago, Macas 140101, Ecuador

³ Department of Applied Biology, EPSO-CIAGRO, University Miguel Hernández, Ctra. Beniel km. 3.2, 03312 Orihuela, Alicante, Spain; m.garciap@umh.es (M.E.G.-P.); m.serrano@umh.es (M.S.)

* Correspondence: daniel.valero@umh.es; Tel.: +34-966749743

Abstract: Pitahaya or dragon fruit is an exotic fruit native to Mesoamerica and is cultivated in several regions of the world. In recent years, pitahaya has become increasingly in demand, firstly, for its good nutritional and organoleptic qualities and, secondly, for its richness in antioxidants and bioactive compounds. Spain has opted for new tropical crops, and among them, pitahaya is one of the most planted in recent years. Most of the investigations on pitahaya were conducted with red cultivars, while the research on yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) is very scarce. In this review, the current knowledge about types of pitahayas, the fruit growth and ripening, the quality attributes, the postharvest storage, the use of by-products, and the health attributes were covered.

Keywords: pitahayas; quality; bioactive compounds; postharvest



Academic Editor: Xiangyu Sun

Received: 19 November 2024

Revised: 30 December 2024

Accepted: 8 January 2025

Published: 10 January 2025

Citation: Valero, D.; Erazo-Lara, A.; García-Pastor, M.E.; Padilla-González, P.A.; Agulló, V.; El-Hiali, F.B.; Serrano, M. Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.): The Less Known of the Pitahayas. *Foods* **2025**, *14*, 202. <https://doi.org/10.3390/foods14020202>

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Pitahaya or dragon fruit is originally from Mexico and Central America, although it has also spread to other countries such as Brazil, Ecuador, Thailand, Vietnam, and lately Spain [1]. In recent years, the fruit has spread to more countries to which the cultivation of pitahaya can be adapted appropriately, since they have soil and climate characteristics similar to the places where it is originally from.

In recent years, pitaya has become increasingly in demand due to its good nutritional and organoleptic qualities, apart from its richness in numerous minerals, such as iron and phosphorus, in vitamins, mainly C and B, and in bioactive compounds [2–4]. The bioactive compounds have antioxidant properties and, in addition to preventing cellular aging, have an anti-inflammatory effect and stimulate collagen synthesis, among many other qualities [4]. On the other hand, pitahaya crop is easy and economical, which leaves a wide profit margin with its sale, since it is one of the most expensive fruits, reaching 25 EUR per kg on the market [2].

Pitahaya is a fruit that has been used in different ways since pre-Columbian times, for example, in food, dyes, and medicines. Fruits are living structures and, therefore, are affected by environmental conditions and the way they are handled. The lack of awareness about this aspect causes it to be exposed to inadequate temperatures and relative humidity, rough handling that causes impacts, cuts and compression, which accelerate the respiration and transpiration processes of the fruit, reducing its quality and shelf life [1].

Currently, the term pitahaya is used exclusively to designate the fruits of the *Selenicereus* and *Hylocereus* genera (Figure 1). Pitahaya and pitaya are exotic fruits that are often confused because of their similar names, but they currently belong to different plants. Pitahaya, also known as “dragon fruit”, comes from a type of cactus in the *Hylocereus* genus, while pitaya is from another cactus in the *Stenocereus* genus. The main difference between the two is their origin and appearance. For this reason, yellow pitahaya (firstly named as *Selenicereus megalanthus*) was re-classified as *Hylocereus megalanthus* [1].



Figure 1. From left to right: Red pitahaya (*Hylocereus costaricensis*), yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Syn. *Hylocereus megalanthus*), and pitahaya rose (*Hylocereus undatus*). Source: <https://www.freepik.es/> (accessed on 12 October 2024).

The scientific information on the yellow pitahaya is much lower than that on the red pitahaya. The search in SCOPUS database of “pitaya” gave us 1375 scores, while it was 222 for “pitahaya”, and “yellow pitahaya” gave us only 48 hits. (www.scopus.com; accessed on 15 November 2024).

Spain has opted for new tropical crops, and among them, pitahaya has been one of the most planted. As can be seen in Figure 2, the south of the country is where most of it was planted: Andalusia, Murcia, the Valencian Community, and the Canary Islands. Before 2020 and based on data from MercaMadrid, dragon fruit was imported to Spain from countries such as Colombia, Ecuador, or Thailand. But, since 2020, data from national producers located in Alicante, Almería, Las Palmas, Murcia, and Santa Cruz de Tenerife began to be recorded, and in 2021 Huelva, Malaga, and Valencia were incorporated. Recently, associations and cooperatives of pitaya producers were created to give more visibility to the sector and create an official production and sales database. These associations are PitayaSpain, which groups together producers from Andalusia and is located in Malaga, and Pitapalma, which represents producers from the Canary Islands.



Figure 2. Distribution along the different provinces along Spain (source: the authors).

The aim of this review was to perform a review about yellow pitahaya, including growth cycle, fruit ripening, quality traits, nutritional characteristics, pre- and post-harvest factor affecting fruit quality traits, its health beneficial properties, and the potential uses of its by-products.

2. Economic Importance of Pitahayas

The tropical and exotic fruit sector in the EU has seen exponential growth in the last ten years, with an increase in imports of these fruits that can also be grown in garden greenhouses. Many of these fruits have become part of the daily consumption habits of the population and are increasingly occupying places on supermarket shelves. Pitahaya is one of these fruits. This fruit originates from the cactus of the *Hylocereus* genus, a climbing cactus plant that grows to great heights, with thick branches, and produces red or yellow fruits, which have about 20 different species [5].

In 2024, the size of the pitahaya market is USD 14.73 billion (EUR 13.34 billion) and is expected to reach EUR 16.55 billion by 2029. Three species of pitahaya are marketed internationally: *Hylocereus undatus*, which is the pitaya with red skin and white flesh, grown mainly in Vietnam, Thailand, Malaysia, Mexico, and Israel; *Hylocereus costaricensis*, with red skin and red flesh, grown mainly in Thailand, Malaysia, Nicaragua, and Israel. Both are known commercially as ‘Dragon fruit’. The third species is *Selenicereus megalanthus*, a pitaya with a yellow skin and white flesh, comprising 76.4% of commercial crops in Colombia [6].

3. Types of Pitahayas

Pitahaya comes from the family of cacti (Cactaceae), genus *Hylocereus*, and belongs to the species *H. undatus* and *H. megalanthus*, (syn. *Selenicereus megalanthus*), which are generally found in Latin America with lands ranging from a few meters to 1840 m above sea level (Table 1).

Table 1. Taxonomy of both types of pitahayas.

Yellow Pitahaya	Red Pitahaya
Kingdom: Plantae	Kingdom: Plantae
Division: Magnoliophita	Division: Magnoliophita
Class: Magnoliopsida	Class: Magnoliopsida
Order: Caryophyllales	Order: Caryophyllales
Family: Cactaceae	Family: Cactaceae
Tribe: Hylocereeae	Tribe: Hylocereeae
Genus: <i>Selenicereus</i>	Genus: <i>Hylocereus</i>
Species: <i>Megalanthus</i>	Species: <i>Undatus</i>
Category: Fruit	Category: Fruit
Scientific name: <i>Selenicereus megalanthus</i> (syn. <i>Hylocereus megalanthus</i>)	Scientific name: <i>Hylocereus undatus</i>

Historical data indicate that pitahaya is a word that comes from Haiti where it means “scaly fruit”; while other data from Mexico consider that the word is Quechua established by Spanish conquerors and refers to an edible fruit of the edible cactus, and in recent years, pitahaya is found in many parts of Mexico’ tropical forests [3]. On the other hand, Colombian authors claim that its origin is in their country and demonstrate it with their large exports of this fruit, but other researchers allude to its discovery in South America without specifying the nation [2,7].

The first species cultivated in Tenerife (Spain) were *H. undatus*, *H. triangularis*, and *H. hybridum* (red ones). Some of the other pitahaya species mainly cultivated around the world are described below.

Hylocereus hybridum: The fruit of this species is red on the outside and inside. It has a sweet and very pleasant flavor. Due to its characteristics, it is classified as productive and is sought after in export markets. It flowers from June to October, in summer or fall [1].

Hylocereus costaricensis: This species of pitaya is from Costa Rica, has a red peel and flesh color, is easy to grow, and grows fast. It grows in temperate climates with temperatures ranging from 10 °C to 35 °C. Fertile soil with good drainage should be used, in full sun or semi-shade exposures. It flowers from July to October, so extra light in early spring stimulates the production of flower buds [8].

In several Latin American countries, species from *Hylocereus* genus are planted on family lands, using traditional agronomic labor, selecting the fruit by themselves, and performing irrigation, where it involves basic technology, while other countries, such as Israel, have high sales of pitahaya due to the modern technology invested in agriculture that can obtain greater tons of crop per hectare. The yellow pitahaya (*Hylocereus megalanthus*, syn. *Selenicereus megalanthus*) is known internationally and mainly cultivated in Ecuador, Peru, Bolivia, and Venezuela [5–7]. In Ecuador, the two most important ecotypes are ‘Pichincha’ or ‘Nacional’, with an average weight of 150 g and ‘Palora’ with higher weight (350 g), and are cultivated in Palora Cantón in Morona Santiago [5,7].

Yellow pitahaya has thick and scaly skin (Figure 3) [6]. On the other hand, pitaya, found in more arid regions of America, has a thinner and thornier skin, and its flavor is sweeter and less watery than that of pitahaya. Although both pitaya and pitahaya are rich in nutrients and possess antioxidant properties, pitahaya is more common in international markets, standing out for its striking appearance and refreshing flavor. In India, the evaluation of both fruits revealed that the yellow was bigger (468 g) than the red one (367 g) [9].

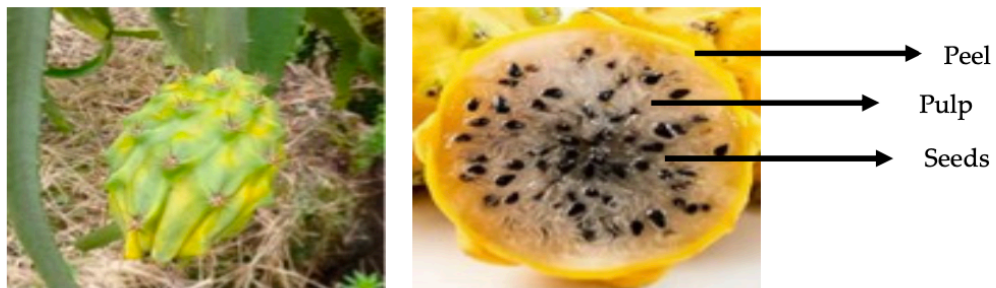


Figure 3. Immature fruit (left) and mature fruit (right) showing the yellow peel, white pulp, and black seeds. Photographs from the authors.

4. Fruit Growth and Ripening

The introduction of high-value products, such as tropical or exotic fruit trees, into the greenhouse can increase the profitability of farms and contribute to diversifying agricultural production. In the case of pitahayas, both open air and greenhouse systems are used for growing pitahayas. The growth cycle includes flowering, single-pattern fruit growth and ripening. However, durations are different with 125 days for yellow pitahaya and 60–70 for red fruits [6,10].

The crop is mainly propagated vegetatively, by cladodes or stems, so clones are cultivated. The massive introduction of plant material in this format should be regulated and controlled to avoid the introduction of pathogens, such as the cactus virus X (CVX). In addition, it is necessary to evaluate its behavior in different latitudes and cultivation systems, since it is not possible to extrapolate the results obtained in other conditions [11].

It was reported that pruning has a great effect on crop yield. Thus, in a study leaving 6, 9, 12, or 15 cladodes per linear meter in pitahayas trained in a flat T system, the intensity of the pruning should be between 12 and 15 to obtain maximum flowering and fruit crop yield with high temperatures. At the end of the dry season, with high temperatures, buds sprout from the nodes, which are the size of a bean, and they take approximately 10 to 20 days to flower depending on the variety of pitahaya. Pitahaya flowers only open once at night and close in the morning, so pollination takes place in this short interval [6]. Thus, flowers open from 5:00 p.m. to 9:00 a.m. of the following morning, and the fruits ripen between 30 and 40 days after the flower is pollinated [3,6,12]. Flowering occurs from May to November and especially at the beginning and end of the period, when cross-pollination is poor, the fruit does not set [13].

Yellow pitahaya begins to bear fruit approximately 14 months after its final planting, from its transplantation. The fruit presents sigmoidal growth and requires approximately 13 to 14 weeks in the summer and 20 to 22 weeks in the winter for its development after pollination [10,14]. It is important to know the flowering cycles of the plant, since it allows the producer to plan their cutting or harvesting period. In the same plant, several fruit development phases can coincide at a given time: ripe fruit, fruit with 12–20 days of development, flowers about to open, flowers 2 days after flowering, and flower buds that have just begun. It is a high-yield plant, because while it bears fruit it continues to flower. Its production period is from May to September, and each fruit weighs 300–800 g depending on the cultivar [6,9,14]. The first harvest per red pitaya plant is more than 3 to 5 units, the yield in the first year of harvest is 4.5–6.5 tons per hectare, but from the third year, it enters its full production, when the yields are 11–12 tons per hectare [15].

Regarding its edaphoclimatic requirements, pitahaya is sensitive to low temperatures and does not tolerate frost. On the contrary, it tolerates high temperatures (some species up to 45 °C) and prefers medium–high relative humidity due to its tropical nature. Although it adapts well to a wide range of soils, it is sensitive to waterlogging, so clay soils should be avoided. In addition, it is tolerant to salinity and drought, but normally, depending on the rainfall received, it requires irrigation to maximize production (500–2500 m³ per hectare per year) [7,10,11].

Its annual cycle begins with the emission of new vegetative shoots at the end of winter, between February and April (vegetative phase). It then flowers in waves when the days are longer than the nights, as it is a long-day photoperiod species, and temperatures should exceed 18 °C, which generally occurs between May and November in our conditions. The fruit is harvested about 30–35 days after flowering, so the harvest is concentrated in the months of June to December, with more pronounced peaks in August and September. The fruits are characterized by the presence of very noticeable scales, in some cases, thorns with red or yellow skin and white, red, or fuchsia pulp, depending on the species and variety [6,12,13].

As for pests and diseases, some problems were detected with aphids, e.g., rot in the cladodes associated with bacteria, which appear in winter with low temperatures and high relative humidity, and the so-called “fish eye” that manifests itself with spots and chlorosis that appear on the cladodes caused by a fungus (*Botryosphaeria dothidea*) [16].

Fruit ripening was poorly studied in pitahaya, and determining the period to reach physiological maturity is essential to harvest pitahaya with the highest quality attributes [10,14]. Total soluble solids (TSSs), titratable acidity (TA), and firmness have been reported to be the most important quality attributes for yellow pitahaya and are related to its shelf life [2,9,10,14].

Kader (2002) described ripeness as the degree to which the fruit reaches its maximum development and presents sufficient quality for consumption. In addition, he indicated

that a product has quality when it is in its optimal stage, which results from the combination of physical and chemical properties and characteristics that add value to the products [17]. Thus, there are different types of maturity which are as follows:

- **Physiological Maturity.** It is considered when the fruit reaches its maximum development, and the seeds are suitable for reproduction.
- **Harvest Maturity.** It is the physiological stage in which the fruit reaches consumption maturity and could be removed from the plant.
- **Commercial Maturity.** It is the way in which the fruit reaches the market and is accepted by the consumer. On the other hand, commercial quality is the physical presentation of the product and can be measured in different ways: by size, weight, color, shape, and shine and by the presence or internal and external defects, as well as those caused by pests.
- **Maturity of Consumption.** This is the stage in which the fruit has all the physical, chemical, and organoleptic characteristics. It must be taken into account that for non-climacteric products, ripeness for consumption is related to ripeness for harvest [17].

During on-tree fruit ripening, TSS increases in pitahaya fruit, reaching values ranging from 12 to 15 °Brix, depending on the cultivar, although in some cultivars, values as high as 20 °Brix have been reported in recently harvested fruits, while TA and firmness decreased [18]. The major sugars in red pitahaya are glucose and fructose, and malic acid is the main important organic acid [19], although no data are available in the literature about sugars and organic acid composition in yellow pitahaya.

5. Fruit Quality Parameters

As stated above, commercial maturity is reached when fruits meet the consumers' required quality traits, having acquired the optimal level of sweetness and decreased acid and starch contents. Visually, this maturity stage can be assessed when the fruit changes from a green color to the typical color of the fruit (red or yellow). Once ripe, fruits can be harvested from the plant, or it can remain on the plant, increasing its weight for up to 50 days [20].

Ecuadorian exporters harvest Palora variety fruits for export when it has a greenish-yellowish cooler, with 15% ripeness [5], while the Colombian varieties are harvested with 50–75% yellowing [2]. The major quality parameters used as harvest indices include color changes in the peel, TSS, and TA, as well as the TSS/TA ratio defined as the ripening index (Table 2). TSS at harvest were more similar among pitahaya fruit species, ranging from 8.7 to 13.7 °Brix, than TA, which ranged from 0.15 to 1.7 g 100 g⁻¹. Moreover, even for the same fruit species, 10-fold differences were reported, for instance, 0.15 and 1.47 g 100 g⁻¹ for *H. megalanthus*, leading to ripening index values (TSS/TA) of 58 and 9. Thus, although, in these reports, the authors claimed that fruits were harvested at the commercial ripening stage, small differences among the harvest criteria between growers could lead to higher differences on sugar–acid ratio and, in turn, high differences in organoleptic properties. With respect to fruit size and weight, depending on the variety, the pitahaya fruit can measure between 8 and 12 cm long and 6 to 10 cm in diameter and can weigh up to 638 g (Table 1).

According to Le Bellec, et al., the red color of the skin and flesh of *Hylocereus* spp is due to betalains, a class of plant pigments, which are water soluble and synthesized from betalamic acid [25]. Among this pigment class, betacyanins were reported as the major pigments responsible for the reddish-violet color of pitahayas, and specifically, in *Hylocereus polyrhizus*, four betacyanins were identified by HPLC and LC-MS analysis, the major one being phylloactin, followed by betanin and hylocerenin, while isobetanin was found at low concentrations [26]. On the other hand, for the yellow pitahaya, the peel

color is due to the accumulated carotenoids [27,28] although there is no available literature regarding the specific carotenoid composition in pitahaya peel or pulp.

Table 2. Quality parameters used as harvest indices for different pitahaya fruits for both red and yellow species *.

	Weight (g)	Pulp (%)	Peel (%)	Color Skin	TSS (°Brix)	TA (%)	TSS/TA	Water (%)	Reference
<i>H. megalanthus</i>	430	51	49	Yellow	12.6	1.47	9	85.4	[10]
<i>H. undatus</i>	469	39	24	Red	12.6	0.41	33.3	88.3	[21]
<i>H. polyrhizus</i>	367	—	—	Red	13.7	0.24	15	89.3	[9]
<i>H. undatus</i>	—	—	—	Red	10.5	1.7	6.2	—	[22]
<i>H. undatus</i>	467	—	—	Red	13.2	0.24	76.2	—	[4]
<i>H. megalanthus</i>	347	65	32	Yellow	8.7	0.15	58.2	93.9	[23]
<i>H. megalanthus</i>	638	—	—	Yellow	12.6	0.48	23.7	—	[24,25]

* Total soluble solid (TSS), titratable acidity (TA).

6. Preharvest Factors Affecting Pitahaya Quality

In this section, we examine the preharvest factors affecting fruit quality. With respect to temperature and radiation, despite being a cactus and having crassulacean acid metabolism (CAM) [29], pitahaya grows well in shaded places. It was reported that its optimal shade conditions are 35%, where it had a maximum net CO₂ absorption rate, apart from an increase in the optimal stem length and width [30]. The water supply has to be between 600 and 1300 mm/year, although this depends on the physiological state of the plant, since, to stimulate flowering, this amount of water must be radically reduced for a period of 30 days [31].

Wild pitaya plants are quite versatile as they can grow in all types of soil, even in poor and stony soils in high mountains [32]. Even so, it is recommended that they be planted in sandy-loam soils with good drainage, rich in organic matter. The proportions of NPK fertilizers for the pitahaya crop depend on the phenological state of the plant. During initial growth, a high proportion of nitrogen is necessary to favor root and leaf growth, while during the reproductive period, fertilization with phosphorus (P) and magnesium (Mg) can also be added, which increases the synthesis of sugars in the fruits [31]. During this period when the fruit is setting, it is recommended to add a potassium fertilizer based on potassium oxide (K₂O), since larger and better tasting fruits are observed, and the plant assimilates potassium very easily [33].

In modern agriculture, there is increasing interest in using natural compounds to enhance crop yield and increase market-desirable fruit quality characteristics. In this sense, the use of some plant growth regulators (PGRs) that mimic natural occurring plant hormones has shown to have interesting beneficial effects [34,35]. One of the aspects less studied in pitahaya is the effects of preharvest plant hormones and plant growth regulators in crop yield and performance as well as in improving quality traits. Pitahaya red or white flesh fruit species were classified as non-climacteric fruit, as ethylene has little or no effect on fruit ripening [31,36]. However, other plant hormones were shown to have some beneficial effects on fruit quality properties at harvest. For instance, the application of gibberellic acid at 0–500 mg L⁻¹ to seedlings of white-fleshed pitahayas reduced the number of seeds at the time of harvest and during storage, and the best results were obtained with the highest dose [37]. In the last few years, the use of elicitor during fruit development has exponentially increased. Some of these elicitors are methyl jasmonate (MEJA), salicylic acid (SA), its derivative methyl salicylate (MESA), and melatonin (MEL), among others [38].

In red dragon fruit, (*Hylocereus polyrhizus* L.), the spraying of fruit with jasmonic acid (JA) and MEJA at 15 and 22 days after anthesis led to increased TSS [39]. However, in yellow pitahaya, no report has been published as of 2024. In a survey on the effect of several elicitors (MEJA, SA, and MESA) during growth and ripening, the results demonstrated that MESA advanced the ripening while MEJA delayed it, based on the highest and lowest values of TSS and TA, and increases in the highest crop yield were also observed. Thus, the preharvest application of MESA, MEJA, and SA at 1, 3, 5, and 10 mM at four different points of the cycle demonstrated that the highest yield [kg plant^{-1}] was obtained with MEJA at 10 mM. Also, MESA showed the highest TSS, while MEJA showed the lowest. Overall, MESA advanced the ripening process, while MEJA delayed the pitahaya ripening process [10].

7. Postharvest Storage

The majority of research regarding pitahaya storage is dedicated to pitahaya red fruits, while very few reports exist on pitahaya during cold storage compared to yellow pitahayas. Pitahaya behaves as a non-climacteric fruit [3,31] that accumulates sugars during development, and it is very important to harvest the fruit at the optimal time of ripening based on the size and external color. On the contrary, if harvesting is delayed, the fruit turgidity decreases rapidly, and it becomes more sensitive to climatic conditions [31]. Pitahaya deteriorates relatively quickly under ambient conditions, with the temperature and storage period influencing their physiological processes and, in turn, affecting its shelf life. It is important to harvest in the early hours of the day to avoid an increase in the fruit's temperature [40]. Care must be taken with the operations carried out at the time of harvest since these factors influence the quality of the fruit during post-harvest and at the time of marketing. This damage can be due to the used machinery, poor handling, and inappropriate transport temperature [40].

The postharvest storage life is affected by the rate of respiration and physiological weight loss. The recommended storage temperature for dragon fruit (*Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*) is 10 °C, and for yellow pitaya (*Selenicereus megalanthus*), it is 6 °C with 85–90% RH [14]. Even if pitahaya is stored at optimum temperatures, fruit quality deteriorates due to weight loss, softening by the pericarp's cell wall degradation and reduction in starch soluble solids, monosaccharides, and malic acid content [41,42].

Pitahaya is very sensitive in developing CI symptoms, with the main effects being weight loss (WL), color changes, and loss of TSS and TA. CI induces some physiological defects affecting the market and storability of most tropical fruits. In recent years, it has been reported that fruits responded to chilling temperatures mainly in two ways. On the one hand, CI affects the membrane, changing its conformation and structure, with an increase in electrolyte leakage (EL) and lipid peroxidation, causing drastic fruit softening. On the other hand, low-temperature storage may induce an uncoupling in the respiratory chain and increase in reactive oxygen species (ROS) [41,43].

Although yellow pitahaya is characterized as a non-climacteric fruit, it responded to exogenous ethylene. Thus, the ripening of yellow pitahaya was induced by ethylene treatment, while treatment with 1-MCP (1-methylcyclopropene), a blocking of ethylene action, delayed ripening and extended fruit shelf life [27].

Currently, the most important technologies employed for pitaya conservation are low-temperature storage combined with other technologies or treatments, such as modified atmosphere packaging, the application of chemical preservatives, coating, and the use of plant resistance inducers, such as melatonin or MeJA [36,44,45], although they have some limitations.

8. Health Attributes

Yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw) is reported as a good source of bioactive compounds, mainly polyphenols and vitamin C [46], and considered to exhibit health benefits since plant-dietary polyphenols show antioxidant activity [47]. Total phenolic content was reported to be very different depending on pitahaya fruit species and cultivars. Thus, Öziyici et al. [48] reported concentrations of TPC ranging from 38 to 621 mg gallic acid/L in two white-fleshed and six red-fleshed *Hylocereus* sp. cultivars. In addition, it was reported that the phenolic content decreased from fruits set to commercial ripening in two dragon fruit species, *H. costaricensis* and *H. undatus* [49]. However, very few clinical studies were reported for yellow pitahayas, although beneficial health attributes were reported for red pitahayas mainly due to their bioactive components, including, apart from those previously mentioned, the betalain pigments. Betalains have gained significant interest in recent years for human diets due to the discovery that they are remarkably responsible for increased red-peel dragon fruit production because of their antimicrobial, antioxidant, antidiabetic, and anticancer effects [50,51]. For instance, extracts from *Hylocereus costaricensis* (red peel and pulp) and *Hylocereus undatus* (red peel and white pulp) were effective as cytotoxic activity toward colon and prostate cancer cells, with no toxic effect on normal cells [52]. In addition, extracts from red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) were recently reported to exhibit antiviral effect against influenza A virus, which was attributed to betacyanins [53].

9. By-Products

Pitahaya is a fruit with high potential to produce new foods such as jams, jelly, yogurt, and wine, and approximately 33% of fruit production is processed. Thus, a large amount of by-products are generated during the agro-industrial processing of pitahaya since peels account as much as 51% of the whole fruit [54] (Figure 4).



Figure 4. Peel and pulp of yellow pitahaya. Photograph from the authors.

Pitahaya peels are a by-product with valorization potential because it contains important macromolecules such as proteins, carbohydrates, mainly pectins with high purity soluble dietary and insoluble dietary fiber fatty acids; minerals; and bioactive compounds such as vitamins, betalains, phenolics, and terpenoids, among others, which could be used in the food or pharmaceutical industries [54–56]. Thus, the mucilage extracted from the peel of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) fruit was characterized and determined the proximal analysis of proteins, lipids, crude fiber, ash, and carbohydrates, and the results showed that the mucilage from the peel was rich in fiber and carbohydrates [57].

The preharvest application of different elicitors to yellow pitahaya, particularly methyl salicylate (MeSa), methyl jasmonate (JaMe), salicylic acid (SA), and oxalic acid (OA), en-

hanced the content of polyphenols, carotenoids, macronutrients (K and Mg), and micronutrients (Fe and Zn) in the peel, especially MeSa [28], which is a good by-product.

In recent studies, the use of ultrasound-assisted extraction was reported as a good technique for extracting the bio-compounds from the peel of pitahaya [58], such as betalains, which have high antioxidant activity [39]. In addition, it has been reported that the peels contain higher amounts of betalains and radical scavenging capacity than flesh, although the concentration of betalains does not always correlate with the antioxidant capacity of the peel extract, showing the synergistic effects of other antioxidant compounds [59,60]. This highly rich betalain extract was recently used for incorporation into bioactive food packaging films with good mechanical and berry properties [61].

10. Conclusions

In this review, we demonstrated that yellow pitahaya has an excellent potential for new open markets, as demonstrated in its exponential increase in production in several countries, including Spain, due to its good adaptation to different soils and relatively stressed climatic conditions, such as those of the Mediterranean climate. From the point of view of fruit quality properties, yellow pitahayas have similar or even more TSS and total acidity TA contents, as well as antioxidant activity. In addition, the use of preharvest elicitors, such as MEJA, MESA, or oxalic acid, were reported as friendly, with no toxic tools used to increase crop yield and obtain fruits with higher quality properties at harvest and during postharvest storage. However, there is a need to search for more postharvest treatments or storage technologies to maintain fruit quality during long-term storage and investigate the use of by-products of yellow pitahaya peel as a source of polyphenols, nutrients, or minerals, since most of these studies were performed on red pitahayas.

Author Contributions: Conceptualization, D.V. and M.S.; investigation, V.A., M.E.G.-P. and A.E.-L.; resources, P.A.P.-G., F.B.E.-H. and V.A.; writing—original draft preparation, D.V.; writing—review and editing, D.V. and M.S.; project administration, D.V.; funding acquisition, D.V. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: No new data were created or analyzed in this study. Data sharing is not applicable to this article.

Acknowledgments: The authors extend their appreciation to Alfonso Sánchez (Algro Farm) for providing the experimental plants and technical advice.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

1. Montesinos-Cruz, J.A.; Rodríguez-Larramendi, L.; Ortiz-Pérez, R.; Fonseca-Flores, M.A.; Ruíz-Herrera, G.; Guevara-Hernández, F. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): A fitogenetic resource with an history and future for the dry tropic of Mexico (review). *Cultiv. Trop.* **2015**, *36*, 67–76.
2. Cañar, D.Y.; Caetano, C.M.; Bonilla-Morales, M.M. Caracterización fisicoquímica y proximal del fruto de pitahaya amarilla [*Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran] cultivada en Colombia. *Rev. Agron.* **2014**, *22*, 77–87.
3. Ortiz, T.A.; Takahashi, L.S.A. Physical and chemical characteristics of pitaya fruits at physiological maturity. *Gen Mol. Res.* **2015**, *14*, 14422–14439. [[CrossRef](#)]

4. Alam, M.; Biswas, M.; Ahmed, J.; Hosain, M.A.; Alam, A.; Khan, M.H.H.; Molla, M.M. Physico-chemical properties, antioxidant activity and bioactive compounds in edible and non-edible portions of dragon fruit cultivars native to Bangladesh. *Food Res.* **2023**, *7*, 194–203. [CrossRef]
5. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAG). Primer Censo de Pitahaya. Available online: <https://www.agricultura.gob.ec/en-palora-morona-santiago-se-realiza-el-primer-censo-de-pitahaya/> (accessed on 29 October 2024).
6. Morillo-Coronado, A.C.; Manjarres Hernández, E.H.; Forero-Mancipe, L. Phenotypic Diversity of Morphological Characteristics of Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.). Germplasm in Colombia. *Plants* **2021**, *10*, 2255. [CrossRef]
7. Huachi, L.; Yugsi, E.; Paredes, M.; Coronel, D.; Verdugo, K.; Coba Santamaría, P. Desarrollo de la pitahaya (*Cereus* sp.) en Ecuador. *Granja Rev. Cienc. Vida* **2015**, *22*, 50–58.
8. Kavino, M.; Arunkumar, G. Phenological stages of pink pulp dragon fruit (*Hylocereus costaricensis* Web.): Codification and description according to the extended BBCH scale under field conditions. *Appl. Fruit Sci.* **2024**, *66*, 2019–2034. [CrossRef]
9. Lata, D.; Narayana, C.K.; Karunakaran, G.; Sudhakar Rao, D.V.; Anuradha, S. Maturity determination of red and white pulp dragon fruit. *J. Hort. Sci.* **2022**, *17*, 157–165. [CrossRef]
10. Erazo-Lara, A.E.; García-Pastor, M.E.; Padilla-González, P.A.; Serrano, M.; Valero, D. Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) Growth and Ripening as Affected by Preharvest Elicitors (Salicylic Acid, Methyl Salicylate, Methyl Jasmonate, and Oxalic Acid): Enhancement of Yield, and Quality at Harvest. *Horticulturae* **2024**, *10*, 493. [CrossRef]
11. Mizrahi, Y.; Nerd, A.; Nobel, P.S. Cacti as crop. *Hort. Rev.* **1997**, *18*, 291–323.
12. Morillo, A.C.; Manjarres, E.H.; Pedreros, M.C. Characterization of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) genotypes under two productive systems in Colombia. *Brazilian J. Biol.* **2023**, *83*, e274152. [CrossRef] [PubMed]
13. Quiroz-González, B.; García-Mateos, R.; Corrales-García, J.E.; Colinas-León, M.T. Pitaya (*Stenocereus* spp.): An under-utilized fruit. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* **2018**, *20*, 82–100. [CrossRef]
14. Nerd, A.; Mizrahi, Y. The effect of ripening stage on fruit quality after storage of yellow pitaya. *Postharvest Biol. Technol.* **1999**, *15*, 99–105. [CrossRef]
15. Goenaga, R.; Marrero, A.; Pérez, D. Yield and Fruit Quality Traits of Dragon Fruit Cultivars Grown in Puerto Rico. *Hortechology* **2020**, *30*, 803–808. [CrossRef]
16. Valencia-Botín, A.J.; Kokubu, H.; Ortíz-Hernández, Y.D. A brief overview on pitahaya (*Hylocereus* spp.) diseases. *Australas. Plant Pathol.* **2013**, *42*, 437–440. [CrossRef]
17. Kader, A. Quality parameters of fresh-cut fruit and vegetable products. In *Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Science, Technology and Market*; Lamikanra, O., Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2002.
18. Verona-Ruíz, A.; Urcia-Cerna, J.; Paucar-Menacho, L.M. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds. *Sci. Agrop.* **2020**, *11*, 3. [CrossRef]
19. Mercado-Silva, E.M. Pitaya—*Hylocereus undatus* (Haw). In *Exotic Fruits*; Rodrigues, S., Silva, E.O., de Brito, E.S., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2018; pp. 339–349. [CrossRef]
20. Wu, J. *Manual del Cultivo de la Pitaya*; Litografía Zimtek: Guatemala City, Guatemala, 2005.
21. Centurión, A.; Solís, S.; Saucedo, C.; Baéz, R. Sensorial, physical and chemical changes of pitahaya fruits (*Hylocereus undatus*) during development. *Rev. Fitotec. Mex.* **2008**, *31*, 1–5.
22. Magaña Benítez, W.; Sauri Duch, E.; Corrales García, J.; Saucedo Veloz, C. Variaciones bioquímicas-fisiológicas y físicas de las frutas de pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenadas en ambiente natural. *Rev. Iberoam. Tecnol. Postcosecha* **2013**, *14*, 139–148.
23. Trivellini, A.; Lucchesini, M.; Ferrante, A.; Massa, D.; Orlando, M.; Incrocci, L.; Mensuali-Sodi, A. Pitaya, an attractive alternative crop for mediterranean region. *Agronomy* **2020**, *10*, 1065. [CrossRef]
24. Osuna-Enciso, T.; Valdez-Torres, J.B.; Sañudo-Barajas, J.A.; Muy-Rangel, M.D.; Hernández-Verdugo, S.; Villarreal-Romero, M.; Osuna-Rodríguez, J.M. Reproductive phenology, yield and Fruit Quality of Pitahaya (*Hylocereus undatus* (How.) Britton and Rose) in Culiacan Valley, Sinaloa, Mexico. *Agrociencia* **2016**, *50*, 61–78.
25. Le Bellec, F.; Vaillant, F.; Imbert, E. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): A new fruit crop, a market with a future. *Fruits* **2006**, *61*, 237–250. [CrossRef]
26. Lim, C.M.; Lal, S.K.; Isa, N.M.; Omar, A.R.; Choo, W.S. Betacyanins from red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) exhibit antiviral response against influenza A virus. *Heliyon* **2024**, *10*, e33049. [CrossRef] [PubMed]
27. Deaquiz, Y.A.; Álvarez-Herrera, J.; Fischer, G. Ethylene and 1-MCP affect the postharvest behavior of yellow pitahaya fruits (*Selenicereus megalanthus* Haw.). *Agron. Colomb.* **2014**, *32*, 44–51. [CrossRef]
28. Erazo-Lara, A.; García-Pastor, M.E.; Padilla-González, P.A.; Valero, D.; Serrano, M. Preharvest elicitors as a tool to enhance bioactive compounds and quality of both peel and pulp of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) at harvest and during postharvest storage. *Int. J. Mol. Sci.* **2024**, *25*, 5435. [CrossRef]
29. Sánchez, C.; Fischer, G.; Sanjuanelo, D.W. Stomatal behavior in fruits and leaves of the purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) and fruits and cladodes of the yellow pitaya [*Hylocereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Ralf Bauer]. *Agron. Colomb.* **2013**, *31*, 38–47.

30. de Oliveira, M.M.T.; Albano-Machado, F.G.; Penha, D.M.; Pinho, M.M.; Natale, W.; de Miranda, M.R.A.; Moura, C.F.H.; Alves, R.E.; Corrêa, M.C.D. Shade improves growth, photosynthetic performance, production and postharvest quality in red pitahaya (*Hylocereus costaricensis*). *Sci. Hortic.* **2021**, *286*, 10. [[CrossRef](#)]
31. Magraner Mífsud, S. Estudio del Comportamiento Agronómico del Cultivo de la Pitaya (*Hylocereus hybridum*, *H. undatus*) en Condiciones de Clima Mediterráneo. Ph.D. Thesis, Universitat Politècnica de València, Valencia, Spain, 2020. Available online: <http://hdl.handle.net/10251/158201> (accessed on 1 October 2024).
32. García, M.E.; Quirós, O. Análisis del comportamiento de mercado de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en Costa Rica. *Tecnol. Marcha* **2010**, *23*, 14–24.
33. Rabelo, J.; da Cruz, M.D.C.M.; Sena, C.G.; Reis, L.A.C.; Pantoja, L.A.; dos Santos, A.S.; Reis, L.A.C.; Guimarães, A.G. Potassium fertilization in the quality improvement and centesimal composition of pitaya. *Emir. J. Food Agric.* **2020**, *32*, 658–665. [[CrossRef](#)]
34. Mukherjee, A.; Gaurav, A.K.; Singh, S.; Yadav, S.; Bhowmick, S.; Abeyasinghe, S.; Verma, J.P. The bioactive potential of phytohormones: A review. *Biotech. Rep.* **2022**, *35*, e00748. [[CrossRef](#)]
35. Ordoñez-Trejo, E.J.O.; Brizzolara, S.; Cardillo, V.; Ruperti, B.; Bonghi, C.; Tonutti, P. The impact of PGRs applied in the field on the postharvest behavior of fruit crops. *Sci. Hortic.* **2023**, *318*, 112103. [[CrossRef](#)]
36. Razali, N.A.; Sargent, S.A.; Sims, C.A.; Brecht, J.K.; Berry, A.D.; Cheng, G. Potential of postharvest coatings to maintain freshness of red-fleshed pitaya (*Hylocereus costaricensis*). *Agriculture* **2021**, *11*, 892. [[CrossRef](#)]
37. Santos, T.P.; Sá, M.E.; Malagutti, E.S.; Pinto, M.S.; Ferreira, A.F.A.; Monteiro, L.N.H.; Silva, A.C.C.; Soutello, R.V.G.; Rodrigues, M.G.F. Effects of gibberellic acid concentration and fruit maturation stage on seed germination and vigour of pitahaya seedlings. *Braz. J. Biol.* **2024**, *84*, e260650. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
38. Černý, M.; Habánová, H.; Berka, M.; Luklová, M.; Brzobohatý, B. Hydrogen peroxide: Its role in plant biology and crosstalk with signalling networks. *Int. J. Mol. Sci.* **2018**, *19*, 2812. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
39. Hamzah, N.; Ramli, N.S.; Deris, I.H.M.; Moses, C.; Azman, E.M. Effect of preharvest treatment using jasmonic acid and methyl jasmonate on the physicochemical properties and antioxidant activities of red-fleshed dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus* L.). *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* **2024**, *47*, 439–459. [[CrossRef](#)]
40. Brito, B.; Vásquez, W. *Manual para el Control de Calidad en Pre y pos Cosecha de las Frutas*; INIAP: Quito, Ecuador, 2013.
41. Wang, X.; Chen, J.; Luo, D.; Ba, L. Advances in the understanding of postharvest physiological changes and the storage and preservation of pitaya. *Foods* **2024**, *13*, 1307. [[CrossRef](#)]
42. Li, J.; Deng, J.; Shen, Y.; Zhang, R.; Sun, Q. Integrated metabolomic and transcriptomic analyses to elucidate mechanisms underlying the fruit quality losses of pitaya during storage. *Sci. Hortic.* **2024**, *329*, 112974. [[CrossRef](#)]
43. Sheng, K.; Wei, S.; Jun Mei, J.; Jing Xie, J. Chilling injury, physicochemical properties, and antioxidant enzyme activities of red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) Fruits under Cold Storage Stress. *Phyton Int. J. Exper. Bot.* **2021**, *90*, 1. [[CrossRef](#)]
44. Freitas, S.T.D.; Mitcham, E.J. Quality of pitaya fruit (*Hylocereus undatus*) as influenced by storage temperature and packaging. *Sci. Agric.* **2013**, *70*, 70257–70262. [[CrossRef](#)]
45. Yang, X.; Xie, G.; Tan, S.; Gu, G. Melatonin and methyl jasmonate inhibited the chilling injury of postharvest pitaya fruit after cold storage by regulating the antioxidant system. *N. Z. J. Crop Hortic. Sci.* **2024**, 1–11. [[CrossRef](#)]
46. Torres-Grisales, Y.; Melo-Sabogal, D.V.; Torres-Valenzuela, L.; Serna-Jiménez, J.A.; Sanín-Villarreal, A. Evaluation of bioactive compounds with functional interest from yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.). *Rev. Fac. Nac. De Agron.* **2017**, *70*, 8311–8318. [[CrossRef](#)]
47. Pandey, K.; Rizvi, S. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Med. Cell. Longev.* **2009**, *2*, 270–278. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
48. Öziyici, H.R.; Ünlü, M.; Altinkaya, L.; Tekin, A.; Gubbuk, H. Comparative analysis for quality traits of pitaya varieties in protected cultivation. *Erwerbs-Obstbau* **2024**, *66*, 173–181. [[CrossRef](#)]
49. Sen, R.; Baruah, A.M. Evaluating the dynamics of physical, proximate, mineral and antioxidant compositions during dragon fruit development. *J. Plant Biochem. Biotech.* **2024**, *33*, 590–606. [[CrossRef](#)]
50. Jalgaonkar, K.; Mahawar, M.K.; Bibwe, B.; Kannaujia, P. Postharvest profile, processing and waste utilization of dragon fruit (*Hylocereus* spp.): A review. *Food Rev. Int.* **2022**, *38*, 733–759. [[CrossRef](#)]
51. Nishikito, D.F.; Borges, A.C.A.; Laurindo, L.F.; Otoboni, A.M.M.B.; Direito, R.; de Alvares Goulart, R.; Nicolau, C.C.; Fiorini, A.M.R.; Sinatorra, R.V.; Barbalho, S.M. Anti-inflammatory, antioxidant, and other health effects of dragon fruit and potential delivery systems for its bioactive compounds. *Pharmaceutics* **2023**, *15*, 159. [[CrossRef](#)]
52. Pasko, P.; Galanty, A.; Zagrodzki, P.; Luksirikul, P.; Barasch, D.; Nemirovski, A.; Gorinstein, S. Dragon Fruits as a Reservoir of Natural Polyphenolics with Chemopreventive Properties. *Molecules* **2021**, *26*, 2158. [[CrossRef](#)]
53. Tang, W.; Li, W.; Yang, Y.; Lin, X.; Wang, L.; Li, C.; Yang, R. Phenolic Compounds Profile and Antioxidant Capacity of Pitahaya Fruit Peel from Two Red-Skinned Species (*Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*). *Foods* **2021**, *10*, 1183. [[CrossRef](#)]
54. Liu, Y.; Chen, H.; Chen, S.; Zhang, Y.; Zhang, J.; Zhu, X.; Li, W.; Liu, J.; Jiang, Y.; Li, D. Pectin-rich dragon fruit peel extracts: An environmentally friendly emulsifier of natural origin. *Food Chem.* **2023**, *429*, 136955. [[CrossRef](#)]

55. Jiang, H.; Zhang, W.; Li, X.; Shu, C.; Jiang, W.; Cao, J. Nutrition, phytochemical profile, bioactivities and applications in food industry of pitaya (*Hylocereus* spp.) peels: A comprehensive review. *Trends Food Sci. Technol.* **2021**, *116*, 199–217. [[CrossRef](#)]
56. Ferreira, V.C.; Ampese, L.C.; Sganzerla, W.G.; Colpini, L.M.S.; Forster-Carneiro, T. An updated review of recent applications and future perspectives on the sustainable valorization of pitaya (*Hylocereus* spp.) by-products. *Sustain. Chem. Pharm* **2023**, *33*, 101070. [[CrossRef](#)]
57. Otálora, M.C.; Wilches-Torres, A.; Gómez Castaño, J.A. Mucilage from yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) fruit peel: Extraction, proximal analysis, and molecular characterization. *Molecules* **2023**, *28*, 786. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
58. Nizamlioglu, N.M.; Ünver, A.; Kadakal, Ç. Mineral Content of Pitaya (*Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*) Seeds Grown in Turkey. *Erwerbs-Obstbau* **2021**, *63*, 209–213. [[CrossRef](#)]
59. Ferreres, F.; Grosso, C.; Gil-Izquierdo, A.; Valentão, P.; Mota, A.T.; Andrade, P.B. Optimization of the recovery of high-value compounds from pitaya fruit byproducts using microwave-assisted extraction. *Food Chem.* **2017**, *230*, 463–474. [[CrossRef](#)]
60. Le, N.L. Functional compounds in dragon fruit peels and their potential health benefits: A review. *Int. J. Food Sci. Technol.* **2022**, *57*, 2571–2580. [[CrossRef](#)]
61. Arroyo-Esquivel, L.; Rincón, E.; Jiménez, V.M.; Vásquez, F.; Esquivel, P.; Espinosa, E.; Rodríguez, A. Valorization of red pitahaya (*Hylocereus* sp.) peel through a multi-product cascade biorefinery approach towards bioactive food packaging films. *Food Biophys.* **2025**, *20*, 24. [[CrossRef](#)]

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

5. Resultados y Discusión



5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Crecimiento del fruto y rendimiento del cultivo

El crecimiento del fruto de pitahaya se evaluó midiendo el diámetro polar (longitudinal) y el diámetro ecuatorial. En ambos casos, se obtuvo una curva sigmoidea simple con un aumento progresivo de ambos diámetros, aunque la magnitud se vio afectada por el tipo de elicitor y las dosis aplicadas. El crecimiento de la pitahaya sigue una curva sigmoidea simple, que es típica de las frutas de pepita, tanto no climatéricas como el pimiento, el limón, la uva de mesa o la granada, pero también en frutas climatéricas como la manzana y la pera, y al contrario de las frutas de hueso muestran una curva sigmoidea doble (Serrano et al., 2005; Diaz-Mula et al., 2009; Li K. T. 2012). La aplicación de los diferentes elicitores de precosecha aumentó el tamaño de la pitahaya con respecto a las frutas de control, con una mejora en los diámetros polar y ecuatorial. Curiosamente, el diámetro polar fue máximo con las dosis más altas (10 mM) de SaMe, AS y JaMe, y 5 mM de AO, mientras que el ecuatorial mostró las dimensiones máximas con las dosis más bajas (1 mM) de SaMe, AS, JaMe y AO. Así, para los frutos de control, el diámetro polar máximo fue significativamente menor (102 mm) con respecto a la pitahaya tratada, especialmente con SaMe a 10 mM (105 mm), AS a 10 mM (109 mm), JaMe a 10 mM (106 mm) y AO a 5 mM (107 mm). El diámetro ecuatorial más bajo se encontró en la pitahaya de control (75 mm) y significativamente mayor en los frutos tratados, especialmente para SaMe a 1 mM (78 mm), AS a 1 mM (82 mm), JaMe a 1 mM (79 mm) y AO a 1 mM (79 mm).

El rendimiento del cultivo se determinó por la producción de frutos (kg planta^{-1}) y el número de frutos por planta. El rendimiento más bajo se encontró en AS a 10 mM (7 kg planta^{-1}) seguido por la pitahaya control ($13 \text{ kg planta}^{-1}$), mientras que el más alto se obtuvo para JaMe a 10 mM ($20 \text{ kg planta}^{-1}$) seguido por AO a 10 mM ($19 \text{ kg planta}^{-1}$) y SaMe a 5 mM ($17 \text{ kg planta}^{-1}$). Con respecto al número de frutos, AS a 5 o 10 mM mostró el rendimiento más bajo (19 y 30 frutos planta^{-1} , respectivamente) seguido por el control (42 frutos planta^{-1}), mientras que el rendimiento más alto se obtuvo para JaMe a 5 mM (57 frutos planta^{-1}). El peso del fruto se vio significativamente afectado por el tratamiento, siendo los frutos control los más pequeños (294 g), mientras que el peso del fruto fue significativamente mayor en las plantas tratadas. El tratamiento más eficaz para mejorar el peso del fruto fue AO a 5 mM (388 g) seguido de AS a 5 mM (377 g), JaMe a 1 mM (366 g) y SaMe a 1 mM (361 g).

Estudios previos han demostrado que el efecto de la aplicación de AS depende de la concentración aplicada y la especie de fruta. Generalmente, las frutas con cáscara no comestible (plátano, piña, granada, entre otras) toleran una mayor concentración en comparación con las frutas con cáscara comestible, como la ciruela, la uva de mesa o las cerezas (Chen et al., 2023). Sin embargo, existen varias situaciones en las que el AS a concentraciones elevadas regula negativamente el desarrollo y crecimiento del fruto (Koo et al., 2020), como se observó en la pitahaya tratada con 10 mM de AS, donde se obtuvo el menor rendimiento y número de frutos, aunque el peso del fruto no se vio afectado negativamente.

En ciruela, el tratamiento previo a la cosecha con AS y SaMe a 0,5 mM aumentó el peso del fruto (25% en promedio) y el rendimiento total (entre 10-20%), aunque el número de frutos por árbol no se vio afectado (Martinez-Esplá 2017). En granada, los tratamientos con AS y SaMe mejoraron el rendimiento del cultivo, lo que se atribuyó al mayor número de frutos por árbol, pero no a la masa del fruto (Shi et al., 2023). En dos cultivares de cereza dulce, su volumen de fruto fue mayor (40%, en promedio) después del tratamiento previo a la cosecha con SaMe a 0,5 y 1 mM, aunque el rendimiento no se vio afectado (Saracoglu et al 2017). Algunas explicaciones podrían estar relacionadas con la capacidad de AS para aumentar la tasa de floración, mejorar el cuajado del fruto o disminuir la abscisión del fruto. En este estudio, los tratamientos se aplicaron después del cuajado del fruto y, por lo tanto, el mayor rendimiento y el número de frutos podrían estar relacionados con una menor abscisión en comparación con los frutos de pitahaya de control, ya que los salicilatos reducen la abscisión normal del fruto (Faizi et al., 2021).

Se ha observado que los tratamientos con JaMe (a 1, 5 y 10 mM) afectaron el proceso de maduración de la uva de mesa y el rendimiento del cultivo dependiendo de la concentración aplicada. Por lo tanto, JaMe a 1 mM adelantó el proceso de maduración de las bayas (con un rendimiento mayor que los controles, mientras que se obtuvo un retraso en las uvas tratadas a 5 y 10 mM a con un efecto dosis-dependiente (García-Pastor et al., 2019). Concentraciones más bajas de JaMe (a 1, 0,1 y 0,01 mM) confirmaron la aceleración del proceso de maduración, siendo el rendimiento más alto máximo con JaMe a 0,01 mM. Por el contrario, los tratamientos con JaMe no afectaron la masa y el tamaño de la fruta en cerezas dulces (Baek et al., 2021), probablemente debido a ese único tratamiento realizado en el período de crecimiento tardío, específicamente antes de la cosecha. Es bien sabido que un retraso en la cosecha causa un aumento neto en el peso de la fruta, como se informó

para JaMe 2 mM aplicado a cerezas dulces 1 semana antes de la cosecha, pero falló si las aplicaciones se realizaron 2 o 3 semanas antes (Hussein et al., 2023). En tomate, el rendimiento mejoró después de los tratamientos de precosecha con JaMe y AS, siendo el rendimiento mayor en las plantas tratadas con JaMe, lo que se ha atribuido al efecto de JaMe en el alivio del estrés abiótico y se asocia con una mejora de la tasa neta de fotosíntesis y la productividad (Asghari, et al., 2020). En granadas, el ácido jasmónico (AJ) mejoró los caracteres de tamaño y calidad de la granada 'Wonderful' (Fekry et al., 2022), ya que el AJ juega un papel esencial en el desarrollo del fruto y el crecimiento (Garcia-Pastor et al., 2020). De hecho, JaMe a 0,5 mM no solo mejoró los compuestos bioactivos y la calidad, sino que también aumentó la productividad y el rendimiento. En la granada 'Mollar de Elche', la aplicación de JaMe (a 1, 5 y 10 mM) también aumentó el rendimiento del cultivo, que se atribuyó al número de frutos por árbol, y no estaba relacionado con el peso del fruto (Shi et al., 2023).

En ciruelo, la aplicación de AO antes de la cosecha (a 0,5, 1 y 2 mM) indujo un mayor rendimiento que el control desde la primera fecha de cosecha, mientras que ocurrió lo contrario en la segunda, lo que sugiere que el AO exógeno retrasa el proceso de maduración en el árbol, aunque el rendimiento total y el número de frutos por árbol siempre fueron mayores en los árboles tratados con AO (Morillo et al., 2023). Los árboles de granado tratados con AO en las mismas concentraciones dieron como resultado un mayor rendimiento del cultivo debido a un mayor número de frutos, pero con un peso de fruto similar sin efecto dosis-dependiente (Garcia-Pastor et al., 2020).

De acuerdo con estos resultados, se puede señalar que los elicitors aplicados en precosecha mejoraron el rendimiento de pitahaya, incrementando el número, peso y tamaño de los frutos, con efectos dependientes del tipo y concentración. JaMe a 10 mM logró el mayor rendimiento (20 kg/planta), y JaMe a 5 mM el mayor número de frutos (57 frutos/planta). AO también destacó en ambos parámetros. Todos los tratamientos aumentaron el porcentaje de pulpa, salvo AS a 10 mM, que redujo este valor. Estos resultados confirman el potencial de JaMe y AO para optimizar la productividad y calidad comercial del cultivo.

5.2. Parámetros de calidad durante la recolección y almacenamiento

Los parámetros de calidad más importantes de la pitahaya son su contenido de SST, AT, firmeza y el porcentaje de pulpa. Los SST no se vieron afectados por los

tratamientos previos a la cosecha, aunque SaMe y JaMe a 5 mM y AO a 1 mM mostraron una disminución en el contenido de SST en comparación con el control, mientras que SaMe a 10 mM mostró lo contrario. En cereza dulce, SaMe a 1 y 2 mM también aumentó la concentración de SST y AT (Giménez et al., 2014). Los SST son un criterio de cosecha significativo para las frutas de pitahaya, y los resultados actuales revelaron que SaMe a 10 mM adelantó el proceso de maduración. De acuerdo con los reportes el AO a 5 mM retrasó la maduración en mango durante el almacenaje (Razzaq et al., 2015), y que JaMe a 0,25 mM también mostró niveles más bajos de SST que el control en tomate (Baek et al., 2021), y fue confirmado por el mayor contenido de AT de las pitahayas tratadas. Para este parámetro, todos los tratamientos con AS indujeron un mayor porcentaje de AT, que no se vio afectado en las pitahayas tratadas restantes. La aplicación de dosis más bajas de JaMe (0,1 y 0,01 mM) resultó en un mayor contenido de SST y AT en las uvas de mesa (García-Pastor et al., 2020b).

La mayor firmeza ($10,16 \pm 0,7 \text{ kg cm}^{-2}$) de la fruta se obtuvo para las pitahayas tratadas con JaMe a 10 mM, mientras que SaMe a 5 mM y AO a 1 mM mostraron valores más bajos ($6,60\text{-}6,70 \text{ kg cm}^{-2}$) de firmeza en comparación con las frutas de control ($7,60 \pm 0,3 \text{ kg cm}^{-2}$). En consecuencia, JaMe fue más eficaz que AS en el aumento de la firmeza del tomate, probablemente atribuido al papel reportado de JaMe en el metabolismo de la pared celular al aumentar la actividad de las enzimas fenilalanina amonio-liasa (PAL) y peroxidasa (POD) involucradas en la biosíntesis de lignina, y por lo tanto aumentando la firmeza de la fruta (Asghari et al., 2020). El AO también ha sido eficaz para mejorar la firmeza de la fruta en mango (Razzaq et al., 2015) y granada (García-Pastor et al., 2020a], principalmente debido a una disminución en las actividades de las enzimas poligalacturonasa y pectina metil esterasa, lo que resultó en un retraso de la degradación de la pectina y la rigidización de la pared celular.

Al aplicar las mejores concentraciones del primer año: JaMe y SaMe a 1 mM, y AS y AO a 5 mM, y evaluar la calidad de la pitahaya en la cosecha y durante el almacenamiento a 10 °C, se confirma los resultados de JaMe y AO retrasan la maduración, y SaMe y AS presentaron un efecto contrario.

Al momento de la cosecha, los frutos tratados con SaMe y AS y el control mostraron significativamente mayores SST ($17\text{-}18 \text{ }^\circ\text{Brix}$) y menor AT ($0,10 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) en comparación con los tratados con JaMe y AO, en los cuales se obtuvieron menores SST ($14 - 15 \text{ }^\circ\text{Brix}$) y mayor AT ($0,14 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$). De igual manera, la firmeza fue mayor

en las pitahayas tratadas con AS, JaMe y AO ($9-19 \text{ N mm}^{-1}$), mientras que lo contrario ocurrió con los frutos tratados con SaMe y el control (8 N mm^{-1}). Durante el almacenamiento poscosecha se observó el mismo comportamiento, siendo SaMe y el control los tratamientos que exhibieron mayores SST y menores AT y firmeza en comparación con las pitahayas tratadas con AS, JaMe y AO. Se observó que para todos los tratamientos, los SST aumentaron ligeramente durante el almacenamiento, mientras que para AT y firmeza se obtuvo una disminución significativa.

El AS y su derivado SaMe se producen de forma natural y se consideran seguros (Koo et al., 2020) y, cuando se aplican como tratamiento previo a la cosecha, podrían tener funciones como reguladores del crecimiento de las plantas y como inductores de SAR, aliviando a su vez los efectos devastadores del estrés abiótico (Chen et al., 2023; Ahmad et al., 2019). Durante el crecimiento de la pitahaya, la maduración y el almacenamiento posterior a la cosecha, tanto AS como SaMe mejoraron el SST pero indujeron una menor AT y firmeza; estos efectos se relacionan con un avance del proceso de maduración. El SST y la AT son buenos indicadores de dulzura y acidez, respectivamente, siendo el parámetro más importante de la fruta el sabor, que determina la aceptabilidad del consumidor y las decisiones de compra (Valero & Serrano 2010). Durante el almacenamiento, la disminución en SST y AT se debe principalmente al aumento de la tasa de respiración al utilizar las sustancias reservadas (Hazarica et al., 2021). Se ha informado que AS y SaMe modulan estos rasgos de calidad, aunque los efectos dependen de la especie de fruta, el tipo de elicitador, la concentración y el número de aplicaciones. Por ejemplo, el AS aplicado en pre-cosecha (1, 2 y 3 mM) en árboles de lima, la dosis más baja aceleró la madurez del fruto en aproximadamente 80 días (Samaradiwakara et al., 2023), de manera similar a las uvas a 1 y 1,5 mM (Champa et al., 2015), y en contraste, el AS a 1 mM aceleró la maduración, pero a 2 mM, se observó un retraso en el durazno (Ali et al., 2021). Las uvas de mesa tratadas con AS (0,01 mM) y SaMe (0,1 mM) aumentaron los SST, mientras que el ASA (ácido acetilsalicílico 1 mM), que es un derivado del AS, disminuyó los SST en la cosecha (García-Pastor et al., 2020c).

El JaMe es una hormona volátil derivada del ácido jasmónico que participa en una amplia gama de funciones vegetales, actuando como una señal en respuesta al estrés abiótico y modulando la biosíntesis de otros reguladores del crecimiento vegetal (Ahmad et al., 2016; Li et al., 2022). Las plantas sintetizan esta hormona en defensa contra el estrés biótico y abiótico, pero también modulan el crecimiento y la maduración del fruto (Kolupaev et al., 2023). La mayor AT y firmeza y el menor SST en

la pitahaya tratada con JaMe pueden atribuirse a los efectos retardantes de la maduración del JaMe y a un retraso en el proceso de senescencia. Cabe destacar que el JaMe afecta positivamente el crecimiento del fruto y la calidad del cultivo, un problema que se ha reportado ampliamente en varios productos frutícolas. Además, los efectos del JaMe sobre estos rasgos de calidad en la pitahaya aplicada en precosecha se mantuvieron también durante el almacenamiento poscosecha. En consecuencia, se ha demostrado que los tratamientos poscosecha con JaMe modifican las propiedades de los frutos durante el almacenamiento poscosecha (Wang et al., 2021).

En este sentido, JaMe aumentó el contenido de azúcar en durazno, lo que lleva a una mejora de la calidad nutricional (Zhao et al., 2021). JaMe aplicado a mandarina Kinnow como tratamiento precosecha a 0,1, 0,3, 0,5 y 0,7 mM mostró mayor firmeza de fruta y AT y una relación SST/AT más baja (indicativa del índice de maduración), siendo 0,5 mM el más eficaz para retrasar la maduración (Dhami et al., 2022). Además, los tratamientos JaMe precosecha resultaron en valores más altos de firmeza de fruta en la cosecha para todos los cultivares evaluados, incluyendo 'Early Lory', 'Prime Giant' y 'Sweetheart', durante cuatro temporadas de crecimiento diferentes (2019-2022) (Ruiz-Aracil et al., 2023). Parece que JaMe conduce a una fruta más firme por acción directa ya que este compuesto volátil puede mejorar la integridad de la pared celular (Chen et al., 2019). Además, también se ha propuesto una acción indirecta por la cual JaMe retrasó el ablandamiento de la fruta debido a un nivel elevado y estable de contenido de Ca^{2+} en las paredes celulares. Otros autores sugieren que JaMe activa las enzimas pectina metilesterasas (PME), con la liberación de ésteres metílicos de las pectinas y la generación de pectinas libres que podrían reticularse con Ca^{2+} , aumentando así la firmeza de la pared celular (Trejo et al., 2023).

Por otro lado, el AO es un ácido orgánico natural perteneciente al ciclo de Krebs, con múltiples funciones que alteran el metabolismo vegetal. Según investigaciones realizadas durante las últimas dos décadas, el AO ha demostrado tener actividad antioxidante, centrándose esencialmente en la mejora del rendimiento y la calidad del cultivo, pero también se ha demostrado que retrasa la maduración poscosecha y la senescencia (Walker et al., 2018; Hasan et al., 2023). En pitahaya amarilla, la aplicación precosecha de AO mostró resultados similares a los obtenidos para frutos tratados con JaMe, es decir, un retraso de la maduración basado en menores SST y mayores AT y firmeza.

El papel de los ácidos orgánicos en general, y particularmente del AO, juega un papel esencial en la modulación de la maduración de la fruta y el retraso de la senescencia durante el almacenamiento poscosecha, así como en la regulación positiva de la resistencia contra estreses tanto abióticos como bióticos. Las aplicaciones de AO pre y poscosecha han sido ampliamente utilizadas con el objetivo de mejorar la calidad de la fruta en la cosecha. El AO precosecha en cereza dulce (García-Pastor et al., 2019) y granada (Martínez-Esplá et al., 2014) mostró un claro retraso en la maduración y senescencia, con beneficios netos en términos de calidad. La mayor firmeza en las pitahayas tratadas con AO probablemente se relacionó con la biosíntesis de pectina soluble en oxalato y la inhibición de la solubilización de la pectina, manteniendo así una mayor firmeza de la fruta (Valero & Serrano 2010). Este efecto se mostró en otras frutas como el durazno y el limón (Razavi F. 2016; Serna-Escolano et al., 2021). Los niveles más altos de AT podrían estar relacionados con tasas de respiración más bajas, ya que los ácidos orgánicos son los sustratos primarios que se utilizan en el proceso fisiológico de la respiración.

Entre todos los tratamientos evaluados, el jasmonato de metilo (JaMe) a 1 mM se destacó como el más eficaz, al promover una mayor firmeza, mantener una acidez adecuada y retrasar el proceso de maduración, lo que favoreció una mejor conservación de la calidad durante el almacenamiento en frío. Además, JaMe incrementó los niveles de carotenoides y la actividad antioxidante, especialmente en la fracción lipofílica, preservando así las propiedades funcionales del fruto. En contraste, tratamientos con SaMe y AS aceleraron la maduración, reduciendo firmeza y acidez, pero aumentando los SST, lo que puede ser deseable desde el punto de vista sensorial, aunque compromete la vida útil. Por tanto, el tratamiento con JaMe a 1 mM representa una estrategia fisiológicamente adecuada y tecnológicamente viable para prolongar la vida poscosecha y mejorar la calidad integral de la pitahaya amarilla.

5.3. Actividad antioxidante de la pulpa durante el almacenaje

La forma principal de consumir la pitahaya es como fruta, por ello la importancia de mantener en la pulpa el mayor contenido de compuestos bioactivos. La concentración de fenoles totales y la actividad antioxidante total (hidrófila) fue mayor en la pulpa tratada con AS, JaMe y AO y menor en aquellas tratadas con SaMe y las frutas control. Estas diferencias se mantuvieron durante todo el período de almacenamiento poscosecha (52 días a 10 °C), aunque el contenido de fenoles totales aumentó durante el almacenamiento, mientras que ocurrió lo contrario para la actividad antioxidante total. En el almacenamiento, la concentración fenólica para las

frutas control se mantuvo sin cambios, mientras que la actividad antioxidante total mostró una disminución significativa, alcanzando la actividad más baja (30 mg de Trolox eq. 100 g⁻¹). Por el contrario, el contenido total de polifenoles aumentó durante el almacenamiento para todas las frutas de pitahaya tratadas (18 mg de ácido gálico eq. 100 g⁻¹). Curiosamente, los niveles de fenoles totales en las pitahayas control se mantuvieron sin cambios durante el almacenamiento, mientras que las frutas tratadas con SaMe mejoraron los fenoles totales. En consecuencia, se ha demostrado que la aplicación de SaMe durante el crecimiento del fruto aumenta el contenido de polifenoles de varias frutas en la cosecha y durante el almacenamiento en frío, como la uva y la cereza dulce, entre otras (García-Pastor et al., 2020c; Chen et al., 2023). De manera similar, JaMe y AO mejoraron los fenoles totales de la uva de mesa, la granada y la cereza dulce en el momento de la cosecha y también durante el almacenamiento poscosecha (García-Pastor et al., 2020a; Martínez-Espla et al., 2014).

Se reportó que JaMe aplicado como tratamiento poscosecha en pitahaya roja indujo mayor cantidad total de flavonoides, fenoles, antocianinas y actividad antioxidante medida por ensayos FRAP y DDPH (Faizy et al., 2021). En una comparación de tres especies (*H. costaricensis*, *H. undatus* e *H. megalanthus*), el contenido de fenoles totales en la pulpa fue de 33, 23 y 22 mg de ácido gálico eq. 100 g⁻¹, siendo *H. costaricensis* la fruta con mayor actividad antioxidante, 1,5 veces mayor que *H. undatus* y *H. megalanthus* (Constantino et al., 2021). Las tres especies difieren en el color de la cáscara y la pulpa, y se puede concluir que el contenido total de fenoles y la capacidad antioxidante son notablemente mayores en las frutas de pulpa roja que en las de pulpa blanca. Esto fue confirmado por (Attar et al., 2022), con respecto a sus resultados para *Hylocereus polyrhizus* e *Hylocereus undatus*, en el que el principal compuesto fenólico en ambas pitahayas fue la quercetina.

En la cosecha, el contenido de carotenoides totales en la pulpa fue significativamente mayor en las pitahayas tratadas con AS, JaMe y AO (40–60 µg β-caroteno eq. 100 g⁻¹) que los obtenidos en las frutas tratadas con SaMe y control (20 µg β-caroteno eq. 100 g⁻¹). El contenido de carotenoides más alto se mostró para las pitahayas tratadas con AS. Con respecto a la actividad antioxidante total (lipófila) en la cosecha, todas las pitahayas tratadas mostraron una actividad significativamente mayor (5–7 mg de Trolox eq. 100 g⁻¹) que las frutas control (3 mg de Trolox eq. 100 g⁻¹). Durante el almacenamiento, la concentración de carotenoides para las frutas de control se mantuvo sin cambios, mientras que las pitahayas tratadas mostraron un

aumento significativo, especialmente con la aplicación de AO (90–100 μg β -caroteno eq. 100 g^{-1}) y JaMe (90 μg β -caroteno eq. 100 g^{-1}).

La concentración de carotenoides en especies de pitahaya, ya sean rojas o amarillas, no se ha investigado en profundidad, aunque existe alguna evidencia. Se han identificado cuatro xantofilas (luteína, neoxantina, violaxantina y dihidroxi dihidrozeaxantina) y dos carotenos (licopeno, β -caroteno) tanto en la cáscara como en la pulpa de pitahayas rojas (Corea et al., 2019). La pulpa de tres especies (*H. undatus*, *H. costaricensis* e *H. megalanthus*) reveló un rango de 30–33,8 μg 100 g^{-1} de carotenoides totales, 1,2–55,9 μg 100 g^{-1} de β -caroteno y 29,5–32,7 μg g^{-1} de xantofila (Abirami et al., 2021). En especies indias de pitahaya (*H. costaricensis* e *H. megalanthus*), se ha descubierto que el β -caroteno es un carotenoide importante. En pitahayas de pulpa blanca de la variedad Vietnam (pulpa blanca), se reportaron concentraciones de β -caroteno, licopeno y vitamina E de 1,4, 3,4 y 0,26 $\mu\text{g}\cdot 100 \text{g}^{-1}$, respectivamente (Chaoensiri et al., 2009).

Durante el almacenamiento, los carotenoides aumentaron en las pitahayas tratadas con AO y JaMe, mientras que la actividad antioxidante lipofílica disminuyó. Si bien todas las frutas tratadas presentaron concentraciones más altas que las de control, siendo el tratamiento con SaMe el inductor que indujo la mayor cantidad de carotenoides. El aumento continuo de carotenoides durante el almacenamiento poscosecha de la pitahaya amarilla podría deberse al proceso normal de maduración, en el cual la aceleración de la degradación de la clorofila conlleva un aumento de los carotenoides.

Generalmente, hay una estrecha relación entre los carotenoides y la actividad antioxidante lipofílica, dada la naturaleza lipofílica de los carotenoides (Valero&Serrano 2010). El aumento de β -caroteno y licopeno se ha asociado a una mejora de la capacidad de eliminar las especies de ROS que se pueden generar durante el almacenamiento poscosecha de las frutas (da Silveira Agostine-Costa 2020). No hay literatura sobre el efecto de los elicitores en el contenido de carotenoides en la pitahaya roja o amarilla, aunque resultados confirman que el JaMe aplicado en precosecha o poscosecha aumentó la concentración de los carotenoides totales de la mandarina (Dhami et al., 2022). Por otro lado, los tratamientos precosecha con AS y sus derivados SaMe y ácido acetilsalicílico (AAS) indujeron un aumento significativo en los carotenoides totales en dos cultivares de ciruela en la cosecha y durante el almacenamiento (Martínez-Espla et al., 2017).

La actividad antioxidante total (lipófila) durante el almacenamiento reveló que para todas las frutas de control y tratadas con pitahaya, se mostró una reducción significativa, aunque los valores siempre fueron significativamente más altos en las frutas tratadas que en las de control. El elicitor que indujo la actividad lipofílica más alta fue SaMe.

En general, los tratamientos aplicados promovieron la acumulación de compuestos bioactivos y mejoraron la actividad antioxidante total (AAT) respecto al control. El AS a 5 mM incrementó los carotenoides totales y mejoró la AAT hidrófila, favoreciendo la retención de fenoles durante el almacenamiento. SaMe a 0,1 mM indujo la mayor actividad antioxidante lipofílica y contenido de carotenoides, efecto posiblemente vinculado a la aceleración del metabolismo y degradación de clorofilas.

5.4. Minerales y actividad antioxidante en la piel

Según las últimas cifras, cada año se desperdician alrededor de 1.300 millones de toneladas de alimentos y subproductos alimentarios, siendo muy significativo en esto el sector agroindustrial, ya que las cáscaras o pieles de frutas son una buena fuente de compuestos funcionales de alto valor añadido para ser utilizados en las industrias alimentaria, farmacéutica o cosmética (Matharu et al., 2026). Sin embargo, no existe literatura disponible sobre el uso de la cáscara de pitahaya amarilla, ya que podría tener potencial en la industria alimentaria como ingrediente funcional, compuesto nutracéutico o película comestible.

La parte comestible de la pitahaya es la pulpa, que se consume principalmente como fruta fresca, jugos, mermeladas, helados y postres (Huang et al., 2021). Sin embargo, la fruta tiene una parte importante, la piel (que representa entre el 40 y el 50% de la masa total), que actualmente se considera un residuo, pero podría tener potencial para ser utilizada como subproducto. En el caso de la pitahaya amarilla, existe poca literatura sobre la composición de la cáscara, aunque sí se conoce en el caso de las variedades rojas (Mirabella et al., 2014).

Como primera aproximación, se analizó la composición mineral, fenoles y carotenoides totales en la cáscara de pitahaya amarilla cv. Palora. Con respecto a la composición mineral en la cáscara de pitahaya, los elicitores de precosecha contenían una mayor concentración de los macronutrientes Ca, P y K, siendo Mg significativamente más alto en la cáscara de pitahayas tratadas con SaMe y AO. Todos los micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn y Na) fueron más altos en la pitahaya tratada,

siendo SaMe el elicitador más efectivo en aumentar el contenido de todos los minerales. Numerosos estudios encontraron que la pitahaya (especie roja) tiene más contenido mineral (K, P, Na, Mg, Fe y Ca) que otras frutas tropicales, como la piña o el mango (Hossain et al., 2021). Existe reportes que el contenido total de cenizas y minerales de la cáscara fue 2 veces mayor que el obtenido en la pulpa, estudiando varias especies de pitahayas, ya sean frutos rojos o amarillos (Shah et al., 2020).

Con respecto a los compuestos bioactivos, todos los tratamientos fueron eficaces para aumentar la concentración de carotenoides totales en la piel de las pitahayas, con excepción de JaMe. Por otro lado, se observó el mismo comportamiento para la concentración de fenoles totales, con la excepción de la piel de los frutos tratados con AS, que presentaron el menor contenido.

Todos los tratamientos indujeron mayores concentraciones de carotenoides totales en la piel de las frutas de pitahaya, siendo SaMe el elicitador más efectivo. No existe literatura que reporte los carotenoides en la cáscara de pitahaya amarilla con propósitos comparativos, aunque hay alguna evidencia en otras pitahayas rojas. El contenido total de carotenoides en la piel de *H. costaricensis* (pitahaya roja) en la maduración comercial fue $\approx 2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ (de Faria et al., 2022). En un estudio comparativo con tres cáscaras de pitahaya (*Hylocereus undatus*, *Hylocereus costaricensis* e *Hylocereus megalanthus*), los carotenoides totales se encontraron en el rango de $4,82\text{--}24,3 \text{ } \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$, siendo los principales compuestos xantofila y β -caroteno (Abirami et al., 2021). El mercado de pigmentos naturales ha estado creciendo en la última década a medida que los consumidores demandan alternativas a los colorantes sintéticos, que se consideran dañinos. Por lo tanto, es necesario explorar pigmentos naturales y ecológicos (Sharma et al., 2021). A diferencia de la pitahaya roja, que es rica en pigmentos rojos (betalaínas y antocianinas), la cáscara de la pitahaya amarilla (rica en carotenoides) no se ha estudiado en profundidad y debe considerarse como una fuente potencial de carotenoides.

La aplicación precosecha de SaMe, JaMe y AO mostró un mayor contenido de fenoles totales en la cáscara, mientras que las cáscaras tratadas con AS presentaron concentraciones más bajas. En promedio, las concentraciones totales de polifenoles oscilaron entre 90 y 100 mg de ácido gálico eq. 100 g^{-1} en la cáscara de pitahaya amarilla. Se reportó (Xie et al., 2022) que los contenidos totales de fenoles y flavonoides (6 y 20 mg g^{-1} , respectivamente) alcanzaron su máximo en la etapa 1

(frutos inmaduros) y disminuyeron progresivamente a medida que avanzaba el desarrollo del fruto, alcanzando los niveles más bajos en el momento de la cosecha.

Los principales compuestos fenólicos encontrados en la cáscara de la pitahaya roja pertenecen al grupo de los flavonoides. Estudios recientes identificaron 16 ácidos fenólicos incluyendo derivados del ácido benzoico y elágico (Al-Mekhlafi et al., 2021; Arivagalan et al., 2021). La cáscara de tres cultivares de *Hylocereus undatus* incrementó gradualmente el contenido de fenoles totales durante la maduración del fruto hasta alcanzar el máximo en el momento de la cosecha, siendo la concentración más alta que la obtenida en la pulpa, lo que sugiere que las cáscaras de pitahaya podrían considerarse como buenas fuentes de fenoles naturales (Hua et al., 2018). El contenido fenólico en la cáscara de los ecotipos de pitahaya roja (*Hylocereus monacanthus*) y amarilla (*Hylocereus megalanthus*) confirmó que la cáscara tenía polifenoles totales más altos (2 veces) que la pulpa de la especie roja, pero lo contrario ocurrió en la pitahaya amarilla ya que la pulpa tenía un contenido 12% más alto que la cáscara (Quispe et al., 2021). El mayor contenido de fenoles totales en la cáscara de pitahaya amarilla tratada con los elicitores apoya la idea de que la cáscara podría tener un potencial en la industria alimentaria para ser utilizada en suplementos nutricionales. Recientemente, el mucílago de la cáscara de pitahaya amarilla se ha postulado como un hidrocólido innovador para ser utilizado en la industria alimentaria porque es una buena fuente de fibra dietética con una potente actividad antioxidante, así como buena solubilidad, una alta eficiencia de retención de agua y una excelente capacidad para formar emulsiones (Otálora et al., 2023). Además, las galletas hechas con 50% de harina de trigo refinada y 50% de polvo de cáscara de pitahaya aumentaron 5 veces el contenido de fibra, así como la cantidad de ácido gálico, y la galleta se ha considerado apetecible y de buena calidad (Pawde et al., 2020).

Los tratamientos precosecha con elicitores promovieron un aumento significativo en la concentración de minerales, carotenoides y fenoles totales en la piel de la pitahaya amarilla, con efectos dependientes del tipo de compuesto aplicado. SaMe se destacó como el tratamiento más efectivo para incrementar el contenido de carotenoides totales, mientras que SaMe presentó el mayor efecto sobre macro y micronutrientes. En cuanto a los compuestos fenólicos, JaMe, SaMe y AO aumentaron su concentración, a diferencia de AS, que mostró los niveles más bajos. Estos resultados evidencian el potencial de la piel de pitahaya como fuente de compuestos

funcionales, sugiriendo su aprovechamiento en la industria alimentaria como ingrediente nutracéutico o materia prima para productos de valor añadido.

5.5. Tratamiento en poscosecha y su conservación durante el almacenamiento

Se incluye en este apartado los resultados de un experimento de tratamientos poscosecha con SaMe y JaMe 0,1 mM, aún no publicados. En este experimento, los tratamientos se realizaron en Ecuador y posteriormente se transportaron a España y una vez en el laboratorio del grupo de Posrecolección de Frutos y Hortalizas de la UMH se conservaron a dos temperaturas, 2 y 10 °C, durante 40 y 55 días, respectivamente. A intervalos periódicos se tomaron muestras en las que se analizaron diferentes parámetros de calidad organoléptica, nutritiva y funcional. En los frutos conservados a 2 °C el último muestreo que se muestra es el del día 40 porque en el del día 55 se encontró un número elevado de frutos con podredumbres, debido a un problema técnico acontecido en la cámara sobre el control de la temperatura, no permitió llegar al final de este experimento.

5.5.1. Parámetros de calidad organoléptica durante el almacenamiento

Durante el almacenamiento en condiciones refrigeradas, se observó una pérdida progresiva de masa en todos los tratamientos de pitahaya amarilla, atribuida principalmente a la transpiración y la respiración celular, procesos inevitables tras la cosecha. A 2 °C, los frutos control mostraron una reducción de peso del 8,5 % (de 225,70 g a 206,48 g), mientras que los frutos tratados con JaMe 0,1 mM perdieron hasta 19,1 % de su masa y los tratados con SaMe 0,1 mM perdieron un 15,7 %. A 10 °C, las diferencias se acentuaron, el control alcanzó una pérdida de 23,7 %, el JaMe 0,1 mM una pérdida del 26,1 %, y el SaMe 0,1 mM un 20,45 %. Por tanto, los resultados mostraron que las pérdidas de peso fueron más acentuadas a temperatura más elevada, debido a una mayor transpiración de los frutos a 10 °C que a 2 °C, ya que este factor ambiental hace disminuir el potencial hídrico de la atmósfera y, por tanto, aumentar el gradiente de potencial hídrico que impulsa las pérdidas de agua de los frutos. Además, la temperatura tiene un efecto directo en la respiración de los frutos, como se muestra más adelante.

Sin embargo, no se encontró un efecto significativo de los tratamientos en este parámetro, mientras que en otros trabajos previos sí se han publicado diferencias significativas. Así, por ejemplo, en frutos de cereza tratados en poscosecha con SaMe 0,1 y 1 mM, disminuyó la pérdida de peso final un 3,0 % y 3,7 %, respectivamente, en

comparación con un 5 % en los frutos control (Giménez et al., 2015). El efecto de SaMe se atribuye a su capacidad para reducir la actividad respiratoria y fortalecer la barrera epidérmica, minimizando así la pérdida de agua por transpiración. También se obtuvo una reducción significativa en la pérdida de peso en frutos tratados de granada (Sayyari et al., 2011). El mecanismo por el cual SaMe reduce la pérdida de peso está vinculado a su capacidad de regular la apertura estomática y reducir la pérdida de agua por transpiración (Raskin, 1992). Asimismo, en mango, tomate y durazno, el tratamiento con SaMe también redujo el estrés por bajas temperaturas, lo que a su vez limitó la deshidratación secundaria al daño por frío (Cao et al., 2010). Estos efectos del SaMe se explican, en parte, por su capacidad para estimular la actividad de enzimas antioxidantes como catalasa (CAT), superóxido dismutasa (SOD) y ascorbato peroxidasa (APX), que neutralizan las especies reactivas de oxígeno (ROS) y por reducir la actividad de enzimas que oxidan los fenoles, como polifenol oxidasa (PPO) y peroxidasas (Valverde et al., 2015).

En cuanto a la firmeza, expresada en N mm^{-1} , durante el almacenamiento a $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 7A), no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en ninguno de los días de muestreo ni en ninguna de las temperaturas. Sin embargo, se evidenció una tendencia a una mejor retención de firmeza en los frutos tratados con JaMe 0,1 mM, especialmente al día 40 ($6,01 \pm 0,33$), frente al control ($5,58 \pm 1,05$) y SaMe 0,1 mM ($5,11 \pm 0,43$), lo que sugiere una moderada protección estructural de la epidermis por parte de JaMe 0,1 mM, aunque las diferencias no fueron significativas. A $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 7B), las diferencias tampoco fueron significativas. A los 55 días, los frutos control mostraron una pérdida de firmeza considerable ($4,54 \pm 0,61\text{ N mm}^{-1}$), mientras que SaMe 0,1 mM ($3,63 \pm 0,74$) y JaMe 0,1 mM ($3,34 \pm 0,74$) también presentaron descensos, pero sin diferencias significativas entre sí.

Sin embargo, en otros estudios en pimiento y papaya, tratamientos poscosecha con estos elicitores redujeron la acción de enzimas como poligalacturonasa y celulasa, responsables de la degradación de la pared celular y redujeron el ablandamiento, manteniendo la firmeza con valores más elevados en los frutos tratados durante la conservación (González-Aguilar et al., 2000; Bron et al., 2023), y en kiwi, el tratamiento con vapor de SaMe a $32\text{ }\mu\text{L}$, mediante aplicación exógena en poscosecha, mejoró la firmeza durante la conservación (Aghdam et al., 2010).

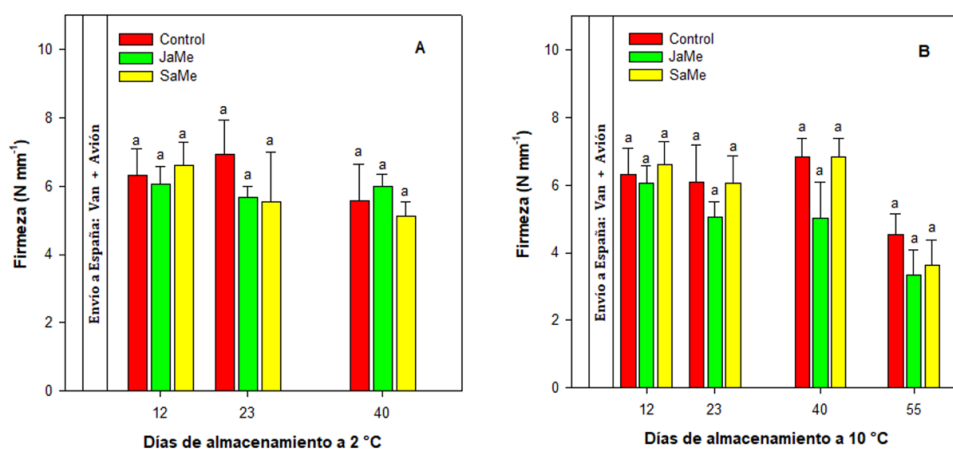


Figura 7. Efecto de los tratamientos poscosecha de JaMe y SaMe a 0,1 mM, sobre la evolución de la firmeza (N mm^{-1}) para cada uno de los muestreos a 2 °C (A) y 10 °C (B) de almacenamiento. Los datos son la media \pm ES ($n = 6$). Las barras con letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas a $p < 0,05$ entre tratamientos para cada día de almacenaje tras la prueba de Tukey.

Por otro lado, el parámetro de color (hue), disminuyó progresivamente en todos los tratamientos, lo cual indica una transición del color desde tonos verdes hacia tonalidades amarillas-naranjas, típicas de maduración de la pitahaya. En almacenamiento a 2 °C (Figura 8A), el control descendió de $86,58 \pm 0,99$ a $77,57 \pm 0,61$, y los frutos tratados con SaMe 0,1 mM mostraron una tendencia similar, llegando a valores de $75,33 \pm 0,65$ al día 40. A 10 °C (Figura 8B), el patrón fue similar, pero con un descenso más acentuado al final del almacenaje. El valor del color (hue) pasó de $86,58 \pm 0,99$ a $75,00 \pm 0,29$ en el control, mientras que JaMe 0,1 mM alcanzó valores finales de $74,92 \pm 0,56$ y SaMe 0,1 mM de $75,17 \pm 0,77$. Por tanto, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, en cereza se encontró un efecto positivo de estos tratamientos en la estabilización del color debido a la inducción de la actividad antioxidante y al retraso de los procesos oxidativos (Giménez et al., 2014)

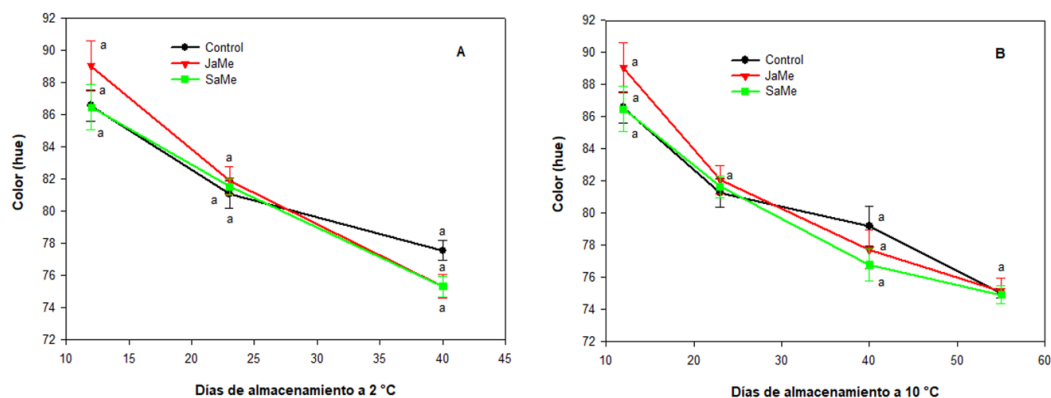


Figura 8. Efecto de los tratamientos poscosecha de JaMe y SaMe a 0,1 mM, sobre la evolución del color (hue) de la piel para cada uno de los muestreos a 2 °C (A) y 10 °C (B) de almacenamiento. Los datos son la media \pm ES (n = 6). Las letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas a $p < 0,05$ entre tratamientos tras la prueba de Tukey.

5.5.2. Calidad nutritiva de la fruta durante la conservación

Los niveles de SST expresados en $g\ 100\ g^{-1}$, presentaron una disminución con el tiempo de almacenamiento en ambos regímenes térmicos y en todos los tratamientos (2 °C y 10 °C). A 2 °C (Figura 9A), los frutos control presentaron una reducción significativa desde $19,40 \pm 0,05$ hasta $16,98 \pm 0,26$ a los 40 días. JaMe 0,1 mM mostró los menores valores al día 12 ($16,85 \pm 0,08$), mientras que SaMe 0,1 mM, con $18,87 \pm 0,06$ al día 12, también mostró una leve disminución, aunque conservando valores más altos que JaMe 0,1 mM y que los controles, lo cual refleja una mejor estabilidad del contenido de azúcares solubles, aunque las diferencias no fueron significativas.

En almacenamiento a 10 °C (Figura 9B), la tendencia fue similar. El tratamiento SaMe 0,1 mM permitió mantener mayores niveles de SST los días 23 y 40, indicado un papel del SaMe limitando la degradación de reservas azucaradas, lo que ha sido descrito en otras frutas como la cereza (Valverde et al., 2015; Giménez et al., 2015).

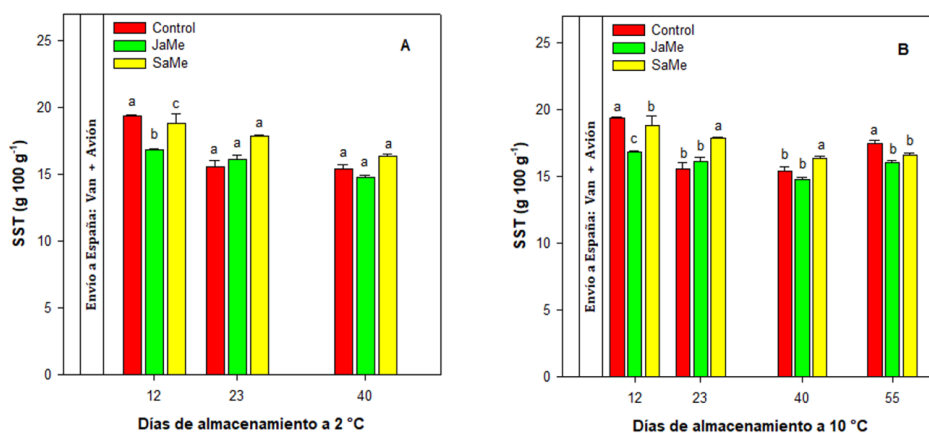


Figura 9. Efecto de los tratamientos poscosecha de JaMe y SaMe a 0,1 mM, sobre la evolución de los sólidos solubles totales ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) para cada uno de los muestreos a 2 °C (A) y 10 °C (B) de almacenamiento. Las barras con letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas a $p < 0,05$ entre tratamientos para cada día de almacenaje tras la prueba de Tukey.

En relación con la acidez total (AT), se evidenció un patrón creciente durante la conservación a 2 °C (Figura 10A) y decreciente en los frutos almacenados a 10 °C (Figura 10B). El descenso de la acidez durante la conservación es un patrón general para la mayoría de los frutos y refleja el consumo de ácidos orgánicos como sustratos energéticos durante la respiración, que es mayor cuanto más elevada es la temperatura, lo que concuerda con los resultados que se muestran en la Figura 10. Sin embargo, el ligero incremento de la AT observado en los frutos conservados a 2 °C podría atribuirse a un efecto de su concentración debido a las pérdidas de peso. Esta concentración también ocurriría a 10 °C, pero como la tasa de respiración es mayor, el resultado final podría ser una disminución. En general, los tratamientos no indujeron diferencias significativas en la evolución de la acidez de las pitahayas en ninguna de las dos temperaturas de conservación. Por el contrario, en diversos estudios se ha demostrado que SaMe puede ralentizar el uso de ácidos orgánicos, como málico y cítrico, preservando el sabor ácido característico del fruto recién recolectado, lo que se ha vinculado con una reducción del metabolismo mitocondrial durante el almacenamiento (Sayyari et al., 2011, Valverde et al., 2015).

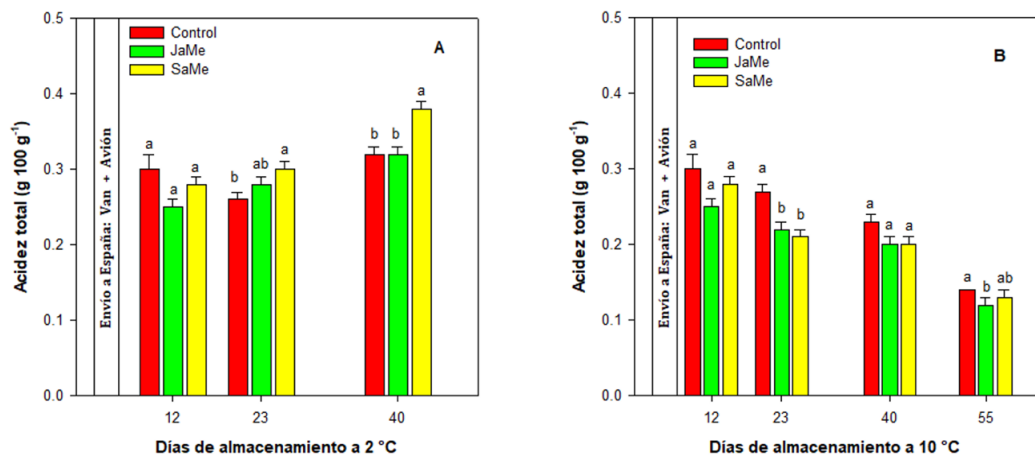


Figura 10. Efecto de los tratamientos poscosecha de JaMe y SaMe a 0,1 mM, sobre la evolución de la acidez total (g 100 g⁻¹) para cada uno de los muestreos a 2 °C (A) y 10 °C (B) de almacenamiento. Las barras con letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas a $p < 0,05$ entre tratamientos para cada día de almacenaje tras la prueba de Tukey.

El índice de madurez (IM), calculado como la relación SST/AT, es un indicador directo del estado de madurez del fruto. En condiciones de almacenamiento a 2 °C (Figura 11A), el IM mostró un ligero descenso, siendo el SaMe el tratamiento que más evidenció este descenso, con valores el día 40 de de 42,56, mientras que el control y JaMe alcanzaron 53,22 y 52,71, respectivamente. Estos son unos resultados inesperados, que se atribuyen al aumento de la AT encontrado en estos frutos, como se ha comentado anteriormente.

A 10 °C (Figura 11B), el IM sí que aumentó considerablemente, alcanzando valores máximos de 132,92 en SaMe, 138,10 en JaMe y 122,58 en control al día 55. Así pues, todos los tratamientos mostraron un avance del IM, aunque sin diferencias significativas entre los tratados y los controles. Por el contrario, estudios anteriores señalan que el SaMe no solo regula la producción de etileno y respiración, sino también mantiene la integridad celular, contribuyendo a una maduración más lenta y a un menor aumento del IM en cerezas (Valero et al., 2011; Giménez et al., 2015). Este comportamiento ha sido validado en frutos como papaya (Bron et al., 2023)

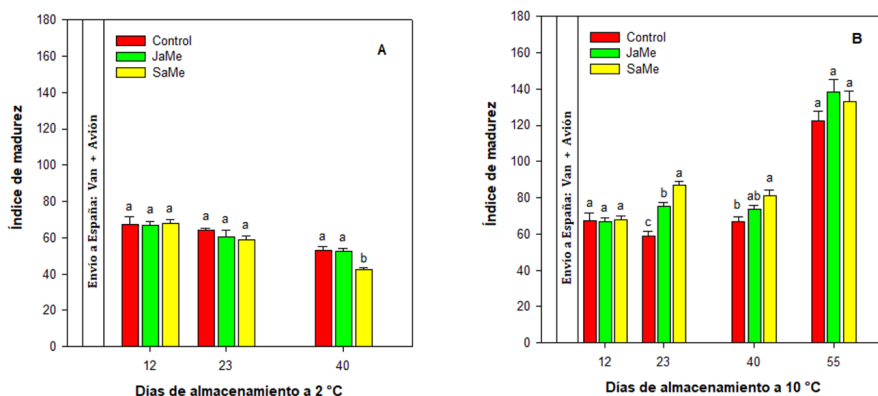


Figura 11. Efecto de los tratamientos poscosecha de JaMe y SaMe a 0,1 mM, sobre la madurez para cada uno de los muestreos a 2 °C (A) y 10 °C (B) de almacenamiento. Los datos son la media \pm ES (n = 6). Las barras con letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas a $p < 0,05$ entre tratamientos para cada día de almacenaje tras la prueba de Tukey.

5.5.3. Tasa de respiración y producción de etileno de la fruta durante la conservación

La tasa de respiración es un indicador fisiológico del metabolismo poscosecha en frutos tanto climatéricos como no climatéricos, mientras que la producción de etileno lo es fundamentalmente para los frutos climatéricos (Valero & Serrano, 2010). Aunque la pitahaya no presenta el típico “climaterio” con un pico respiratorio y de etileno asociado a la maduración, sus niveles basales de CO₂ y etileno pueden incrementar bajo condiciones de estrés (como frío, daño mecánico o senescencia avanzada), lo que acelera el deterioro del tejido y acorta su vida útil (Valero et al., 2025).

La tasa de respiración (expresada en mg kg⁻¹ h⁻¹) aumentó durante la conservación en todos los frutos y a las dos temperaturas, aunque los niveles fueron superiores a 2 que a 10 °C (Figura 12), lo que puede atribuirse a que la tasa de respiración de los frutos conservados a 2 °C se midió después de 2 días a 20 °C, mientras que en los frutos conservados a 10 °C su respiración se midió a 10 °C. A 2 °C + 2 días a 20 °C (Figura 12A), al día 40, JaMe presentó un valor inferior ($18,36 \pm 1,82$) que SaMe 0,1 mM ($29,68 \pm 2,03$) y similar al control ($16,65 \pm 1,34$). En cambio, a 10 °C (Figura 12B) el JaMe a 0,1 mM, al día 55 mostró la tasa de respiración más baja ($12,90 \pm 0,19$) seguido por el control ($14,88 \pm 1,84$) y SaMe ($15,89 \pm 0,32$), aunque las diferencias no fueron significativas. Sin embargo, otros trabajos han demostrado que el JaMe reduce la tasa de respiración, lo que se ha atribuido a la capacidad del JaMe

para modular la actividad de enzimas clave del metabolismo energético, como la citocromo oxidasa y la oxidasa alternativa (AOX), disminuyendo el flujo respiratorio mitocondrial y, con ello, la demanda metabólica en frutos de tomate (Fung et al., 2006)

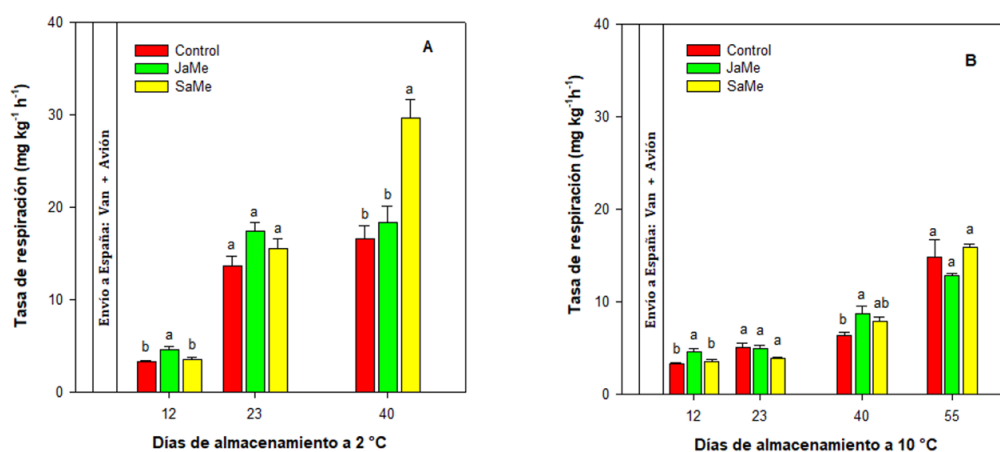


Figura 12. Efecto de los tratamientos poscosecha de JaMe y SaMe a 0,1 mM, sobre la tasa de respiración ($\text{mg Kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) para cada uno de los muestreos a 2 °C + 2 días a 20 °C (A) y 10 °C (B) de almacenamiento. Los datos son la media \pm ES ($n = 6$). Las barras con letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas a $p < 0,05$ entre tratamientos para cada día de almacenaje tras la prueba de Tukey.

Respecto a la producción de etileno, se corroboró el carácter no climatérico de la pitahaya amarilla, con valores muy bajos en todos los tratamientos (Figura 13). En general, no se encontraron diferencias significativas entre los frutos control y los tratados, a excepción de en el día 55 a 10 °C en el que los frutos tratados con JaMe a 0,1 mM se registró un valor de $0,06 \pm 0,01 \text{ nL g}^{-1} \text{h}^{-1}$, mientras que el control fue de $0,04 \pm 0,01$ y SaMe a 0,1 mM mostró un valor significativamente más alto $0,13 \pm 0,01 \text{ nL g}^{-1} \text{h}^{-1}$.

Estudios anteriores reportaron que JaMe exógeno indujo la producción de etileno en frutos de manzana y tomate durante el almacenamiento a 20 o 25 °C (Lv et al., 2018; Yu et al., 2019). El efecto de producción de etileno depende de la concentración del elicitor, se informó que la aplicación en precosecha de JaMe a 2 mM aceleró significativamente el proceso de maduración en poscosecha, mientras que a 0,5 mM retrasó, en dos ambos cultivares de ciruela (Zapata et al., 2014). En contraste los resultados obtenidos indicaron que JaMe 0,1 mM aplicado en poscosecha al día 55 de almacenamiento a 10 °C, reduce de manera significativa la producción de etileno en comparación con SaMe 0,1 mM. Similares resultados se reportó con tratamiento

de JaMe a 0,1 mM en poscosecha en frutos de kiwi, donde el elicitor inhibió la producción de etileno, debido a que la maduración del fruto fue independiente del etileno durante temperaturas por debajo de 10 °C (Xie et al., 2024). Asimismo, en papaya 'Golden', se reportó una menor emisión de etileno en frutos tratados con JaMe, lo que contribuyó a una mayor estabilidad poscosecha (Bron et al., 2023). Este patrón coincide con hallazgos en otros frutos no climatéricos como limón, granada, cereza dulce, donde JaMe ha demostrado para preservar la calidad fisiológica durante el almacenamiento prolongado (Serna-Escolano et al., 2021; Sayyari et al., 2011; Giménez et al., 2016). En estudios realizados en uva de mesa y granada, observaron que JaMe redujo significativamente la producción de etileno y la respiración durante el almacenamiento en frío (García-Pastor et al., 2019; Sayyari et al., 2011).

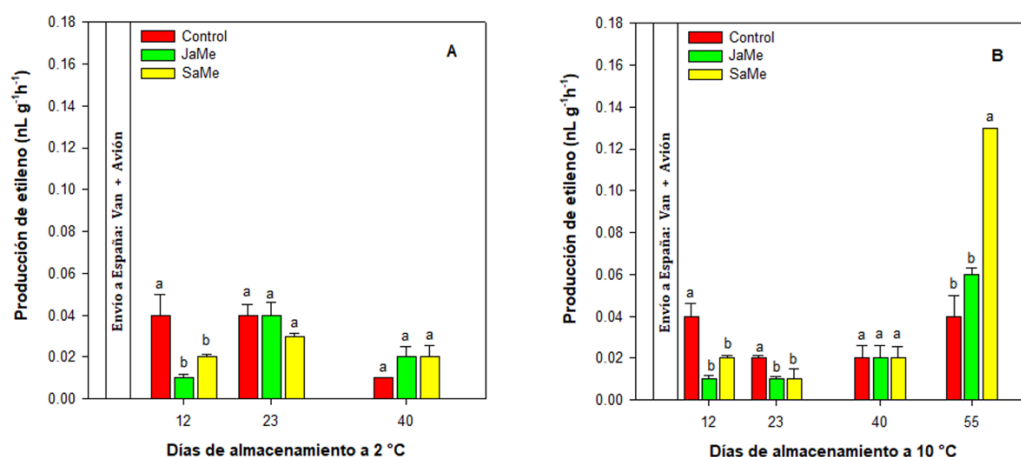


Figura 13. Efecto de los tratamientos poscosecha de JaMe y SaMe a 0,1 mM, sobre la producción de etileno (nL g⁻¹h⁻¹) para cada uno de los muestreos a 2 °C (A) y 10 °C (B) de almacenamiento. Los datos son la media ± ES (n = 6). Las barras con letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas a p < 0,05 entre tratamientos para cada día de almacenaje tras la prueba de Tukey.

5.5.4. Compuestos bioactivos y actividad antioxidante en la pulpa

Los fenoles totales en la pulpa mostraron una disminución el día 23 y luego un incremento el día 40, durante la conservación a ambas temperaturas y en todos los tratamientos (Figura 14). Esta dinámica ha sido reportada en frutos no climatéricos como la fresa, en donde el estrés por frío inicialmente reduce la biosíntesis de compuestos fenólicos, seguida de una activación posterior compensatoria de rutas antioxidantes (Aaby et al., 2007). Los tratamientos con JaMe y SaMe a 0,1 mM, aceleraron esta caída inicial, y presentaron valores más bajos que el control al día 23 a

2 °C (Figura 14A). A 10 °C (Figura 14B), la concentración de fenoles incrementó también entre el día 40 y el día 55, especialmente en los frutos tratados. En esta condición, SaMe 0,1 mM también fue el tratamiento más efectivo ($47.82 \pm 1.65 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), resultado en valores significativamente superiores al control ($35.19 \pm 0.96 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), lo que indica que temperaturas moderadas permiten una mejor respuesta de los frutos a este tratamiento. Este patrón se reportó en frutas recién cortadas de pitahaya roja (*Hylocereus undatus*) donde SaMe a 0,1 mM en 48 horas mejoró la acumulación fenólica al regular el metabolismo de fenilpropanoides (Li et al., 2023)

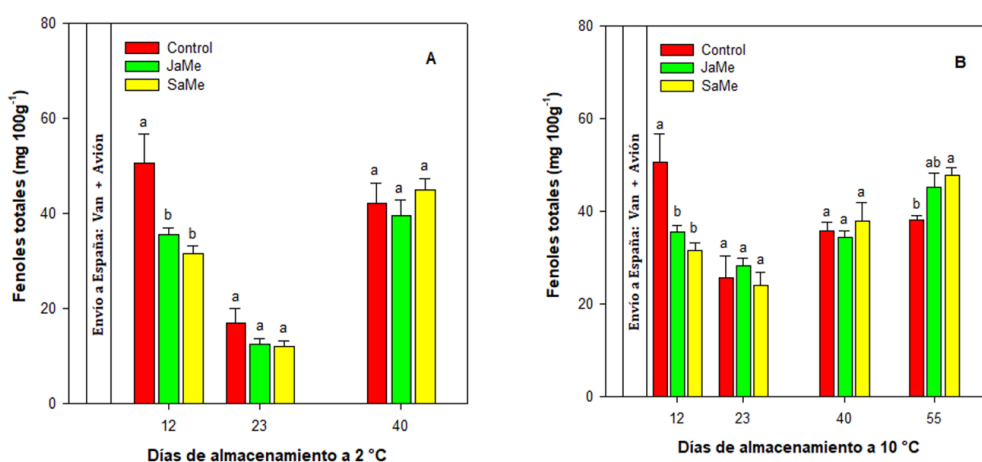


Figura 14. Efecto de los tratamientos poscosecha de JaMe y SaMe a 0,1 mM, sobre fenoles totales en la pulpa ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) para cada uno de los muestreos a 2 °C (A) y 10 °C (B) de almacenamiento. Los datos son la media \pm ES ($n = 6$). Las barras con letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas a $p < 0,05$ entre tratamientos para cada día de almacenaje tras la prueba de Tukey.

Existe reportes que durante el almacenamiento los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante fueron mayores en ciruelas tratadas en precosecha con JaMe a 0,5 mM (Zapata et al., 2014). En cambio, en cerezas tratadas con SaMe conservaron mayor contenido de compuestos fenólicos, especialmente a bajas temperaturas, lo que concuerda con los resultados obtenidos este estudio (Giménez et al., 2014).

En cuanto a la actividad antioxidante total hidrofílica (AAT-H) en la pulpa, a 2 °C (Figura 15A), el día 12, los tratamientos JaMe 0,1 mM ($26.56 \pm 1.15 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) y SaMe 0,1 mM ($24.34 \pm 1.35 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) fueron superiores al control ($20.57 \pm 3.20 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), aunque las diferencias no fueron significativas. Al día 40, el tratamiento SaMe 0,1 mM registró el mayor valor de AAT-H ($31.92 \pm 0.92 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), siendo significativamente mayor que el control ($24.08 \pm 2.08 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) y JaMe ($24.41 \pm 2.43 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), evidenciando su capacidad de preservar y estimular la actividad antioxidante durante

almacenamiento prolongado. En cambio, a 10 °C (Figura 15B), la evolución de AAT-H fue más variable y los valores al día 55 fueron significativamente reducidos en los frutos tratados con JaMe y SaMe (7.66 ± 1.11 y 10.61 ± 0.83 mg 100 g⁻¹, respectivamente) con respecto a los frutos control (24.34 ± 1.06 mg 100 g⁻¹). Estos resultados sugieren una posible sensibilidad de los mecanismos inducidos por SaMe 0,1 mM a las condiciones de temperatura y duración del almacenamiento. No obstante, al día 40, SaMe 0,1 mM presentó un valor pico de 29.87 ± 4.21 mg 100 g⁻¹, indicando que la acción de los elicitores puede ser transitoria y dependiente del estado fisiológico del fruto. Similares resultados se obtuvieron en frutos de cereza dulce tratados en poscosecha con SaMe 0,1 mM donde fueron mayores los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante comparados con el control, durante el almacenamiento (Giménez et al., 2016). De igual manera, se reportó que la fruta de naranja sanguina tratada en poscosecha con SaMe 0,1 mM fue más efectiva que JaMe 0,05 mM, porque presentó mayor actividad antioxidante que la fruta control, que probablemente estuvo relacionada con la senescencia de la fruta después de un almacenamiento prolongado (Habibi et al., 2020).

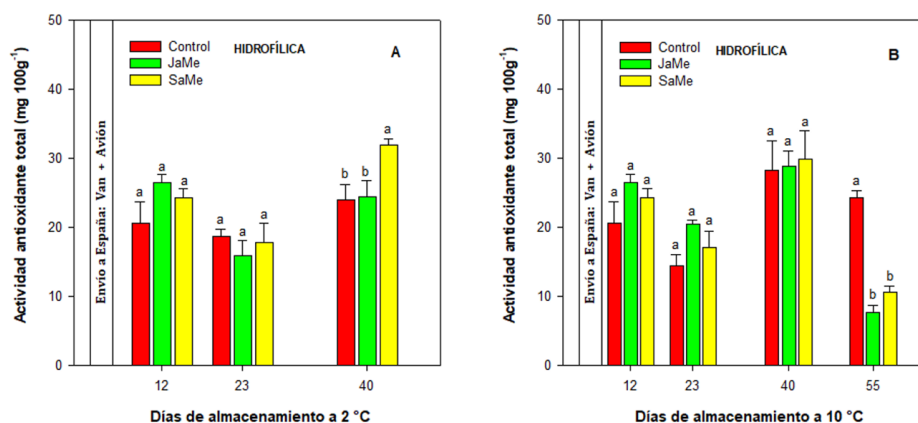


Figura 15. Efecto de los tratamientos poscosecha de JaMe y SaMe a 0,1 mM, sobre la actividad antioxidante total hidrofílica (mg 100 g⁻¹) pulpa, para cada uno de los muestreos a 2 °C (A) y 10 °C (B) de almacenamiento. Las barras con letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas a $p < 0,05$ entre tratamientos para cada día de almacenaje tras la prueba de Tukey.

5.5.5. Compuestos bioactivos y actividad antioxidante en la piel

Los carotenoides totales en la piel mostraron diferencias significativas periódicas atribuidas a los tratamientos en las dos temperaturas de conservación. A 2 °C (Figura 16 A), los contenidos se incrementaron progresivamente en todos los tratamientos, alcanzando valores máximos al día 40, siendo JaMe 0,1 mM el

tratamiento más efectivo con $3,45 \pm 0,05$ mg 100 g⁻¹), significativamente superior al control ($3,08 \pm 0,10$ mg 100 g⁻¹).

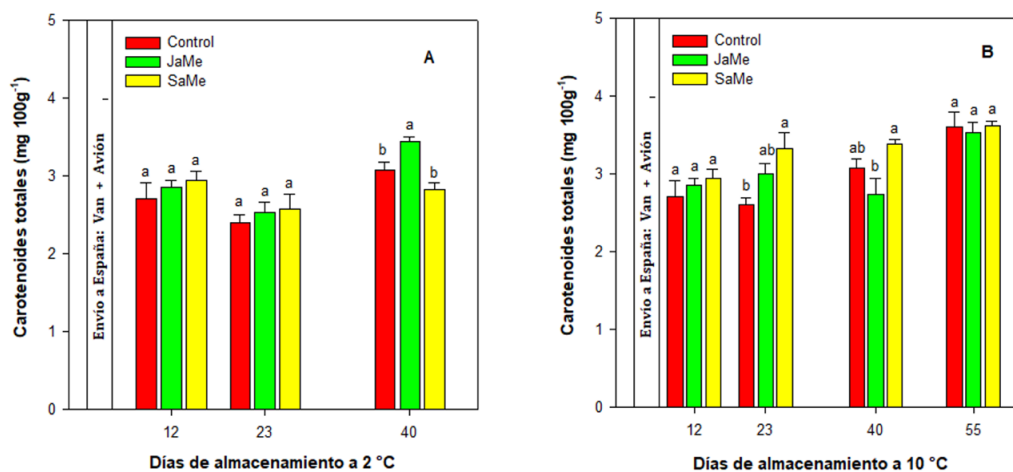


Figura 16. Efecto de los tratamientos poscosecha de JaMe y SaMe a 0,1 mM, sobre el contenido de carotenoides totales (mg 100 g⁻¹) piel, para cada uno de los muestreos a 2 °C (A) y 10 °C (B) de almacenamiento. Los datos son la media \pm ES (n = 6). Las barras con letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas a $p < 0,05$ entre tratamientos para cada día de almacenaje tras la prueba de Tukey.

Por otro lado, la actividad antioxidante total hidrofílica (AAT-H) y lipofílica (AAT-L) en la piel, se observó que en el día 12 a 10 °C (Figura 17), el tratamiento con JaMe 0,1 mM mostró un aumento significativo en AAT-H ($30,01 \pm 2,21$ mg 100 g⁻¹) respecto al control ($24,91 \pm 5,08$ mg 100 g⁻¹), seguido de SaMe ($28,48 \pm 4,32$ mg 100 g⁻¹). Similares resultados se reportaron que frutas tratadas con JaMe y SaMe donde aumentó la actividad antioxidante total hidrofílica y lipofílica en los arilos de frutas tratadas de granada durante el almacenamiento en poscosecha (Sayyari et al.,2011).

En la fracción lipofílica, donde predominan carotenoides y tocoferoles, JaMe 0,1 mM fue también el tratamiento más efectivo ($41,77 \pm 0,64$ mg 100 g⁻¹), mientras que SaMe 0,1 mM mostró valores inferiores ($37,96 \pm 0,74$ mg 100 g⁻¹) aunque sin diferencias significativas entre ellos ni con el control.

Es importante considerar que la piel de la pitahaya amarilla, a diferencia de la pulpa, contiene una proporción notable de carotenoides, pigmentos lipofílicos que también contribuyen a la actividad antioxidante. Por otro lado, la actividad

antioxidante total en la piel revela una participación dual de compuestos hidrofílicos y lipofílicos, siendo mayor la AAT-L por lo argumentado anteriormente sobre el mayor contenido de carotenoides totales en la piel.

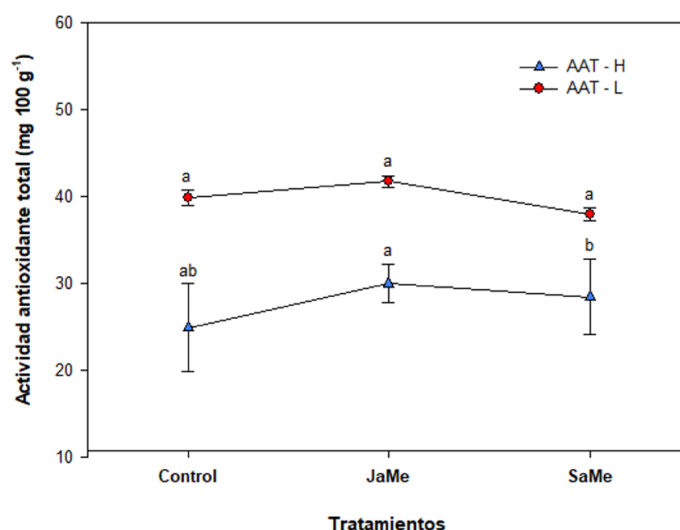


Figura 17. Efecto de los tratamientos poscosecha de JaMe y SaMe a 0,1 mM, sobre la AAT H/L (mg 100 g⁻¹) en la piel, día 12 a 10 °C de almacenamiento. Los datos son la media ± ES (n = 6). Las letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas a p < 0,05 tras la prueba de Tukey.

5.5.6. Azúcares y ácidos individuales en la pulpa

Los azúcares y ácidos individuales se determinaron en los frutos conservados a 10 °C durante 12 días. En el perfil de azúcares expresado en g 100 g⁻¹, el sorbitol, presentó una menor concentración en ambos tratamientos de JaMe a 0,1 mM (1,93) y SaMe a 0,1 mM (1,92) respecto al control (2,27), aunque las diferencias no fueron significativas (Figura 18A). La glucosa mostró una menor concentración en los frutos tratados con JaMe (1,14 g 100 g⁻¹), lo que indica un posible efecto inhibitorio sobre su acumulación o un aumento en su utilización en rutas respiratorias. Esta reducción también se observó en los frutos tratados con SaMe, aunque su efecto fue menos pronunciado (1,28 g 100 g⁻¹), siendo los frutos control los que presentaron mayores niveles de glucosa (1,67 g 100 g⁻¹) respecto a los tratamientos, lo que sugiere que estos elicitores indujeron su movilización o degradación.

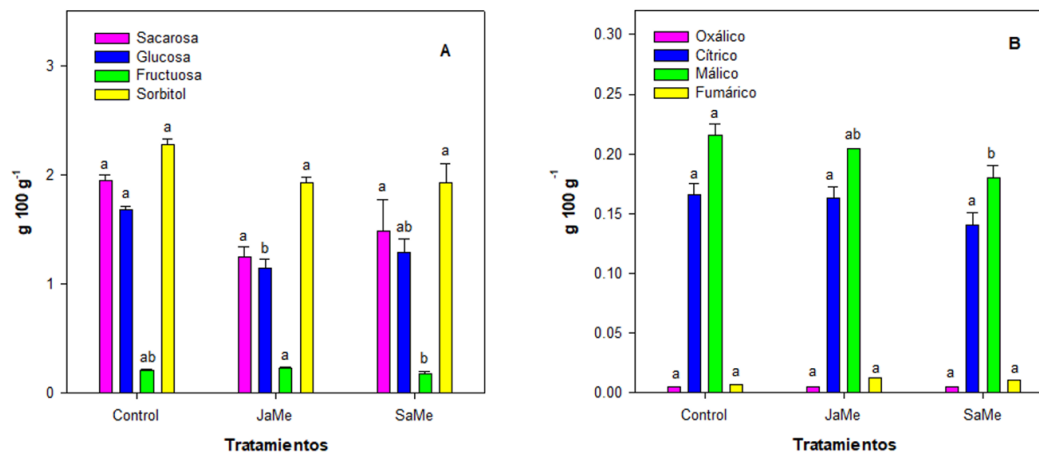


Figura 18. Efecto de los tratamientos poscosecha de JaMe y SaMe a 0,1 mM, sobre el contenido de azúcares y ácidos individuales en la pulpa de la pitahaya amarilla, día 12 a 10 °C de almacenamiento. Los datos son la media \pm ES (n = 3). Las barras con letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas a $p < 0,05$ entre tratamientos para cada día de almacenaje tras la prueba de Tukey.

En cuanto a la predominancia de los azúcares (Figura 18A), el sorbitol fue el azúcar predominante en la pulpa de pitahaya amarilla bajo condiciones control y en ambos tratamientos (JaMe y SaMe), alcanzando concentraciones superiores a $2.0 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. Este hallazgo contrasta con estudios previos en *Hylocereus undatus* y *H. polyrhizus*, donde glucosa y fructosa han sido reportadas como los principales azúcares solubles, y la sacarosa generalmente se presenta en proporciones menores (Wei et al., 2019; Arivalagan et al., 2021; Xu et al., 2021). La alta concentración de sorbitol sugiere una particularidad metabólica de *H. megalanthus* relacionada con la síntesis y almacenamiento de alcoholes de azúcar. El sorbitol es un azúcar alcohol comúnmente asociado con especies frutales del tipo *Rosaceae*, como el manzano y el peral, pero curiosamente se observó como azúcar representativo en pitahaya amarilla. Los polióles como el sorbitol poseen una alta capacidad para retener agua, estabilizar membranas lipídicas y reducir la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), funciones que son esenciales durante el almacenamiento refrigerado. En este sentido, la acumulación sostenida de sorbitol en la pulpa de pitahaya amarilla podría estar modulando respuestas adaptativas al almacenamiento en frío, ayudando a mantener la turgencia celular y reduciendo el daño oxidativo. De forma complementaria, la glucosa y la fructosa no solo participan como azúcares energéticos, sino que también pueden actuar como señales moleculares que modulan la expresión de genes relacionados con la tolerancia al estrés y la regulación

de enzimas antioxidantes. En frutos tropicales no climatéricos como la pitahaya, donde el metabolismo respiratorio es bajo, la estabilidad de estos azúcares durante el almacenamiento puede representar una estrategia bioquímica eficiente para conservar la calidad y prolongar la vida útil

Por otro lado, el perfil de ácidos orgánicos (Figura 18B) el ácido málico fue claramente el predominante en todos los tratamientos, con valores cercanos a $0.20 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, seguido por el ácido cítrico. Esta tendencia es coherente con reportes anteriores donde *H. megalanthus* exhibe una acidez total más baja que otras especies, pero mantiene al ácido málico como su componente principal (Constantino et al., 2021). Por otro lado, los niveles de ácidos oxálico y fumárico fueron bajos y sin diferencias estadísticas, lo que indica que su contribución al perfil sensorial y metabólico es limitada en esta especie.

En general, estos resultados refuerzan la idea de que la composición de azúcares y ácidos orgánicos en pitahaya amarilla difiere marcadamente de otras especies del género *Hylocereus*. Los tratamientos poscosecha realizados con JaMe y Same a $0,1 \text{ mM}$ no mostraron diferencias significativas en la evolución de los diferentes parámetros analizados relacionados con la evolución de la maduración y la senescencia de los frutos durante su conservación a las dos temperaturas ensayadas. Por el contrario, JaMe y SaMe aplicados en poscosecha mediante tratamientos de inmersión o mediante spray superficial, han mostrado ser efectivos en retrasar estos procesos, así como en reducir la susceptibilidad de los frutos a sufrir daños por frío en una amplia gama de frutos (Wang et al., 2021; Chen et al., 2023; Min et al., 2024; Wu et al., 2024).

Los mecanismos de acción de estos compuestos para mejorar la calidad de los frutos durante el almacenamiento incluyen la disminución de la producción de etileno y la tasa de respiración, el retraso en el ablandamiento y en los cambio de color, el mantenimiento de los azúcares, los ácidos orgánicos y el aroma, la mejora de la integridad de la membrana y el aporte energético, el aumento de la actividad antioxidante, la mejora de la vía de la arginina y la inducción de la ruta de biosíntesis de los fenoles, entre otros, así como su interacción con otras fitohormonas. Algunos de estos efectos también se han encontrado como resultado de los tratamientos precosecha que se presentan en las publicaciones 1 y 2 de esta Tesis Doctoral. Sin embargo, la falta de efectos observada en los tratamientos poscosecha, hace suponer que estos no han sido efectivos, posiblemente porque el tiempo de inmersión en las disoluciones empleadas no ha sido suficiente para conseguir una penetración efectiva

de los compuestos activos posiblemente debido a la rigidez y/o espesor de la piel de la pitahaya. No obstante, tampoco se puede descartar que no fueran apropiadas las concentraciones usadas.

6. Conclusiones



6. CONCLUSIONES

1. La aplicación de elicitores en etapa de precosecha mejoró significativamente el crecimiento, rendimiento y calidad del fruto de pitahaya, con efectos dependientes del tipo de compuesto y su concentración. El jasmonato de metilo (JaMe) a 10 mM fue el más efectivo para incrementar el rendimiento del cultivo, alcanzando el mayor peso total de fruto por planta. Por su parte, el salicilato de metilo (SaMe) fue el más eficiente para aumentar el tamaño del fruto, logrando el mayor diámetro polar con 10 mM y el mayor diámetro ecuatorial con 1 mM. Ambos tratamientos también favorecieron un aumento en el porcentaje de pulpa, mejorando así la calidad comercial del fruto.
2. Considerando el comportamiento integral de los parámetros de calidad en la recolección y almacenamiento, el tratamiento con JaMe a 1 mM se perfila como el elicitor más adecuado para su aplicación en precosecha. Este tratamiento mostró los mejores resultados durante el almacenamiento, al mejorar la firmeza, el contenido de AT y SST, y al retrasar el proceso de maduración. En conjunto, estos efectos permitieron prolongar la vida poscosecha del fruto, preservando sus índices de calidad.
3. Los tratamientos aplicados en precosecha promovieron la acumulación de compuestos bioactivos y mejoraron la actividad antioxidante total (AAT) respecto al control. Siendo los más efectivos el AS a 5 mM, que incrementó los carotenoides totales y la AAT-H, favoreciendo la retención de fenoles durante el almacenamiento y el SaMe a 0,1 mM que indujo una mayor AA-L y contenido de carotenoides, efecto posiblemente vinculado a la aceleración del metabolismo y degradación de clorofilas.
4. La concentración de minerales, carotenoides y compuestos fenólicos en la piel de pitahaya amarilla depende del elicitor aplicado en precosecha. El SaMe a 0,1 mM fue el elicitor más efectivo para incrementar el contenido de carotenoides totales y minerales, tanto macro como microelementos. Además, junto con JaMe y AO, favoreció una mayor concentración de fenoles totales. Estos resultados refuerzan el potencial de la piel de pitahaya como fuente de compuestos funcionales, con aplicaciones prometedoras en la industria alimentaria como ingrediente nutracéutico o en el desarrollo de productos de valor añadido.

5. En el experimento de tratamientos poscosecha, se pudo comprobar que los parámetros analizados evolucionaron más rápidamente a 10 que a 2 °C, lo que indica una ralentización del metabolismo del fruto al disminuir la temperatura, y en principio, un aumento de la vida útil del fruto.
6. Entre las dosis ensayadas en poscosecha, ninguno de los tratamientos aplicados mostró efecto en los parámetros de calidad ni en el contenido en compuestos bioactivos o actividad antioxidante, lo que indica que posiblemente o la concentración y/o el tiempo de tratamiento no fueron suficientes.

7. Referencias



7. REFERENCIAS

-A-

- Aaby, K., Ekeberg, D., & Skrede, G. (2007). Characterization of phenolic compounds in strawberry (*Fragaria× ananassa*) fruits by different HPLC detectors and contribution of individual compounds to total antioxidant capacity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(11), 4395-4406. <https://doi.org/10.1021/jf0702592>
- Abdelgawad, Z., Khalafaallah, A. and Abdallah, M. (2014) Impact of Methyl Jasmonate on Antioxidant Activity and Some Biochemical Aspects of Maize Plant Grown under Water Stress Condition. *Agricultural Sciences*, 5, 1077-1088. doi: 10.4236/as.2014.512117.
- Abirami, K., Swain, S., Baskaran, V., Venkatesan, K., Sakthivel, K., & Bommayasamy, N. (2021). Distinguishing three *Dragon fruit (Hylocereus spp.)* species grown in Andaman and Nicobar Islands of India using morphological, biochemical, and molecular traits. *Scientific Reports*, 11(1), 2894. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81682-x>
- Ádám, A. L., Nagy, Z. Á., Kátay, G., Mergenthaler, E., & Viczián, O. (2018). Signals of systemic immunity in plants: progress and open questions. *International journal of molecular sciences*, 19(4), 1146. <https://doi.org/10.3390/ijms19041146>
- Aftab, T., Khan, M. M. A., Idrees, M., Naeem, M., Singh, M., & Ram, M. (2011). Methyl jasmonate counteracts boron toxicity by preventing oxidative stress and regulating antioxidant enzyme activities and artemisinin biosynthesis in *Artemisia annua* L. *Protoplasma*, 248(3), 601-612. <https://doi.org/10.1007/s00709-010-0218-5>
- Aghdam, M.S., Motallebiazar, A., Mostofi, Y., Moghaddam, J.F. and Ghasemnezhad, M. (2010). Effects of mesa vapor treatment on the postharvest quality of 'hayward' kiwifruit. *Acta Hortic.* 877, 743-748 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.877.98>
- Adhikary, T., Gill, P. P. S., Jawandha, S. K., & Singh, H. (2024). Exogenous application of

- oxalic acid improves the storage quality of Asian pears (Patharnakh) by regulating physiological and biochemical changes. *Acta Physiologiae Plantarum*, 46, 1. <https://doi.org/10.1007/s11738-023-03624-6>
- Ahmad, F., Singh, A., & Kamal, A. (2019). Salicylic acid-mediated defense mechanisms to abiotic stress tolerance. In *Plant signaling molecules* (pp. 355-369). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816451-8.00022-8>
- Ahmad, P., Rasool, S., Gul, A., Sheikh, S. A., Akram, N. A., Ashraf, M., ... & Guzel, S. (2016). Jasmonates: multifunctional roles in stress tolerance. *Frontiers in plant science*, 7, 813. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00813>
- Ahmadi, F. I., Karimi, K., & Struik, P. C. (2018). Effect of exogenous application of methyl jasmonate on physiological and biochemical characteristics of *Brassica napus* L. cv. Talaye under salinity stress. *South African Journal of Botany*, 115, 5–11. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.11.018>
- Akash, P., Kakoti, M., Dutta, P., Hazarika, B., Robertson, A., Talukdar, N., & Ray, S. (2024). Role of salicylic acid in mitigating stress and improving productivity of crops: A review. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 27(7), 1351–1361. <https://doi.org/10.9734/jabb/2024/v27i71097>
- Alam, M., Biswas, M., Ahmed, J., Hosain, M. A., Alam, A., Khan, M. H. H., & Molla, M. M. (2023). Physico-chemical properties, antioxidant activity and bioactive compounds in edible and non-edible portions of dragon fruit cultivars native to Bangladesh. *Food Res*, 7(4), 194-203. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.7\(4\).243](https://doi.org/10.26656/fr.2017.7(4).243)
- Ali, I., Wang, X., Tareen, M. J., Wattoo, F. M., Qayyum, A., Hassan, M. U., ... & Ahmed, W. (2021). Foliar application of salicylic acid at different phenological stages of peach fruit cv.'Flordaking' improves harvest quality and reduces chilling injury during low temperature storage. *Plants*, 10(10), 1981. <https://doi.org/10.3390/plants10101981>
- Ali, M. B., Yu, K. W., Hahn, E. J., & Paek, K. Y. (2006). Methyl jasmonate and salicylic acid elicitation induces ginsenosides accumulation, enzymatic and non-enzymatic antioxidant in suspension culture *Panax ginseng* roots in bioreactors. *Plant Cell Reports*, 25(6), 613–620. <https://doi.org/10.1007/s00299-005-0065-6>

- Al-Mekhlafi, N. A., Mediani, A., Ismail, N. H., Abas, F., Dymerski, T., Lubinska-Szczygeł, M., ... & Gorinstein, S. (2021). Metabolomic and antioxidant properties of different varieties and origins of Dragon fruit. *Microchemical Journal*, *160*, 105687. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105687>
- Amiri, S., Nicknam, Z., Radi, M., & Ghasemnezhad, M. (2021). Calidad poscosecha de la naranja según la influencia del ácido salicílico, el ácido acético y el recubrimiento de carboximetilcelulosa. *Food Measure*, *15*, 3912–3930. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00966-y>
- Arivalagan, M., Karunakaran, G., Roy, T. K., Dinsha, M., Sindhu, B. C., Shilpashree, V. M., Satisha, G. C. G., & Shivashankara, K. S. (2021). Biochemical and nutritional characterization of dragon fruit (*Hylocereus* species). *Food Chemistry*, *353*, 129426. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129426>
- Arroyo-Esquivel, L., Rincón, E., Jiménez, V. M., Vásquez, F., Esquivel, P., Espinosa, E., & Rodríguez, A. (2025). Valorization of Red Pitahaya (*Hylocereus* sp.) Peel Through a Multi-Product Cascade Biorefinery Approach Towards Bioactive Food Packaging Films. *Food Biophysics*, *20*(1), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11483-024-09907-w>
- Asghari, M., Merrikhi, M., & Kavooosi, B. (2020). Methyl jasmonate foliar spray substantially enhances the productivity, quality and phytochemical contents of pomegranate fruit. *Journal of Plant Growth Regulation*, *39*, 1153-1161. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-10050-x>
- Asrey, R., Vinod, B.R., Menaka, M., Ahamed, S., Kumar, A. (2024). Recent Trends in Postharvest Treatments for Fruits and Vegetables. In: Thakur, M., Belwal, T. (eds) *Advances in Postharvest and Analytical Technology of Horticulture Crops*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7247-6_3
- Attar, Ş. H., Gündeşli, M. A., Urün, I., Kafkas, S., Kafkas, N. E., Ercisli, S., ... & Adamkova, A. (2022). Nutritional analysis of red-purple and white-fleshed pitaya (*Hylocereus*) species. *Molecules*, *27*(3), 808. <https://doi.org/10.3390/molecules27030808>

-B-

Baek, Min Woo, Han Ryul Choi, Hee Cheol Lee, Jong Hwan Lee, Ok-Hwan Lee, Jin Sung Hong, Cheon Soon Jeong, and Shimeles Tilahun. (2023) "Preharvest methyl jasmonate and salicylic acid treatments improve the nutritional qualities and postharvest storability of tomato." *Scientia Horticulturae* 321: 112332. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112332>

Baek, M. W., Choi, H. R., Yun Jae, L., Kang, H. M., Lee, O. H., Jeong, C. S., & Tilahun, S. (2021). Preharvest treatment of methyl jasmonate and salicylic acid increase the yield, antioxidant activity and GABA content of tomato. *Agronomy*, 11(11), 2293. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112293>

Barquero, M. E. G., & Madrigal, O. Q. (2010). Análisis del comportamiento de mercado de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en Costa Rica. *Tecnología en marcha*, 23(2), 14-24.

Bernalte-García, M. J., Bañuls, P., & Fernández-León, A. (2020). Ácido oxálico: el elicitor que mejora la calidad y la vida útil de cerezas tempranas. *Interempresas Horticultura*. <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/312795-Acido-oxalico-el-elicitor-que-mejora-la-calidad-y-la-vida-util-de-cerezas-tempranas.html>

Blandón, S. (2012). Fisiología de poscosecha. *Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal*, 20.

Brito, B., & Vásquez, W. (2013). Control de Calidad en la Pre y Pos Cosecha de las Frutas. *INIAP: Quito, Ecuador*, 24-27.

Bron, I. U., Massucato, R. P., Resende, E. C. O., Carvalho, R. F., Silva, B. M. P. da ., Cia, P., Azevedo, R. A., & Jacomino, A. P.. (2023). Methyl jasmonate does improve postharvest conservation of 'Golden' papaya fruit. *Ciência Rural*, 53(3), e20210652. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210652>

-C-

Caicedo-López, L. H., Aranda, A. L. V., Sáenz de la O, D., Gómez, C. E. Z., Márquez, E. E., & Zepeda, H. R. (2021). Elicitors: Bioethical implications for agriculture and

- human health. *Revista Bioética*, 29, 76-86. <https://doi.org/10.1590/1983-80422021291448>
- Cañar, D., Caetano, C., & Bonilla, M. (2014). Caracterización fisicoquímica y proximal del fruto de pitahaya amarilla [*Selenicereus megalanthus* (k. schum. ex vaupel) moran] cultivada en Colombia. *Revista Agronomía*, 22(1), 77-87.
- Cao, S., Hu, Z., Zheng, Y., & Lu, B. (2010). Synergistic effect of heat treatment and salicylic acid on alleviating internal browning in cold-stored peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 58(2), 93-97. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.05.010>
- Cao, S., Zheng, Y., Wang, K., Jin, P., & Rui, H. (2009). Methyl jasmonate reduces chilling injury and enhances antioxidant enzyme activity in postharvest loquat fruit. *Food Chemistry*, 115(4), 1458-1463. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2009.01.082>
- Carranco Jáuregui, María Elena, Calvo Carrillo, Ma. de la Concepción, & Pérez-Gil Romo, Fernando. (2011). Carotenoides y su función antioxidante: Revisión. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 61(3), 233-241. Recuperado en 06 de abril de 2025, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000406222011000300001&lng=es&tlng=es.
- Centurión Yah, A. R., Solís Pereira, S., Saucedo Veloz, C., Báez Sañudo, R., & Sauri Duch, E. (2008). Sensorial, physical and chemical changes of pitahaya fruits (*Hylocereus undatus*) during development. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/HomRevRed.jsp?iCveEntRev=610>
- Černý, M., Habanova, H., Berka, M., Luklova, M., & Brzobohatý, B. (2018). Hydrogen peroxide: its role in plant biology and crosstalk with signalling networks. *International journal of molecular sciences*, 19(9), 2812. <https://doi.org/10.3390/ijms19092812>
- Champa, W. H., Gill, M. I. S., Mahajan, B. V. C., & Arora, N. K. (2015). Preharvest salicylic acid treatments to improve quality and postharvest life of table grapes (*Vitis*

vinifera L.) cv. Flame Seedless. *Journal of food science and technology*, 52, 3607-3616. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1422-7>

Charoensiri, R.; Kongkachuichai, R.; Suknicom, S.; Sungpuag, P. Beta-carotene, lycopene, and alpha-tocopherol contents of selected Thai fruits. *Food Chem.* 2009, 113, 202-207.

Chen, C., Sun, C., Wang, Y., Gong, H., Zhang, A., Yang, Y., ... & Li, X. (2023). The preharvest and postharvest application of salicylic acid and its derivatives on storage of fruit and vegetables: A review. *Scientia Horticulturae*, 312, 111858. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111858>

Chen, M., Guo, H., Chen, S., Li, T., Li, M., Rashid, A., ... & Wang, K. (2019). Methyl jasmonate promotes phospholipid remodeling and jasmonic acid signaling to alleviate chilling injury in peach fruit. *Journal of agricultural and food chemistry*, 67(35), 9958-9966. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b03853>

Constantino, L. V., Zeffa, D. M., Ventrone, M. F., Gonçalves, L. S. A., Marcos, A. W., Sanzovo, A. W. D. S., ... & Takahashi, L. S. A. (2021). Qualidade nutricional e potencial tecnológico de espécies de pitaya. *Semin. Ciências Agrárias*, 42, 2023-2030.

Corrêa, R. C. G., Garcia, J. A. A., Correa, V. G., Vieira, T. F., Bracht, A., & Peralta, R. M. (2019). Pigments and vitamins from plants as functional ingredients: Current trends and perspectives. *Advances in food and nutrition research*, 90, 259-303. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.003>

-D-

da Silveira Agostini-Costa, T. (2020). Bioactive compounds and health benefits of Pereskioideae and Cactoideae: A review. *Food Chemistry*, 327, 126961. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126961>

Dag, A., & Mizrahi, Y. (2005). Effect of pollination method on fruit set and fruit characteristics in the vine cactus *Selenicereus megalanthus* ("yellow pitaya"). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80(5), 618-622. <https://doi.org/10.1080/14620316.2005.11511987>

- Darwish, OS, Ali, MR, Khojah, E., Samra, BN, Ramadan, KMA y El-Mogy, MM (2021). La aplicación precosecha de ácido salicílico, ácido abscísico y metil jasmonato conserva los compuestos bioactivos de las fresas durante el almacenamiento refrigerado. *Horticulturae*, 7 (12), 568. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7120568>
- de Faria¹, R. C., Morgado, C. M. A., Vespucci¹, I. L., & de Campos, A. J. (2022). UV-C radiation in postharvest quality of red dragon fruit. <https://doi.org/10.14295/CS.v13.3857>
- de Oliveira, M. M. T., Albano-Machado, F. G., Penha, D. M., Pinho, M. M., Natale, W., de Miranda, M. R. A., ... & de Medeiros Corrêa, M. C. (2021). Shade improves growth, photosynthetic performance, production and postharvest quality in red pitahaya (*Hylocereus costaricensis*). *Scientia Horticulturae*, 286, 110217. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110217>
- Deaquiz, Y. A., Álvarez-Herrera, J., & Fischer, G. (2014). Ethylene and 1-MCP affect the postharvest behavior of yellow pitahaya fruits (*Selenicereus megalanthus* Haw.). *Agronomía Colombiana*, 32(1), 44-51. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v32n1.41950>
- Dempsey, D. A., & Klessig, D. F. (2017). How does the multifaceted plant hormone salicylic acid combat disease in plants and are similar mechanisms utilized in humans? *BMC Biology*, 15(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s12915-017-0364-8>
- Dhami, K. S., Asrey, R., Awasthi, O. P., & Bhowmik, A. (2022). Pre and postharvest treatments of methyl jasmonate: Maintain quality and shelf-life of Kinnow mandarin fruit during cold storage. *South African Journal of Botany*, 151, 808-815. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.11.006>
- Diaz, Yessica L, Torres, Laura S, Serna, Johanna A, & Sotelo, Luz I. (2017). Efecto de la Encapsulación en Secado por Atomización de Biocomponentes de Pitahaya Amarilla con Interés Funcional. *Información tecnológica*, 28(6), 23-34. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000600004>

Díaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Serrano, M., & Valero, D. (2009). Changes in hydrophilic and lipophilic antioxidant activity and related bioactive compounds during postharvest storage of yellow and purple plum cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 51(3), 354-363. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.09.007>

Diéguez-Santana, K., Velin, A. A. Z., Quijano, K. L. V., & Pereira, L. B. S. (2020). Evaluación del impacto ambiental del cultivo de la pitahaya, Cantón Palora, Ecuador. *TecnoLógicas*, 23(49), 113-128. <https://doi.org/10.22430/22565337.1621>

Ding, C. K., Wang, C. Y., Gross, K. C., & Smith, D. L. (2001). Reduction of chilling injury and transcript accumulation of heat shock proteins in tomato fruit by methyl jasmonate and methyl salicylate. *Plant Science*, 161(6), 1153-1159. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00521-0](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00521-0)

Dobón-Suárez, A., Giménez, M. J., García-Pastor, M. E., & Zapata, P. J. (2021). Salicylic Acid Foliar Application Increases Crop Yield and Quality Parameters of Green Pepper Fruit during Postharvest Storage. *Agronomy*, 11(11), 2263. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112263>

-E-

Eggl, U., & Newton, L. E. (2004). Etymological Dictionary of Succulent Plant Names. Birkhäuser. <https://doi.org/10.1007/978-3-0348-0050-6>

Erazo-Lara, A., García-Pastor, M. E., Padilla-González, P. A., Valero, D., & Serrano, M. (2024). Preharvest elicitors as a tool to enhance bioactive compounds and quality of both peel and pulp of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) at harvest and during postharvest storage. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(10), 5435. <https://doi.org/10.3390/ijms25105435>

Erazo-Lara, A. E., García-Pastor, M. E., Padilla-González, P. A., Serrano, M., & Valero, D. (2024). Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) Growth and Ripening as Affected by Preharvest Elicitors (Salicylic Acid, Methyl Salicylate, Methyl Jasmonate, and Oxalic Acid): Enhancement of Yield, and Quality at Harvest. *Horticulturae*, 10(5), 493. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10050493>

Esquivel, P., & Araya, Y. (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(1), 113-129.

-F-

Faizy, A. H., Ozturk, B., Aglar, E., & Yıldız, K. (2021). Role of methyl jasmonate application regime on fruit quality and bioactive compounds of sweet cherry at harvest and during cold storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(10), e15882. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15882>

FAO. 2025. Frutas Tropicales Emergentes: Panorama del Comercio Mundial 2024. Roma. Disponible en línea: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd3112es> (acceso 27 marzo de 2025)

Farooq, M. S., Uzair, M., Raza, A., Habib, M., Xu, Y., Yousuf, M., ... & Ramzan Khan, M. (2022). Uncovering the research gaps to alleviate the negative impacts of climate change on food security: a review. *Frontiers in plant science*, 13, 927535. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.927535>

Fekry, W. M., Rashad, Y. M., Alaraidh, I. A., & Mehany, T. (2021). Exogenous application of melatonin and methyl jasmonate as a pre-harvest treatment enhances growth of barhi date palm trees, prolongs storability, and maintains quality of their fruits under storage conditions. *Plants*, 11(1), 96. <https://doi.org/10.3390/plants11010096>

Ferreira, V. C., Ampese, L. C., Sganzerla, W. G., Colpini, L. M. S., & Forster-Carneiro, T. (2023). An updated review of recent applications and future perspectives on the sustainable valorization of pitaya (*Hylocereus* spp.) by-products. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 33, 101070. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101070>

Ferreres, F., Grosso, C., Gil-Izquierdo, A., Valentão, P., Mota, A. T., & Andrade, P. B. (2017). Optimization of the recovery of high-value compounds from pitaya fruit by-products using microwave-assisted extraction. *Food Chemistry*, 230, 463-474. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.061>

Freitas, S. T. D., & Mitcham, E. J. (2013). Quality of pitaya fruit (*Hylocereus undatus*) as influenced by storage temperature and packaging. *Scientia Agricola*, *70*, 257-262. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400006>

Fung, R. W., Wang, C. Y., Smith, D. L., Gross, K. C., Tao, Y., & Tian, M. (2006). Characterization of alternative oxidase (AOX) gene expression in response to methyl salicylate and methyl jasmonate pre-treatment and low temperature in tomatoes. *Journal of plant physiology*, *163*(10), 1049-1060. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.11.003>

-G-

García-Pastor, M. E., Giménez, M. J., Valverde, J. M., Guillén, F., Castillo, S., Martínez-Romero, D., ... & Zapata, P. J. (2020a). Preharvest application of oxalic acid improved pomegranate fruit yield, quality, and bioactive compounds at harvest in a concentration-dependent manner. *Agronomy*, *10*(10), 1522. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101522>

García-Pastor, M. E., Serrano, M., Guillén, F., Giménez, M. J., Martínez-Romero, D., Valero, D., & Zapata, P. J. (2020b). Preharvest application of methyl jasmonate increases crop yield, fruit quality and bioactive compounds in pomegranate 'Mollar de Elche' at harvest and during postharvest storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *100*(1), 145-153. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10007>

García-Pastor, M. E., Zapata, P. J., Castillo, S., Martínez-Romero, D., Valero, D., Serrano, M., & Guillén, F. (2020c). Preharvest salicylate treatments enhance antioxidant compounds, color and crop yield in low pigmented-table grape cultivars and preserve quality traits during storage. *Antioxidants*, *9*(9), 832. <https://doi.org/10.3390/antiox9090832>

García-Pastor, M. E., Serrano, M., Guillén, F., Castillo, S., Martínez-Romero, D., Valero, D., & Zapata, P. J. (2019). Methyl jasmonate effects on table grape ripening, vine yield, berry quality and bioactive compounds depend on applied concentration. *Scientia horticulturae*, *247*, 380-389. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.043>

- González-Aguilar, G. A., Gayosso, L., Cruz, R., Fortiz, J., Báez, R., & Wang, C. Y. (2000). Polyamines induced by hot water treatments reduce chilling injury and decay in pepper fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 18(1), 19-26. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(99\)00054-X](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(99)00054-X)
- Giménez, M. J., Valverde, J. M., Valero, D., Zapata, P. J., Castillo, S., & Serrano, M. (2016). Postharvest methyl salicylate treatments delay ripening and maintain quality attributes and antioxidant compounds of 'Early Lory'sweet cherry. *Postharvest Biology and Technology*, 117, 102-109. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.02.006>
- Giménez, M. J., Valverde, J. M., Valero, D., Diaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Serrano, M., ... & Castillo, S. (2015). Methyl salicylate treatments of sweet cherry trees improve fruit quality at harvest and during storage. *Scientia Horticulturae*, 197, 665-673. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.033>
- Giménez, M. J., Valverde, J. M., Valero, D., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Serrano, M., & Castillo, S. (2014). Quality and antioxidant properties on sweet cherries as affected by preharvest salicylic and acetylsalicylic acids treatments. *Food chemistry*, 160, 226-232. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.107>
- Goenaga, R., Marrero, A., & Pérez, D. (2020). Yield and fruit quality traits of dragon fruit cultivars grown in Puerto Rico. *HortTechnology*, 30(6), 803-808. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04699-20>
- Gong, D., Bi, Y., Li, Y., Wang, Y., Prusky, D., & Alkan, N. (2022). Preharvest elicitors spray improves antioxidant activity, alleviates chilling injury, and maintains quality in harvested fruit. *Horticulturae*, 8(12), 1208. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121208>
- Guadarrama, Ángel, & Peña, Yexsi. (2013). Actividad respiratoria vs. variaciones físicas Y químicas en la maduración de frutos de Naranja china (Citrus x microcarpa Bunge). *Bioagro*, 25(1), 57-63. Recuperado en 06 de abril de 2025, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S131633612013000100007&lng=es&tlng=e
- Guerrero, C. (2014). Manual técnico del cultivo de pitahaya amarilla. Corporación

Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Recuperado de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/11356>

Guimarães, R. L., & Stotz, H. U. (2004). Oxalate production by *Sclerotinia sclerotiorum* deregulates guard cells during infection. *Plant Physiology*, 136(4), 3703-3711. <https://doi.org/10.1104/pp.104.044313>

-H-

Habibi, F., Guillén, F., Serrano, M., & Valero, D. (2021). Physicochemical changes, peel colour, and juice attributes of blood orange cultivars stored at different temperatures. *Horticulturae*, 7(9), 320. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090320>

Habibi, F., Ramezani, A., Guillén, F., Serrano, M., & Valero, D. (2020). Blood oranges maintain bioactive compounds and nutritional quality by postharvest treatments with γ -aminobutyric acid, methyl jasmonate or methyl salicylate during cold storage. *Food Chemistry*, 306, 125634. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125634>

Habibi, F., Guillén, F., Serrano, M., & Valero, D. (2019). Postharvest treatments with γ -aminobutyric acid, methyl jasmonate, or methyl salicylate enhance chilling tolerance of blood orange fruit at prolonged cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(14), 6408–6417. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9920>

Hamberg, M., & Gardner, H. W. (1992). Oxylipin pathway to jasmonates: biochemistry and biological significance. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Lipids and Lipid Metabolism*, 1165(1), 1–18. [https://doi.org/10.1016/0005-2760\(92\)90069-8](https://doi.org/10.1016/0005-2760(92)90069-8)

Hamzah, N., Ramli, N. S., Mat Deris, I. H., Moses, C., & Azman, E. M. (2024). Effect of Preharvest Treatment Using Jasmonic Acid and Methyl Jasmonate on the Physicochemical Properties and Antioxidant Activities of Red-fleshed Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus* L.). *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 47(2). <https://doi.org/10.47836/pjtas.47.2.08>

Hasan, M. U., Singh, Z., Shah, H. M. S., Kaur, J., Woodward, A., Afrifa-Yamoah, E., & Malik, A. U. (2023). Oxalic acid: A blooming organic acid for postharvest quality

- preservation of fresh fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 206, 112574. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112574>
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Roychowdhury, R., & Fujita, M. (2013). Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International journal of molecular sciences*, 14(5), 9643-9684. <https://doi.org/10.3390/ijms14059643>
- Hazarika, T. K., & Marak, T. (2022). Salicylic acid and oxalic acid in enhancing the quality and extending the shelf life of grape cv. Thompson seedless. *Food Science and Technology International*, 28(6), 463-475. <https://doi.org/10.1177/10820132211020612>
- Hossain, F. M., Numan, S. M. N., & Akhtar, S. (2021). Cultivation, nutritional value, and health benefits of Dragon Fruit (*Hylocereus* spp.): A Review. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 8(3), 259-269. [10.22059/ijhst.2021.311550.400](https://doi.org/10.22059/ijhst.2021.311550.400)
- Hua, Q., Chen, C., Zur, N. T., Wang, H., Wu, J., Chen, J., ... & Qin, Y. (2018). Metabolomic characterization of pitaya fruit from three red-skinned cultivars with different pulp colors. *Plant Physiology and Biochemistry*, 126, 117-125. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.02.027>
- Huachi, L., Yugsu, E., Paredes, M. F., Coronel, D., Verdugo, K., & Santamaría, P. C. (2015). Desarrollo de la pitahaya (*Cereus* sp.) en Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 22(2), 50-58. <https://doi.org/10.17163/lgr.n22.2015.05>.
- Huang, Y., Brennan, M. A., Kasapis, S., Richardson, S. J., & Brennan, C. S. (2021). Maturation process, nutritional profile, bioactivities and utilisation in food products of red pitaya fruits: A Review. *Foods*, 10(11), 2862. <https://doi.org/10.3390/foods10112862>
- Hubbard, N. L., Pharr, D. M., & Huber, S. C. (1991). Sucrose phosphate synthase and other sucrose metabolizing enzymes in fruits of various species. *Physiologia Plantarum*, 82(2), 191-196. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1991.tb00080.x>

Hussein, A. S., Ibrahim, R. A., & Eissa, M. A. (2023). Exogenous pre-harvest application of abscisic and jasmonic acids improves fruit quality by enhancing sugar synthesis and reducing acidity in pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Wonderful). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(2), 2237-2246. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01175-w>

-J-

Jalgaonkar, K., Mahawar, M. K., Bibwe, B., & Kannaujia, P. (2022). Postharvest profile, processing and waste utilization of dragon fruit (*Hylocereus* spp.): A review. *Food Reviews International*, 38(4), 733-759. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1742152>

Jamilah, B., Shu, C. E., Kharidah, M., Dzulkily, M. A., & Noranizan, A. (2011). Physico-chemical characteristics of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel. *International Food Research Journal*, 18(1). <http://psasir.upm.edu.my/id/eprint/16208>

Jang, G., Shim, J. S., Jung, C., Song, J. T., Lee, H. Y., Chung, P. J., ... & Choi, Y. D. (2014). Volatile methyl jasmonate is a transmissible form of jasmonate and its biosynthesis is involved in systemic jasmonate response in wounding. *Plant biotechnology reports*, 8, 409-419. <https://doi.org/10.1007/s11816-014-0331-6>

Jiang, H., Zhang, W., Li, X., Shu, C., Jiang, W., & Cao, J. (2021). Nutrition, phytochemical profile, bioactivities and applications in food industry of pitaya (*Hylocereus* spp.) peels: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 199-217. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.040>

Jiménez, L.; González, M.; Cruz, S.; Santana, R.; Villacís, L (2017). Análisis poscosecha de frutos de pitahaya amarilla (*Cereus triangularis* Haw.), a distintos niveles de madurez y temperatura. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 5(2), 107-116.

Jiménez, V. M., Guevara, E., Herrera, J., & Bangerth, F. (2017). Caracterización fisicoquímica y proximal del fruto de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) cultivada en Colombia. *Revista de Ciencias Hortícolas*, 23(3), 189-203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.003>

Jin, P., Zhu, H., Wang, J., Chen, J., Wang, X. and Zheng, Y. (2013), Effect of methyl jasmonate on energy metabolism in peach fruit during chilling stress. *J. Sci.*

Food Agric, 93: 1827-1832. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5973>

-K-

Kader, A. A. (2002). Quality parameters of fresh-cut fruit and vegetable products. *Fresh-cut fruits and vegetables*, 11-20.

Kavino, M., & Arunkumar, G. (2024). Phenological stages of pink pulp dragon fruit (*Hylocereus costaricensis* Web.): Codification and description according to the extended BBCH scale under field conditions. *Applied Fruit Science*, 66(5), 2019-2034. <https://doi.org/10.1007/s10341-024-01170-0>

Kaya, C., Ugurlar, F., Ashraf, M., & Ahmad, P. (2023). Salicylic acid interacts with other plant growth regulators and signal molecules in response to stressful environments in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 196, 431-443. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.02.006>

Kenanoğlu, B. B., Mertoğlu, K., Sülüoğlu Durul, M., Korkmaz, N., & Çolak, A. M. (2023). Maternal Environment and Priming Agents Effect Germination and Seedling Quality in Pitaya under Salt Stress. *Horticulturae*, 9(11), 1170. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9111170>

Kibar, H., Kibar, B., & Turfan, N. (2024). Exogenous citric acid, salicylic acid, and putrescine treatments preserve the postharvest quality and physicochemical properties of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) during cold storage. *Food Science & Nutrition*, 12, 1686–1705. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3862>

Kolupaev, Y. E., Yastreb, T. O., & Dmitriev, A. P. (2023). Signal mediators in the implementation of jasmonic acid's protective effect on plants under abiotic stresses. *Plants*, 12(14), 2631. <https://doi.org/10.3390/plants12142631>

Kondo, T., Martínez, M., Medina, J. A., Rebolledo Roa, A., & Cardozo Burgo, C. (2013). *Tecnología para el manejo de pitaya amarilla *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran en Colombia*. Corporación colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA.

Koo, Y. M., Heo, A. Y., & Choi, H. W. (2020). Salicylic Acid as a Safe Plant Protector and Growth Regulator. *The plant pathology journal*, 36(1), 1–10. <https://doi.org/10.5423/PPJ>.

Kumar, S. B., Issac, R., & Prabha, M. L. (2018). Functional and health-promoting bioactivities of dragon fruit. *Drug Invention Today*, 10.

-L-

Lastochkina, O., Aliniaiefard, S., SeifiKalhor, M., Bosacchi, M., Maslennikova, D., & Lubyanova, A. (2022). Novel approaches for sustainable horticultural crop production: advances and prospects. *Horticulturae*, 8(10), 910. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8100910>

Lata, D, Narayana, C. K., Karunakaran, G., Rao, D. S., & Anuradha, S. (2022). Maturity determination of red and white pulp dragon fruit. *Journal of Horticultural Sciences*, 17(1), 157-165. <https://doi.org/10.24154/jhs.v17i1.1309>

Le Bellec, F., Vaillant, F., & Imbert, E. (2006). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. *Fruits*, 61(4), 237–250. doi:10.1051/fruits:2006021

Le, N. L. (2022). Functional compounds in dragon fruit peels and their potential health benefits: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(5), 2571-2580. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15111>

Li, B., Li, M., Liu, J., Sun, W., Min, D., Li, F., & Li, X. (2023). Methyl salicylate pretreatment maintains quality and antioxidant capacity of fresh-cut pitaya fruit by modulating phenylpropanoid metabolism and antioxidant system. *Scientia Horticulturae*, 309, 111705. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111705>

Li, C., Xu, M., Cai, X., Han, Z., Si, J., & Chen, D. (2022). Jasmonate signaling pathway modulates plant defense, growth, and their trade-offs. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(7), 3945. <https://doi.org/10.3390/ijms23073945>

Li, J., Deng, J., Shen, Y., Zhang, R., & Sun, Q. (2024). Integrated metabolomic and transcriptomic analyses to elucidate mechanisms underlying the fruit quality

- losses of pitaya during storage. *Scientia Horticulturae*, 329, 112974. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.112974>
- Li, K. T. (2012). Physiology and classification of fruits. *Handbook of fruits and fruit processing*, 1-12. <https://doi.org/10.1002/9781118352533.ch1>
- Li, N., Han, X., Feng, D., Yuan, D., & Huang, L. J. (2019). Signaling crosstalk between salicylic acid and ethylene/jasmonate in plant defense: do we understand what they are whispering?. *International journal of molecular sciences*, 20(3), 671. <https://doi.org/10.3390/ijms20030671>
- Lim, C. M., Lal, S. K., Isa, N. M., Omar, A. R., & Choo, W. S. (2024). Betacyanins from red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) exhibit antiviral response against influenza A virus. *Heliyon*, 10(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33049>
- Liu, H., & Timko, M. P. (2021). Jasmonic acid signaling and molecular crosstalk with other phytohormones. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(6), 2914. <https://doi.org/10.3390/ijms22062914>
- Liu, Y., Chen, H., Chen, S., Zhang, Y., Zhang, J., Zhu, X., ... & Li, D. (2023). Pectin-rich dragon fruit peel extracts: An environmentally friendly emulsifier of natural origin. *Food Chemistry*, 429, 136955. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136955>
- Loescher, W.H. (1987). Physiology and metabolism of sugar alcohols in higher plants. *Physiologia Plantarum* 70, 553-557.
- Lozano, C. M., Micharet, B. V., Corrales, M. L., Rodríguez, A., Vasco, M. P., & Sánchez, M. J. S. (2024). Efecto de la aplicación precosecha de melatonina sobre higo fresco producido en condiciones de superintensivo. In *Desafíos de maduración y postcosecha de frutos y hortalizas: Actas del XIV Congreso Nacional y XII Ibérico de maduración y postcosecha* (pp. 50-56). Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición (ICTAN-CSIC).
- Lu, Y., Li, J., Cheng, K., Zhu, G., Zhu, B., Fu, D., Qu, G., Luo, Y., Ma, L., Lin, T., Zhang, B., & Zhu, H. (2025). SIMES1 modulates methyl salicylate to influence fruit volatile profiles in tomato. *Plant Physiology and Biochemistry*, 221, 109561. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.109561>

Lv, J., Zhang, M., Zhang, J., Ge, Y., Li, C., Meng, K., & Li, J. (2018). Effects of methyl jasmonate on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and signaling pathway during postharvest ripening of apple fruit. *Scientia Horticulturae*, 229, 157-166. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.007>

-M-

Machado, R. A., & Baldwin, I. T. (2010). Jasmonate-induced responses in plant-insect interactions. *Journal of Chemical Ecology*, 36(7), 668-679. <https://doi.org/10.1007/s10886-010-9793-1>

Benítez, W. M., Duch, E. S., García, J. C., & Veloz, C. S. (2013). Variaciones bioquímicas-fisiológicas y físicas de las frutas de pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenadas en ambiente natural. *Revista iberoamericana de tecnología postcosecha*, 14(1), 21-30.

Magaña Benítez, W.; Sauri Duch, E.; Corrales García, J.; Saucedo Veloz, C. (2013). Variaciones bioquímicas-fisiológicas y físicas de las frutas de pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenadas en ambiente natural. *Rev. Iberoam. Tecnol. Postcosecha* 14, 139–148. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81327871005>

Magraner Mifsud, S., Reig Valor, C., & Agustí Fonfría, M. (2021). Estudio del comportamiento agronómico del cultivo de la pitaya (*Hylocereus hybridum*, *Hylocereus undatus*) en condiciones de clima mediterráneo. Available online: <http://hdl.handle.net/10251/158201> (accessed on 1 October 2024).

Martínez-Esplá, A., Zapata, P. J., Valero, D., Martínez-Romero, D., Díaz-Mula, H. M., & Serrano, M. (2018). Preharvest treatments with salicylates enhance nutrient and antioxidant compounds in plum at harvest and after storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(7), 2742-2750. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8770>

Martínez-Esplá, A., Serrano, M., Valero, D., Martínez-Romero, D., Castillo, S., & Zapata, P. J. (2017). Enhancement of antioxidant systems and storability of two plum cultivars by preharvest treatments with salicylates. *International journal of molecular sciences*, 18(9), 1911. <https://doi.org/10.3390/ijms18091911>

- Martínez-Esplá, A., Zapata, P.J., Valero, D., García-Viguera, C., Castillo, S., & Serrano, M. (2014). Preharvest application of oxalic acid increased fruit size, bioactive compounds, and antioxidant capacity in sweet cherry cultivars (*Prunus avium* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(14), 3432–3437. <https://doi.org/10.3390/ijms18091911>
- Matharu, A. S., de Melo, E. M., & Houghton, J. A. (2016). Opportunity for high value-added chemicals from food supply chain wastes. *Bioresource technology*, 215, 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.039>
- Mercado-Silva, E. M. (2018). Pitaya—*Hylocereus undatus* (haw). *Exotic fruits*, 339-349. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00045-9>
- Mertoğlu, K., Eskimez, İ., Erbaş, D., Polat, M., et al. (2025). Efectos de los tratamientos precosecha con ácido salicílico y ácido oxálico en la calidad del fruto de mora (cv. Bursa 1). *Revista Internacional de Metabolitos Secundarios*, 12(2), 235-247. <https://doi.org/10.21448/ijism.1440637>
- Min, D., Li, F., Ali, M., Zhang, X. Liu, Y. (2024). Application of methyl jasmonate to control chilling tolerance of postharvest fruit and vegetables: a meta-analysis and eliciting metabolism review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(33), pp. 12878–12891. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2258201>
- Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca del Ecuador (MAG). Primer Censo de Pitahaya. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/en-palora-morona-santiago-se-realiza-el-primer-censo-de-pitahaya/> (acceso el 15 de marzo 2025).
- Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca del Ecuador (MIPRO). Exportaciones de la pitahaya. Disponible en: <https://www.produccion.gob.ec/pitahaya-rompe-record-en-exportaciones-con> (acceso el 9 de abril del 2025)
- Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. *Journal of cleaner production*, 65, 28-41. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.051>

Mitra Sisir. (2024). *Dragon fruit Botany, Production and Uses*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1079/9781800623156.0000>

Mizrahi, Y.; Nerd, A.; Nobel, P.S. (1997). Cacti as crop. Hort. Rev, 18, 291–323.

Mondal K, Sharma NS, Malhotra SP, Dhawan K, Singh R (2004) Sistemas antioxidantes en la maduración de frutos de tomate. Biol Plant 48:49–53. <https://doi.org/10.1023/B:BIOP.0000024274.43874.5b>

Montesinos-Cruz, J.A.; Rodríguez-Larramendi, L.; Ortiz-Pérez, R.; Fonseca-Flores, M.A.; Ruíz-Herrera, G.; Guevara-Hernández, F. (2015). Pitahaya (*Hylocereus spp.*): A fitogenetic resource with an history and future for the dry tropic of Mexico (review). Cultiv. Trop, 36, 67–76.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000500007&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Morillo, A. C., Manjarres, E. H., & Pedreros, M. C. (2023). Characterization of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) genotypes under two productive systems in Colombia. *Brazilian Journal of Biology*, 83. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.274152>

Morillo-Coronado, A.C.; Manjarres Hernández, E.H.; Forero-Mancipe, L. (2021). Phenotypic Diversity of Morphological Characteristics of Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.). Germplasm in Colombia. *Plants*, 10, 2255. <https://doi.org/10.3390/plants10112255>

Mukherjee, A.; Gaurav, A.K.; Singh, S.; Yadav, S.; Bhowmick, S.; Abeysinghe, S.; Verma, J.P. (2022). The bioactive potential of phytohormones: A review. *Biotech. Rep.*, 35, e00748. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2022.e00748>

-N-

Nerd, A.; Mizrahi, Y. (1998). Fruit development and ripening in yellow pitaya. *J. Am. Soc. Hort. Sci*, 123, 560-562.

Nerd, A., & Mizrahi, Y. (1999). The effect of ripening stage on fruit quality after storage of yellow pitaya. *Postharvest Biology and Technology*, 15(2), 99-105. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00080-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00080-5)

Nishikito, D.F.; Borges, A.C.A.; Laurindo, L.F.; Otoboni, A.M.M.B.; Direito, R.; de Alvares Goulart, R.; Nicolau, C.C.; Fiorini, A.M.R.; Sinatora, R.V.; Barbalho, S.M. (2023). Anti-inflammatory, antioxidant, and other health effects of dragon fruit and potential delivery systems for its bioactive compounds. *Pharmaceutics*, 15, 159. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15010159>

Nizamlioglu, N. M., Ünver, A., & Kadakal, Ç. (2021). Mineral Content of Pitaya (*Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*) Seeds Grown in Turkey. *Erwerbs-Obstbau*, 63(2). <https://doi.org/10.1007/s10341-021-00561-x>

NTC 3554. (1996). Frutas frescas. Pitahaya amarilla.. Icontec. Santa Fe de Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. *Cenicafé*.

Nunes, E. N., Sousa, A. D., Lucena, C. D., Silva, S. D. M., Lucena, R. D., Alves, C. A. B., & Alves, R. E. (2014). Pitaia (*Hylocereus* sp.): Uma revisão para o Brasil. *Gaia Scientia*, 8(1), 90-98. Nunes, E. N., Sousa, A. D., Lucena, C. D., Silva, S. D. M., Lucena, R. D., Alves, C. A. B., & Alves, R. E. (2014). Pitaia (*Hylocereus* sp.): Uma revisão para o Brasil. *Gaia Scientia*, 8(1), 90-98.

-O-

Obregón La Rosa, Antonio José, & Lozano Zanelly, Glenn Alberto. (2021). Compuestos nutricionales y bioactivos de tres frutas provenientes de la sierra y la selva de Perú como fuente potencial de nutrientes para la alimentación humana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(2), e1835. Epub May 01, 2021. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:1835

Ochoa-Velasco C, García-Vidal V, Luna-Guevara J. (2012). Características antioxidantes, fisicoquímicas y microbiológicas de jugo fermentado y sin fermentar de tres variedades de pitahaya (*Hylocereus* spp). *Sci Agropecuaria*, 3(3):279–289.

Ordoñez-Trejo, E.J.O.; Brizzolara, S.; Cardillo, V.; Ruperti, B.; Bonghi, C.; Tonutti, P. (2023). The impact of PGRs applied in the field on the postharvest behavior of fruit crops. *Sci. Hort.*, 318, 112103. [Google Scholar] [CrossRef] <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112103>

Ortiz-Hernández, Y. D., Livera-Muñoz, M., Carrillo-Salazar, J. A., Valencia-Botín, A. J., & Castillo-Martínez, R. (2012). Agronomical, physiological, and cultural contributions of pitahaya (*Hylocereus* spp.) in Mexico. *Israel Journal of Plant Sciences*, 60(3), 359-370. <https://doi.org/10.1560/IJPS.60.3.359>

Ortiz, S.A.; Takahashi, L.S.A. (2015). Physical and chemical characteristics of pitaya fruits at physiological maturity. *Genetics and Molecular Research*, 14(4), 14422-14439. <http://dx.doi.org/10.4238/2015.November.18.5>

Osuna-Enciso, T., Valdez-Torres, J. B., Sañudo-Barajas, J. A., Muy-Rangel, M. D., Hernandez-Verdugo, S., Villarreal-Romero, M., & Osuna-Rodriguez, J. M. (2016). Reproductive phenology, yield and fruit quality of pitahaya (*Hylocereus undatus* (How.) Britton and Rose) in Culiacan Valley, Sinaloa, Mexico. *Agrociencia*, 50(1), 61-78. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000100061&lng=es&tlng=en.

Otálora, M. C., Wilches-Torres, A., & Gómez Castaño, J. A. (2023). Mucilage from yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) fruit peel: extraction, proximal analysis, and molecular characterization. *Molecules*, 28(2), 786. <https://doi.org/10.3390/molecules28020786>

Öziyci, H. R., Ünlü, M., Altinkaya, L., Tekin, A., & Gübbük, H. (2024). Comparative analysis for quality traits of pitaya varieties in protected cultivation. *Applied Fruit Science*, 66(1), 173-181. <https://doi.org/10.1007/s10341-023-01000-9>

-P-

Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2(5), 270-278. <https://doi.org/10.4161/oxim.2.5.9498>

Park, S. W., Kaimoyo, E., Kumar, D., Mosher, S., & Klessig, D. F. (2007). Methyl salicylate

is a critical mobile signal for plant systemic acquired resistance. *Science*, 318(5847), 113-116. <https://doi.org/10.1126/science.1147113>

Pasko, P.; Galanty, A.; Zagrodzki, P.; Luksirikul, P.; Barasch, D.; Nemirovski, A.; Gorinstein, S. (2021). Dragon Fruits as a Reservoir of Natural Polyphenolics with Chemopreventive Properties. *Molecules* 26, 2158. <https://doi.org/10.3390/molecules26082158>

Pawde, S., Talib, M. I., & Parate, V. R. (2020). Development of fiber-rich biscuit by incorporating dragon fruit powder. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup3), S1620-S1628. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1822267>

-Q-

Quiroz-González, Beatriz, Rosario García-Mateos, J. Joel E. Corrales-García, and María Teresa Colinas-León. (2018). "Pitaya (*Stenocereus* spp.): an under-utilized fruit." *J. Prof. Assoc. Cactus Dev* 20, 82-100. doi: 10.56890/jpacd.v20i.30

Quispe Lupuche, E.; Chávez Pérez, J.A.; Medina-Pizzali, M.L.; Loayza Gutiérrez, L.; Apumayta Suárez, E. (2021). Chemical characterization, polyphenol content and antioxidant capacity of two pitahaya ecotypes (*Hylocereus* spp.). *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, 74, 9723-9734. DOI: 10.15446/rfnam.v74n3.92821.

-R-

Rabelo, J., Cruz, M. D. C. M. D., Sena, C. G., Pantoja, L., Santos, A. S. D., Reis, L. A. C., & Guimarães, A. G. (2020). Potassium fertilization in the quality improvement and centesimal composition of pitaya. *Emir. J. Food Agric*, 32(9), 658-665. doi: 10.9755/ejfa.2020.v32.i9.2146

Rabelo, J. M., Cruz, M. D. C. M., Alves, D. D. A., Lima, J. E., Reis, L. A. C., & Santos, N. C. (2020). Reproductive phenology of yellow pitaya in a high-altitude tropical region in Brazil. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 42, e43335. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v42i1.43335>

Raskin, I. (1992). Role of salicylic acid in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 43, 439–463. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.43.060192.002255>

Razali, N. A., Sargent, S. A., Sims, C. A., Brecht, J. K., Berry, A. D., & Cheng, G. (2021). Potential of postharvest coatings to maintain freshness of red-fleshed pitaya (*Hylocereus costaricensis*). *Agriculture*, 11(9), 892. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090892>

Razavi, F.; Hajilou, J. (2016). Enhancement of postharvest nutritional quality and antioxidant capacity of peach fruits by preharvest oxalic acid treatment. *Sci. Hortic.* 200, 95-101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.011>

Razzaq K, Khan AS, Malik AU, Shahid M, Ullah S (2015) Efecto de la aplicación de ácido oxálico en el mango Samar Bahisht Chaunsa durante la maduración y poscosecha. *LWT-Food Sci Technol* 63:152–160. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.069>

Rodríguez, R., Santos, M., & Carrillo, G. (2005). Evaluación físico-química de la fruta de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) en el estado de Veracruz, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(2), 147-152. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n1.386>

Ruiz-Aracil, M. C., Valverde, J. M., Lorente-Mento, J. M., Carrión-Antolí, A., Castillo, S., Martínez-Romero, D., & Guillén, F. (2023). Sweet cherry (*Prunus avium* L.) cracking during development on the tree and at harvest: the impact of methyl jasmonate on four different growing seasons. *Agriculture*, 13(6), 1244. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061244>

-S-

Salous, A. E. L., Ordoñez-Araque, R., Zuñiga-Moreno, L., Marco, H., & Melendez, J. R. (2020). Sensory and physicochemical characteristics of cookies made of yellow pitaya (*Selenicereus megalanthus*) peel flour características sensoriales y fisicoquímicas de galletas elaboradas a partir de harina de cáscara de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). *International Journal of Pharmaceutical Research*, 12(4), 4179–4185. <https://doi.org/10.31838/IJPR/2020.12.04.575>

- Saltveit, M. E. (1999). Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest biology and technology*, 15(3), 279-292. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00091-X](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00091-X)
- Samaradiwakara, S. D., Champa, W. A. H., & Eeswara, J. P. (2023). Preharvest foliar spray of plant growth regulators expand the harvest season and improve fruit quality of acid lime (*Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle). *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 6(2), 207-220. <https://doi.org/10.22077/jhpr.2023.5812.1299>
- Sánchez, Camilo, Fischer, Gerhard, & Sanjuanelo, Danny Wilson. (2013). Stomatal behavior in fruits and leaves of the purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) and fruits and cladodes of the yellow pitaya [*Hylocereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Ralf Bauer]. *Agronomía Colombiana*, 31(1), 38-47. Retrieved April 14, 2025, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652013000100005&lng=en&tlng=en.
- Sanín, A., Navia, D. P., & Serna-Jiménez, J. A. (2020). Functional foods from crops on the northern region of the South American Andes: The importance of blackberry, yacon, açai, yellow pitahaya and the application of its biocompounds. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup3), S1784-S1804. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1834894>
- Sanmiguel, J., Andrade, V., Vargas-Tierras, Y., Samaniego, I., Paredes-Arcos, F., Vásquez-Castillo, W., & Viera-Arroyo, W. (2025). Caracterización físico-química de frutos cosechados en diferentes estados de madurez de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.) injertada. *Plantas*, 14 (2), 178. <https://doi.org/10.3390/plants14020178>
- Santos, T. P., Sá, M. E., Malagutti, E. S., Pinto, M. S., Ferreira, A. F. A., Monteiro, L. N. H., ... & Rodrigues, M. G. F. (2022). Effects of gibberellic acid concentration and fruit maturation stage on seed germination and vigor of pitahaya seedlings. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e260650. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.260650>
- Saracoglu, O., Ozturk, B., Yildiz, K., & Kucuker, E. (2017). Pre-harvest methyl jasmonate treatments delayed ripening and improved quality of sweet cherry

- Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Serrano, M., & Valero, D. (2011). Vapour treatments with methyl salicylate or methyl jasmonate alleviated chilling injury and enhanced antioxidant potential during postharvest storage of pomegranates. *Food Chemistry*, 124(3), 964-970. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.036>
- Sen, R., & Baruah, A. M. (2024). Evaluating the dynamics of physical, proximate, mineral and antioxidant compositions during dragon fruit development. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s13562-024-00916-x>
- Servicio Nacional de Derechos Intelectuales (SENADI). (2018). *Pitahaya Amazónica de Palora: Denominación de Origen*. SENADI. https://www.origin-gi.com/wp-content/uploads/2022/02/ecuador_pitahaya-amazonica-de-palora.pdf
- Serna-Escolano, V., Giménez, M. J., Castillo, S., Valverde, J. M., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Serrano, M., Valero, D., & Zapata, P. J. (2021). Preharvest treatment with oxalic acid improves postharvest storage of lemon fruit by stimulation of the antioxidant system and phenolic content. *Antioxidants*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/antiox10060963>
- Serradilla, M. J., Palomino-Vasco, M., & López, J. (2024). Aplicación exógena de melatonina en ciruela 'Angeleno': reducción de daños por frío y mejora de la calidad global. POST2024, Congreso Internacional de Poscosecha, 85. https://post2024.com/wpcontent/uploads/2024/07/POST2024_LIBRO_TRABAJO_S_COMPLETOS.pdf#page=85
- Serrano, M., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., & Valero, D. (2005). Chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry at different ripening stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(7), 2741-2745. <https://doi.org/10.1021/jf0479160>
- Serrano, M., & Valero, D. (2022). Role of tree elicitor treatment on crop yield and pomegranate fruit quality parameters and bioactive compounds. In *V*

International Symposium on Pomegranate and Minor Mediterranean Fruits 1349 (pp. 133-138). [10.17660/ActaHortic.2022.1349.18](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1349.18)

Shah, K., Chen, J., Chen, J., & Qin, Y. (2023). Pitaya nutrition, biology, and biotechnology: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(18), 13986. <https://doi.org/10.3390/ijms241813986>

Sharma, M., Usmani, Z., Gupta, V. K., & Bhat, R. (2021). Valorization of fruits and vegetable wastes and by-products to produce natural pigments. *Critical Reviews in Biotechnology*, *41*(4), 535-563. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1873240>

Sheng, K., Wei, S., Mei, J., & Xie, J. (2021). Chilling injury, physicochemical properties, and antioxidant enzyme activities of red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) fruits under cold storage stress. *Phyton*, *90*(1), 291. DOI:10.32604/phyton.2020.012985

Shi, Yuan, Bangqian Song, Qin Liang, Deding Su, Wang Lu, Yudong Liu, and Zhengguo Li. (2023). "Molecular regulatory events of flower and fruit abscission in horticultural plants." *Horticultural Plant Journal* *9*, (5): 867-883. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2023.03.008>

Sidhu, J. S., Kabir, Y., & Huffman, F. G. (2007). Functional foods from cereal grains. *International Journal of Food Properties*, *10*(2), 231-244. <https://doi.org/10.1080/10942910601045289>

Sotomayor, A., Pitzaca, S., Sánchez, M., Burbano, A., Díaz, A., Nicolalde, J., ... & Vargas, Y. (2019). Physical chemical evaluation of pitahaya fruit *Selenicereus megalanthus* in different development stages. *Enfoque UTE*, *10*(1), 89-96. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n1.386>

Sun, Y., Fan, X., Sun, C., Li, X., Zeng, X., Gong, H., Liu, M., Du, Z., & Sun, S. (2024). *La fumigación con salicilato de metilo mejora la síntesis de lactonas y compuestos volátiles C6/9 del albaricoque durante el almacenamiento a baja temperatura.* <https://doi.org/10.2139/ssrn.4706005>

-T-

Tang, W., Li, W., Yang, Y., Lin, X., Wang, L., Li, C., & Yang, R. (2021). Phenolic compounds profile and antioxidant capacity of pitahaya fruit peel from two red-skinned species (*Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*). *Foods*, *10*(6), 1183. <https://doi.org/10.3390/foods10061183>

Torres-Grisales, Y., Melo Sabogal, D. V., Sofía Torres-Valenzuela, L., Andrea Serna-Jiménez, J., & SanínVillarreal, A. (2017). Evaluation of bioactive compounds with functional interest from yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, *70*(3), 8311-8318. <https://doi.org/10.15446/rfna.v70n3.66330>

Trejo, E. O., Brizzolara, S., Cardillo, V., Ruperti, B., Bonghi, C., & Tonutti, P. (2023). The impact of PGRs applied in the field on the postharvest behavior of fruit crops. *Scientia Horticulturae*, *318*, 112103. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112103>

Tripathi, M.; Diwan, D.; Shukla, A.C.; Gaffey, J.; Pathak, N.; Dashora, K.; Pandey, A.; Sharma, M.; Guleria, S.; Varjani, S.; et al. (2023). Valorization of dragon fruit waste to value-added bioproducts and formulations: A review. *Crit. Rev. Biotechnol*, 1-19. DOI: 10.1080/07388551.2023.2254930.

Trivellini, A., Lucchesini, M., Ferrante, A., Massa, D., Orlando, M., Incrocci, L., & Mensuali-Sodi, A. (2020). Pitaya, an attractive alternative crop for Mediterranean region. *Agronomy*, *10*(8), 1065. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081065>

-V-

Valencia-Botín, A. J., Kokubu, H., & Ortíz-Hernández, Y. D. (2013). A brief overview on pitahaya (*Hylocereus* spp.) diseases. *Australasian Plant Pathology*, *42*, 437-440. <https://doi.org/10.1007/s13313-012-0193-8>

Valero, D., & Serrano, M. (2010). Postharvest biology and technology for preserving fruit quality. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/EBK1439802663>

- Valero, D., Díaz-Mula, H. M., & Serrano, M. (2011). Preharvest treatments with salicylates enhance fruit quality in cherries during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 60(2), 110-116. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.12.005>
- Valero, D., Díaz-Mula, H. M., & Serrano, M. (2020). Oxalic acid treatments for extending the shelf life of minimally processed artichoke. *Food Science and Technology International*, 26(4), 289-297. <https://doi.org/10.1177/1082013219889405>
- Valero, D., Erazo-Lara, A., García-Pastor, M. E., Padilla-González, P. A., Agulló, V., El-Hiali, F. B., & Serrano, M. (2025). Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.): The Less Known of the Pitahayas. *Foods*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/foods14020202>
- Valverde, J. M., Giménez, M. J., Guillen, F., Valero, D., Martínez-Romero, D., & Serrano, M. (2015). Methyl salicylate treatments of sweet cherry trees increase antioxidant systems in fruit at harvest and during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 109, 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.06.011>
- Vargas Tierras, Y. B., Pico, J. T., Díaz, A., Sotomayor Akopyan, D. A., Burbano, A., Caicedo, C., ... & Viera, W. (2020). Manual del Cultivo de Pitahaya para la Amazonía Ecuatoriana. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5551> (acceso 10 de abril de 2025)
- Vásquez-Castillo Wilson, Aguilar Karina, Vilaplana Rosa, Viera William, & Valencia-Chamorro Silvia. (2016). *Calidad del fruto y pérdidas poscosecha de pitahaya amarilla (Selenicereus megalanthus Haw.) en Ecuador*. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58279>
- Vera, J., Llerena, W., & Llerena, F. (2021). Calidad de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en diferentes etapas de madurez y temperaturas de almacenamiento. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 12(2), 141-151. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392021000200141>
- Verona, A., Urcia, J. y Paucar, L.M., (2020). Pitahaya (*Hylocereus spp.*): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds. *Scientia Agropecuaria*, vol. 11, no. 3, pp. 439-453. ISSN 23066741.

DOI 10.17268/sci.agropecu.2020.03.16.

Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>

Vlot, A. C., Dempsey, D. A., & Klessig, D. F. (2009). Salicylic acid, a multifaceted hormone to combat disease. *Annual Review of Phytopathology*, 47, 177-206. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.050908.135202>

-W-

Walker, R. P., & Famiani, F. (2018). Organic acids in fruits: metabolism, functions and contents. *Horticultural reviews*, 45, 371-430. <https://doi.org/10.1002/9781119431077.ch8>

Wang, L., Baldwin, E. A., Plotto, A., Luo, W., Raithore, S., Yu, Z., & Bai, J. (2015). Effect of methyl salicylate and methyl jasmonate pre-treatment on the volatile profile in tomato fruit subjected to chilling temperatures. *Postharvest Biology and Technology*, 108, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.007WA>

Wang, S. Y., Shi, X. C., Liu, F. Q., & Laborda, P. (2021). Effects of exogenous methyl jasmonate on quality and preservation of postharvest fruits: A review. *Food chemistry*, 353, 129482. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129482>

Wang, X., Chen, J., Luo, D., & Ba, L. (2024). Advances in the understanding of postharvest physiological changes and the storage and preservation of pitaya. *Foods*, 13(9), 1307. <https://doi.org/10.3390/foods13091307>

Wasternack, C., & Hause, B. (2013). Jasmonates: biosynthesis, perception, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. *Annals of Botany*, 111(6), 1021-1058. <https://doi.org/10.1093/aob/mct067>

Wei, W., Cheng, M., Ba, L., Zeng, R., Luo, D., Qin, Y., Liu, Z., Kuang, J., Lu, W., Chen, J., Su, X., & Shan, W. (2019). Pitaya *HpWRKY3* is associated with fruit sugar accumulation by transcriptionally modulating sucrose metabolic genes *HpINV2* and *HpSuSy1*. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(8), 1890. <https://doi.org/10.3390/ijms20081890>

Wu, J., Tang, R., Fan, K. (2024). Recent advances in postharvest technologies for reducing chilling injury symptoms of fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry: X*, 21, 101080. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101080>

Wu F, Zhang D, Zhang H, Jiang G, Su X, Qu H, Duan X (2011) Respuesta fisiológica y bioquímica de ciruelas cosechadas al ácido oxálico durante la maduración o la vida útil. *Food Res Internat* 44:1299–1305. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.027>

Wu, J. (2005). *Manual del Cultivo de la Pitaya*. Guatemala City, Guatemala: Litografía Zimtek.

-X-

Xie, G., Liu, N., Zhang, Y., Tan, S., Xu, Y., & Luo, Z. (2024). Postharvest MeJA maintains the shelf quality of kiwifruit after cold storage by regulating antioxidant capacity and activating the disease resistance. *Postharvest Biology and Technology*, 211, 112827. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.112827>

Xie, F., Chen, C., Chen, J., Yuan, Y., Hua, Q., Zhang, Z., ... & Qin, Y. (2022). Metabolic profiling of sugars and organic acids, and expression analyses of metabolism-associated genes in two yellow-peel pitaya species. *Plants*, 11(5), 694. <https://doi.org/10.3390/plants11050694>

Xu Y., Cai Z., Ba L., Qin Y., Su X., Luo D., Shan W., Kuang J., Lu W., Li L., Chen J., and Zhao Y., (2021), Maintenance of postharvest quality and reactiveoxygen species homeostasis of pitaya fruit by essential oil p-anisaldehyde treatment, *Foods*, 10(10): 2434. <https://doi.org/10.3390/foods10102434>

-Y-

Yan, Y., Stolz, S., Chetelat, A., Reymond, P., Pagni, M., Dubugnon, L., & Farmer, E. E. (2007). A downstream mediator in the growth repression limb of the jasmonate pathway. *Plant Cell*, 19(8), 2470-2483. <https://doi.org/10.1105/tpc.107.051229>

Yang, X., Xie, G., Tan, S., & Gu, G. (2024). Melatonin and methyl jasmonate inhibited the chilling injury of postharvest pitaya fruit after cold storage by regulating the antioxidant system. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 1-11. <https://doi.org/10.1080/01140671.2024.2384922>

Yu, W., Yu, M., Zhao, R., Sheng, J., Li, Y., & Shen, L. (2019). Ethylene perception is associated with methyl-jasmonate-mediated immune response against *Botrytis cinerea* in tomato fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(24), 6725-6735. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b02135>

-Z-

Zapata, P. J., Martínez-Esplá, A., Guillén, F., Díaz-Mula, H. M., Martínez-Romero, D., Serrano, M., & Valero, D. (2014). Preharvest application of methyl jasmonate (MeJA) in two plum cultivars. 2. Improvement of fruit quality and antioxidant systems during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 98, 115-122. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.07.012>

Zhao, Y., Song, C., Brummell, D. A., Qi, S., Lin, Q., Bi, J., & Duan, Y. (2021). Salicylic acid treatment mitigates chilling injury in peach fruit by regulation of sucrose metabolism and soluble sugar content. *Food Chemistry*, 358, 129867. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129867>

Zheng X, Ye L, Jiang T, Jing G, Li J (2012). Limitación del deterioro del mango durante el almacenamiento a temperatura ambiente mediante tratamiento con oxalato». *Food Chem* 130:279-285. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.035>

8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

1. Evaluar la eficacia de los elicitores en diversas condiciones agroecológicas, incluyendo aplicaciones a campo abierto, distintos tipos de suelo, gradientes altitudinales y regímenes hídricos, así como su efecto en pitahaya roja.
2. Caracterizar el perfil fitoquímico post-tratamiento con elicitores en la piel e investigar la factibilidad tecnológica y económica de utilizar la piel de pitahaya amarilla como materia prima para la obtención de ingredientes funcionales, dirigidos a la industria alimentaria y farmacéutica.
3. Optimizar las concentraciones y tiempos de aplicación de elicitores durante la poscosecha, bajo condiciones controladas de almacenamiento. Asimismo, se propone explorar tecnologías emergentes de formulación como la encapsulación o la liberación controlada, para mejorar la eficacia del tratamiento y prolongar la vida útil del fruto.

AGRADECIMIENTOS

Miro al cielo y exclamo mi agradecimiento a Dios, gracias a la vida que me ha dado tantos buenos momentos a nivel personal y profesional.

He cruzado la meta y me siento muy feliz de alcanzar este grado académico, sin duda esta alegría es compartida con todos mis seres queridos que fueron mi apoyo permanente en este proceso de formación doctoral, sin ustedes no lo hubiera conseguido.

Expresar mi sentimiento de gratitud a mis directores de Tesis Doctoral, al Dr. Daniel Valero y a la Dra. María Serrano, gracias por transmitir todos sus conocimientos científicos, por su apoyo oportuno y permanente, y sobre todo gracias por ser unas magníficas personas.

A mis compañeros del Grupo de Post-Recolección de Frutas y Hortalizas de la UMH, gracias por su amistad y compañerismo, de manera especial a la Dra. Emma García, que adicional de ser buena investigadora es una genial amiga.

A mi compañera de vida, mi querida esposa Alexandra, quien ha cumplido el rol de padre y madre de mis hijos, y quien fue mi apoyo y fortaleza diaria. A mis hermosos hijos Sammy y Gerard, reconocer su paciencia y humildad asumiendo este distanciamiento de la mejor forma, aunque nos extrañábamos cada día.

A mis queridos Padres Guido y Rosita, quienes son mi referente ético y moral, y me enseñaron el valor de la vida.

A la fraterna Universidad Miguel Hernández (UMH) y a mi querida Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).