



**Centro de Investigación en Alimentación y  
Desarrollo, A.C.**

**ANÁLISIS INTEGRAL DE LA CADENA PRODUCTIVA Y  
FISIOLOGÍA DEL FRUTO DE GUANÁBANA (*Annona muricata*  
L.) EN COMPOSTELA, NAYARIT: ENFOQUE EN  
PRECOSECHA Y POSCOSECHA**

---

Por:

**José María Anaya Dyck**

TESIS APROBADA POR LA

COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE ORIGEN VEGETAL

Como requisito parcial para obtener el grado de

**DOCTOR EN CIENCIAS**

## APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de José María Anaya Dyck la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias.



---

Dr. Martin Ernesto Tiznado Hernández  
Director de tesis



---

Dr. Jesús M. Robles Parra  
Integrante del comité de tesis



---

Dr. Miguel Ángel Hernández Oñate  
Integrante del comité de tesis



---

Dr. Porfirio Gutiérrez Martínez  
Integrante del comité de tesis

## DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis "Análisis Integral de la Cadena Productiva y Fisiología de Guanábana (*Ammona muricata* L.) en Compostela, Nayarit: Enfoque en Precosecha y Poscosecha" es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor José María Anaya Dyck, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita de quien ocupe la titularidad de la Dirección General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del director(a) de tesis.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN  
ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.  
Coordinación de Programas Académicos



Dra. Graciela Caire Juvera  
Directora General

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que contribuyeron a la culminación de este proyecto. En primer lugar, a Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), por canalizar el esfuerzo del pueblo hacia el crecimiento y desarrollo de profesionales mexicanos, especialmente por el apoyo financiero otorgado para llevar a cabo este trabajo.

Agradezco al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), por motivarme a expandir mis conocimientos, experiencia y carácter.

Al proyecto 60254 “Elucidación del Mecanismo Molecular de Biosíntesis de Cutícula Utilizando como Modelo Frutas Tropicales” por reforzar mi interés en la investigación.

El agradecimiento más importante lo hago a Dios, quien, a pesar de mis errores, nunca me abandona y me bendice generosamente.

A cada miembro de mi familia, sin su apoyo no habría llegado tan lejos. A aquellos que partieron, por seguir siendo una fuente inagotable de inspiración y valentía. A los que llegaron, por brindarme todo lo que no sabía que necesitaba.

Expreso mi profundo agradecimiento a mis padres. Tengo una madre ejemplar, siempre solidaria, que me ha enseñado a nunca rendirme ante la adversidad. Agradezco a Dios la reconciliación con mi padre; su ejemplo y sabiduría son insustituibles.

Anai, Paulina y Valeria, estoy eternamente agradecido con ustedes. Los tesoros que me han confiado le dan sentido a mi vida.

Agradezco a mi hermano por apoyarme siempre, a pesar de la distancia. Ver su crecimiento y superación personal me llena de orgullo y motivación para seguir adelante.

A mi mejor amigo que, en vida, estuvo a mi lado todos los días, en los buenos y malos momentos. Mi más sincero agradecimiento a la Dra. Beatriz Olivia Camarena Gómez y al Dr. Jesús Martín Robles Parra; su valiosa intervención ha sido fundamental para mi crecimiento profesional y personal.

A Ángel Javier Ojeda (Don Javi), agradezco su compromiso y colaboración, siempre dispuesto a ayudar en el laboratorio.

Agradezco al Comité de Docencia y a la Coordinación de Programas Académicos por analizar mi caso y aprobar la reconfiguración del comité de tesis. Su decisión ha sido fundamental para el avance de este proyecto.

A los miembros del comité de esta tesis: Dr. Tiznado, por dirigir este trabajo; al Dr. Gutiérrez por su hospitalidad; y al Dr. Hernández Oñate por la revisión del escrito.

Quiero expresar mi agradecimiento a quienes me brindaron su apoyo en la realización de alguna de los cientos de actividades esenciales para el desarrollo de este trabajo, como el marcaje de flores y los análisis de fisiología del fruto en el Instituto Tecnológico de Tepic, Nayarit. Su invaluable colaboración e infraestructura fueron fundamentales para llevar a cabo este proyecto.

Por último, pero no menos importante, agradezco a mis compañeros y amigos por sus valiosos consejos, ayuda desinteresada y amistad sincera. Han hecho de mi tiempo en CIAD una experiencia inolvidable. Especialmente a Yaima, que me acompañó en este recorrido.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a los que continuarán después de mí.

## CONTENIDO

<b>APROBACIÓN</b> .....	2
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	4
<b>DEDICATORIA</b> .....	6
<b>CONTENIDO</b> .....	7
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	9
<b>RESUMEN</b> .....	10
<b>ABSTRACT</b> .....	12
<b>1. SINOPSIS</b> .....	13
1.1. Justificación.....	13
1.2. Antecedentes.....	15
1.2.1. Frutos Tropicales: Una Alternativa Sostenible Frente a los Cultivos Anuales.....	15
1.2.2. El Impacto de los Frutos Tropicales en la Salud y Seguridad Alimentaria .....	17
1.2.3. Tendencias Actuales en el Mercado de Frutas Tropicales.....	18
1.2.3.1. Auge en la demanda y producción de frutas tropicales .....	18
1.2.3.2. Principales frutas tropicales en el mercado y regiones productoras .....	18
1.2.3.3. Crecimiento del comercio de frutas tropicales y fluctuación de precios .....	19
1.2.3.4. Principales exportadores e importadores de frutas tropicales .....	19
1.2.3.5. Factores que impulsan la demanda mundial de frutas tropicales.....	20
1.2.3.6. Desafíos en la producción y conservación de frutas tropicales .....	21
1.2.3.7. Impacto de la pandemia de Covid-19 en las cadenas productivas de frutas tropicales .....	21
1.2.3.8. Estrategias para mejorar la competitividad y sostenibilidad del sector .....	22
1.2.3.9. Perspectivas para el desarrollo integral del sector de frutas tropicales.....	22
1.2.4. La Guanábana y su Comercio .....	23
1.2.5. Fisiología de Frutos Tropicales y su Impacto en la Calidad y el Mercado.....	26
1.2.5.1. Influencia de los factores precosecha en la calidad poscosecha .....	28
1.2.5.2. Importancia de la selección de cultivares y especies .....	28
1.2.5.3. Desafíos y perspectivas en la mejora de frutas tropicales.....	29
1.2.5.4 Superando la escasez de material clonal en los cultivos de frutas tropicales mediante el cultivo de tejidos .....	32
1.2.5.5. Los marcadores moleculares en la investigación y mejora de frutas tropicales .....	33
1.2.5.6. Transformación genética y edición del genoma en la investigación de frutas tropicales.....	34
1.2.5.7. Influencia de los factores ambientales en la calidad de los frutos tropicales.....	35
1.2.5.8. Relación entre el manejo del cultivo y la calidad de la fruta .....	37
1.2.5.9. Relación entre tamaño de la fruta, firmeza y uso de reguladores de crecimiento en la producción de frutos tropicales .....	37
1.2.5.10. Fisiología poscosecha de la fruta tropical .....	40
1.2.5.11. Cambios en la maduración: color, textura y sabor.....	40

## CONTENIDO (continuación)

1.2.5.12. Respiración y producción de etileno en frutas tropicales .....	41
1.2.5.13. Factores que influyen en la respiración de los frutos .....	42
1.2.5.14. El etileno y su impacto en la maduración .....	45
1.2.5.15. Cutícula de los frutos .....	46
1.2.5.16. Funciones de la cutícula .....	47
1.2.5.17. Composición y estructura de la cutícula .....	47
1.2.5.18. Cambios en la cutícula durante la ontogenia de la fruta .....	48
1.2.6. Fisiología de los Frutos de Guanábana .....	49
1.2.7. Planteamiento del Problema .....	54
1.3. Hipótesis .....	55
1.4. Objetivo General.....	55
1.5. Objetivos Específicos .....	55
1.6. Sección Integradora del Trabajo.....	56
<b>2. LA CADENA PRODUCTIVA DE GUANÁBANA: UNA OPCIÓN PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO EN COMPOSTELA, NAYARIT.....</b>	<b>59</b>
<b>3. UNRAVELING THE SECRETS OF SOURSOP FRUIT: BIOCHEMICAL, STRUCTURAL, AND PHYSIOLOGICAL TRANSFORMATIONS DURING DEVELOPMENT AND RIPENING .....</b>	<b>101</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERAL.....</b>	<b>123</b>
4.1. Importancia del Cultivo de Guanábana Para el Desarrollo Regional de Compostela. ....	123
4.2. Contexto Cultural, Socioeconómico y Ambiental.....	123
4.3. Eslabones Primarios y Limitantes de la Cadena Productiva. ....	124
4.4. Etapas y Desafíos en la Producción de Guanábana.....	124
4.5. Problemas y Soluciones en el Eslabón de Empaque y Procesamiento.....	125
4.6. Desafíos y Soluciones en el Eslabón Primario de Comercialización.....	125
4.7. Plan de Acción Para Mejorar la Cadena Productiva De Guanábana.....	126
4.8. Relevancia y Aplicación en Investigaciones Futuras.....	128
4.9. Cambios Fisiológicos y Estructurales Durante el Desarrollo y Maduración de la Guanábana.....	128
4.10. Caracterización del Crecimiento y Maduración de la Guanábana.....	129
4.11. Aplicación al Manejo y Conservación de la Guanábana.....	129
4.12. Complementariedad de los Estudios en Beneficio para la Cadena Productiva de Guanábana.....	129
<b>5. CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>131</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>133</b>
<b>7. REFERENCIAS .....</b>	<b>134</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Recortes de pantalla de frutos de guanábana ofertados en el portal eBay.....	24

## RESUMEN

La guanábana (*Annona muricata* L.) es un delicioso fruto tropical cultivado en zonas tropicales, incluyendo al municipio de Compostela, Nayarit, apreciado por sus beneficios para la salud. No obstante, su sistema productivo enfrenta desafíos que limitan su crecimiento y expansión en los mercados nacional e internacional. Este estudio analiza la cadena productiva, identifica puntos críticos de control y oportunidades de mejora, además de profundizar en la fisiología del fruto y su comportamiento en pre cosecha y pos cosecha. Se empleó una metodología basada en el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control adaptada al contexto de la guanábana Nayarita, estudiando los eslabones clave y las interacciones entre los actores involucrados. El análisis de la fisiología de frutos permite establecer relaciones entre los procesos de desarrollo y maduración y las prácticas de manejo, lo que facilita la optimización de la calidad y vida útil del fruto. Durante tres períodos consecutivos de producción se marcaron flores de guanábana y se evaluó la fisiología de los frutos en diferentes días después de floración con variables como peso, firmeza, pH, acidez titulable, sólidos solubles totales, grosor de la cutícula, velocidad de respiración y producción de etileno. Los resultados revelaron inconsistencias en la cadena productiva, relacionadas con falta de capacitación e infraestructura adecuada. Se identificaron puntos críticos y se propuso un plan de acción para mejorar el sistema en su conjunto. La fisiología del fruto mostró que la guanábana requiere 120 días para alcanzar la madurez fisiológica, presenta un comportamiento climatérico y una vida pos cosecha corta. Durante su desarrollo, los frutos aumentan de peso de manera constante hasta alcanzar la madurez fisiológica. Su firmeza incrementa hasta llegar a valores máximos a los 90 DDF, para luego disminuir aceleradamente una vez que los frutos alcanzan la madurez fisiológica. El grosor de la cutícula disminuye en el estado de madurez fisiológica, y los procesos de respiración y producción de etileno se aceleran en esta etapa. En conclusión, el análisis exhaustivo de la cadena productiva y la comprensión del desarrollo fisiológico de la guanábana son fundamentales para mejorar la calidad del sistema y potenciar la producción, calidad y comercialización de la fruta en México. La implementación del plan de intervención propuesto podría incrementar significativamente la derrama económica de esta cadena productiva. Los hallazgos pueden ser de utilidad para productores, científicos y otros actores interesados en mejorar la rentabilidad y productividad de la cadena productiva de guanábana y otros frutos tropicales.

**Palabras Clave:** guanábana, fisiología, precosecha, poscosecha, cutícula, cadena productiva, Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control.

## ABSTRACT

Soursop (*Annona muricata* L.) is a delicious tropical fruit cultivated in tropical areas, including Compostela, Nayarit, and valued for its health benefits. However, its production system faces challenges that limit its growth and expansion in national and international markets. This study analyzes the production chain, identifies critical control points and opportunities for improvement, and delves into the fruit's physiology and its preharvest and postharvest behavior. A methodology based on Hazard Analysis and Critical Control Points adapted to the context of Nayarit soursop was employed, studying key links and interactions between the involved actors. The analysis of fruit physiology allows establishing relationships between development and maturation processes and management practices, facilitating the optimization of fruit quality and shelf life. During three consecutive production periods, soursop flowers were marked, and fruit physiology was evaluated at different days after flowering with variables such as weight, firmness, pH, titratable acidity, total soluble solids, cuticle thickness, respiration rate, and ethylene production. The results revealed inconsistencies in the production chain, related to the lack of training and adequate infrastructure. Critical points were identified, and an action plan was proposed to improve the system. The fruit's physiology showed that soursop requires 120 days to reach physiological maturity, exhibits climacteric behavior, and has a short postharvest life. During its development, the fruits increase in weight steadily until they reach physiological maturity. Their firmness increases until reaching maximum values at 90 DAF, then rapidly decreases once the fruits reach physiological maturity. Cuticle thickness decreases in the state of physiological maturity, and respiration and ethylene production processes accelerate at this stage. In conclusion, the comprehensive analysis of the production chain and the understanding of soursop's physiological development are essential for improving the quality of the system and enhancing the production, quality, and marketing of the fruit in Mexico. The implementation of the proposed intervention plan could significantly increase the economic spill of this production chain. The findings may be useful for producers, scientists, and other stakeholders interested in improving the profitability and productivity of the soursop and other tropical fruit production chains.

**Keywords:** soursop, physiology, preharvest, postharvest, cuticle, production chain, Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP).

## 1. SINOPSIS

### 1.1. Justificación

La FAO y la OMS promueven el consumo regular de frutas en una dieta equilibrada para prevenir problemas nutricionales y enfermedades no transmisibles como diabetes, problemas cardiovasculares y cáncer. Las frutas tropicales se cultivan en climas tropicales o subtropicales, tienen colores, aromas y sabores variados y son fuentes importantes de nutrientes en la dieta humana; sin embargo, a diferencia de otros alimentos, estos tejidos vivos requieren un cuidado constante para mantener su frescura tras la cosecha y usualmente no toleran temperaturas menores a 4°C. Su vida útil está condicionada por una combinación de factores fisiológicos, bióticos y abióticos, así como por el manejo recibido en pre y poscosecha (Bower & Cutting, 2011; Mathiazhagan *et al.*, 2021).

A pesar de los avances en biotecnología y técnicas de manejo, persisten las pérdidas poscosecha que oscilan entre el 20 y el 40% de la producción total de frutas tropicales tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo (Kitinoja & Kader, 2015). Esta situación genera importantes pérdidas económicas y agrava el problema de inseguridad alimentaria (Rajapaksha *et al.*, 2021). Dada la importancia de la producción y comercialización de frutas tropicales, se requiere el desarrollo de métodos que permitan mejorar su vida útil, lo cual contribuiría a evitar pérdidas económicas y de alimentos.

Se han desarrollado tecnologías de manejo poscosecha capaces de extender la vida útil de la fruta manteniendo su calidad (Indiarto, 2020). Diversas técnicas simples pueden emplearse ya sea de forma individual o en combinación. Estas técnicas pueden ser físicas, como la limpieza manual y el uso de embalajes con atmósferas modificadas, o pueden ser métodos químicos y recubrimientos. También se han explorado métodos innovadores como el ultrasonido y la ozonización, que mantienen la calidad de la fruta y prolongan su vida útil (Indiarto, 2020). Por otro lado, se han llevado a cabo esfuerzos consistentes en programas de mejora de cultivos que han empleado enfoques convencionales de reproducción y de ingeniería genética moderna para aumentar la

producción, mejorar la calidad, prolongar la vida útil y aumentar la resistencia a factores bióticos y abióticos de los frutos (Kaur *et al.*, 2020).

Gran parte del conocimiento actual sobre las plantas proviene de investigaciones en organismos modelo como *Arabidopsis* y tomate. Estudiar especies modelo es rápido, económico y sencillo, lo que permite desarrollar tecnologías aplicables a otras especies (Woodward & Bartel, 2018). El tomate, además de su importancia económica, se ha consolidado como modelo de estudio para entender el crecimiento de las plantas y el desarrollo y maduración de frutos climatéricos carnosos (Hellmann & Campos, 2022).

A pesar de la amplia diversidad de frutas tropicales, existe una comprensión limitada de su comportamiento fisiológico. Gran parte de la investigación se enfoca en el manejo y almacenamiento poscosecha, sin abordar el estudio de su fisiología básica. Esta brecha en el conocimiento dificulta el diseño de estrategias tecnológicas que permitan exportar frutos tropicales al mercado mundial. Cada variedad posee características únicas que le distinguen de otros frutos y condicionan sus posibilidades de mejora, por lo que es necesario estudiar su fisiología individualmente.

La guanábana es un claro ejemplo de un fruto tropical que rara vez se exporta a nivel internacional debido a factores que limitan su comercialización a gran escala, entre ellos, su corta vida de anaquel que suele oscilar entre 7 y 14 días (Jiménez-Zurita, Balois-Morales, Alia-Tejaca, *et al.*, 2017). Para acceder a mercados de alto valor, es imprescindible garantizar una mayor calidad, lo que puede lograrse mediante la implementación de protocolos que extiendan la vida útil de la guanábana y reduzcan así las pérdidas en su producción.

Es necesario tomar en cuenta que la cadena productiva de la guanábana enfrenta múltiples problemas, como las plagas y enfermedades, que lo afectan desde la siembra hasta la vida poscosecha, limitando su comercialización a nivel local únicamente. La falta de recursos y deficiencias en el manejo del cultivo agravan estos problemas. En este contexto, esta investigación se planteó como propósito general detectar y analizar los problemas que surgen en los distintos eslabones de la cadena productiva de guanábana, con el fin de establecer soluciones adecuadas y específicas para cada punto crítico identificado, facilitando así la exportación de este fruto tropical. Implementar cambios que promuevan la exportación de guanábana a mercados de alto valor requiere del análisis detallado de su cadena productiva, que contemple los cambios fisiológicos que acontecen durante el ciclo de vida del fruto, desde la etapa de desarrollo hasta la poscosecha. Este

análisis permite identificar los problemas principales en la cadena productiva y aplicar medidas preventivas y correctivas para garantizar la calidad de los frutos. Por otro lado, el análisis de la fisiología de la guanábana es fundamental para que los actores involucrados en la cadena productiva reconozcan los indicadores de madurez y senescencia para cosechar los frutos en el momento óptimo para preservarlos el mayor tiempo posible bajo condiciones ideales.

## 1.2. Antecedentes

### 1.2.1. Frutos Tropicales: Una Alternativa Sostenible Frente a los Cultivos Anuales

En la actualidad, el 80% de las tierras de cultivo del mundo se dedican a tan solo 10 granos de cereales, legumbres y semillas oleaginosas. La contaminación asociada a los monocultivos anuales, como maíz, trigo y soya, representa un tema preocupante en la agricultura moderna. Estos extensos cultivos, mayormente carentes de vida silvestre, enfrentan problemas de erosión y pérdida de fertilidad (Glover *et al.*, 2007). Debido a que los cultivos anuales tienen raíces poco profundas y mueren tras la cosecha, es necesario emplear constantemente maquinaria, agroquímicos y prácticas intensivas de manejo de campo para mantener la productividad de los suelos. Esta situación agrava aún más los problemas de erosión y agotamiento de la fertilidad del suelo (Glover *et al.*, 2007).

Mientras que en climas templados, las frutas se consideran solo una adición agradable a la dieta, en áreas tropicales, las frutas a menudo pueden ser la fuente principal e incluso única de alimento. A menudo desestimadas, las frutas tropicales son esenciales en la nutrición humana, y nuestra coevolución ha sido respaldada por la ciencia nutricional y los estudios evolutivos. Como originarios de África tropical, los humanos hemos desarrollado adaptaciones biológicas, como manos complejas con pulgares oponible hábiles en la recolección de frutos, y un sistema digestivo optimizado para su consumo. Si bien todas las frutas son saludables, las tropicales destacan por sus beneficios únicos, aportan nutrientes y compuestos bioactivos en abundancia, superando incluso la actividad antioxidante de algunas frutas de clima templado reconocidas por sus propiedades antioxidantes (Pereira-Netto, 2018). Nuestra coevolución ha posicionado a las frutas tropicales

como alimentos de alto valor nutricional y baja toxicidad, convirtiéndose en un componente central de la dieta biológicamente adecuada para la especie humana (Tanmay *et al.*, 2022).

A pesar de la importancia de las frutas tropicales en términos de nutrición y seguridad alimentaria, han sido poco investigadas en comparación con cultivos de mayor impacto económico como los cereales (Sthapit & Scherr, 2012). Esta tendencia se refleja en las dietas actuales, donde aproximadamente el 60% de la población mundial padece desnutrición, ya sea por no obtener suficientes calorías o por consumir calorías vacías de productos como cerveza, bebidas azucaradas y botanas (Pimentel, 2011).

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2010), una alimentación saludable incluye el consumo diario de frutas, con una recomendación de entre 217 y 332 kcal al día. Sin embargo, el suministro global de frutas, excluyendo el vino, es insuficiente, proporcionando solo 87 kcal/cápita/día, mientras que el suministro de cereales para consumo humano es mucho más alto, con una cantidad de 1.290 kcal/cápita/día. Para lograr una alimentación más equilibrada, es necesario reducir el consumo medio de alimentos per cápita en los Estados Unidos en más de 1.200 kcal al día. Aunque la reducción del consumo de frutas no se recomienda, es necesario fomentar su consumo para mejorar la salud y reducir la dependencia de alimentos con alto contenido calórico y bajo valor nutricional (Pimentel, 2011).

Los árboles productores de frutas tropicales ofrecen varias ventajas sobre los cultivos anuales, ya que son plantas perennes leñosas con raíces bien desarrolladas, capaces de acceder a nutrientes y agua en grandes volúmenes de suelo, además de apoyar a los microorganismos y otras actividades biológicas que enriquecen el suelo. Estas características les permiten resistir el estrés ambiental y mantenerse productivos durante décadas. Al no requerir replantado anual, necesitan menos maquinaria agrícola, fertilizantes y pesticidas, lo cual reduce el uso de combustibles fósiles (Glover *et al.*, 2007). Por otro lado, las especies productoras de frutas tropicales forman comunidades de árboles con una influencia reguladora en el ecosistema, tanto en el manejo del agua como en los ciclos de carbono y nitrógeno (Sthapit & Scherr, 2012).

Los árboles productores de frutas tropicales contribuyen a disminuir la cantidad de dióxido de carbono en el aire a la vez que mejoran la fertilidad del suelo. En este contexto, se puede afirmar que reemplazar cultivos de una sola temporada por plantas perennes, como los frutos tropicales, crearía sistemas de raíces extensos capaces de preservar el suelo y permitiría el cultivo en áreas actualmente consideradas marginales (Sthapit & Scherr, 2012). Así, fomentar el cultivo y consumo

de frutas tropicales ofrece una opción sostenible frente a los monocultivos anuales, beneficiando al medio ambiente y a la nutrición y seguridad alimentaria global. Es esencial reconocer el potencial de estas frutas para impulsar la salud y sostenibilidad en la agricultura a largo plazo.

### **1.2.2. El Impacto de los Frutos Tropicales en la Salud y Seguridad Alimentaria**

Los frutos tropicales son esenciales para una vida saludable y añaden variedad, sabor y textura a nuestras dietas. Son una fuente importante de energía y nutrientes esenciales para la salud humana, como vitaminas, minerales, antioxidantes, fibras dietéticas y fitoquímicos (Sayago-Ayerdi *et al.*, 2021). Estos componentes bioactivos contribuyen al bienestar y prevención de enfermedades crónico-degenerativas, como las cardiovasculares y el cáncer. Por ejemplo, la vitamina C que está presente en frutas como guayaba, piña y papaya, es vital para el sistema inmunológico, síntesis de colágeno y absorción de hierro. Además, estos frutos son ricos en antioxidantes como polifenoles y carotenoides, que protegen contra el daño celular y reducen el riesgo de enfermedades crónicas. La creciente demanda de frutos tropicales se debe en gran parte a su aporte de nutrientes esenciales y su capacidad para prevenir y combatir enfermedades crónicas (Wargovich *et al.*, 2012; FAO, 2020; Cádiz-Gurrea *et al.*, 2020). La Organización Mundial de la Salud recomienda consumir al menos 400 g diarios de frutas para obtener sus beneficios nutricionales (OMS, 2020). La conciencia sobre los beneficios de las frutas tropicales ha incentivado su demanda y el desarrollo de sus cadenas productivas. En 2021, la Asamblea General de Naciones Unidas (ONU) declaró el año como el Año Internacional de las Frutas y Verduras para concienciar sobre los beneficios nutricionales y para la salud de las frutas y verduras y su contribución a una dieta y un estilo de vida equilibrados y saludables (Caprile & Rossi, 2021).

En el contexto mundial actual, el cuidado del medio ambiente, la expansión demográfica y la desigualdad socioeconómica son desafíos significativos que han dado lugar a la creciente importancia del tema de la seguridad alimentaria. La seguridad alimentaria se refiere a la disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad de alimentos suficientes, seguros y nutritivos para satisfacer las necesidades dietéticas de una población (Iberdrola, 2023.). Los frutos tropicales, como componente esencial de la biodiversidad en las regiones tropicales y subtropicales, han sido

objeto de estudio por sus beneficios para la salud humana y por su potencial en mejorar la seguridad alimentaria.

Los frutos tropicales pueden hacer una valiosa contribución a la seguridad alimentaria de varias maneras. En primer lugar, su inclusión en la dieta aumenta la diversidad de nutrientes, reduciendo así la dependencia de alimentos básicos como el arroz, el maíz y el trigo, y disminuyendo la vulnerabilidad a las fluctuaciones en la producción y los precios de estos alimentos. Además, la producción y comercialización de frutos tropicales pueden generar empleo e ingresos para los agricultores y comunidades locales, mejorando su acceso a alimentos y recursos. Por último, muchos frutos tropicales pueden ser cultivados en sistemas agroforestales y policultivos, lo que promueve la conservación de la biodiversidad, el manejo sostenible del suelo y la mitigación del cambio climático. En conjunto, estas características hacen que los frutos tropicales sean una opción sostenible y prometedora para mejorar la seguridad alimentaria y nutricional en diversas comunidades a nivel mundial.

### **1.2.3. Tendencias Actuales en el Mercado de Frutas Tropicales**

1.2.3.1. Auge en la demanda y producción de frutas tropicales. Los frutos tropicales son altamente valorados por sus características sensoriales, medicinales y nutricionales, lo que ha llevado al desarrollo de cadenas productivas rentables, desde el nivel de subsistencia hasta la producción en gran escala. Este crecimiento sostenido en su producción y comercio en las últimas décadas se debe a la demanda de consumidores que buscan alimentos saludables, diversos y exóticos. A medida que la conciencia sobre la importancia de una dieta saludable se ha generalizado, las campañas que resaltan los beneficios para la salud del consumo de frutas tropicales han incentivado su demanda y disposición de pagar precios más elevados por parte del consumidor.

1.2.3.2. Principales frutas tropicales en el mercado y regiones productoras. Las frutas tropicales, originarias de regiones con climas tropicales y subtropicales en Asia, África, América Central, América del Sur, el Caribe y Oceanía, representan un conjunto de productos agrícolas de gran

relevancia económica y social en diversas partes del mundo. A pesar de ser un grupo relativamente nuevo en el comercio mundial de productos básicos, las frutas tropicales tienen significancia en el mercado internacional desde 1970 (FAO, 2021b).

Aunque existe una amplia variedad de frutas tropicales, solo algunas especies, como el plátano, la piña, el mango, la papaya y el aguacate, se comercializan a gran escala y tienen una mayor presencia en el mercado (Altendorf, 2017). El cultivo de estos frutos representa una valiosa fuente de empleo y de potencial ingresos por divisas que puede contribuir a mejorar la economía de las regiones productoras.

La producción mundial de frutas tropicales ha experimentado un crecimiento constante en la última década, debido principalmente a la creciente demanda en las principales áreas productoras. En 2018, la producción alcanzó los 100 millones de toneladas, un aumento del 23% en comparación con 2010 (FAO, 2019). Las frutas tropicales con mayor producción incluyen el mango, la piña, el aguacate y la papaya (FAO, 2020b), que constituyen el 85% de la producción mundial y se cultivan principalmente en áreas tropicales y subtropicales con condiciones climáticas favorables apropiadas para el cultivo de una gran diversidad de variedades. Se estima que el 99% de la producción proviene de países en desarrollo, principalmente de Asia y América Latina, y en menor medida de África. (FAO, 2021a). Los principales países productores, que representan el 65% del total de la producción de frutos tropicales, son India, Brasil, China, México e Indonesia.

1.2.3.3. Crecimiento del comercio de frutas tropicales y fluctuación de precios. El comercio mundial de frutas tropicales también ha mostrado una tendencia creciente, con un aumento del 50% entre 2010 y 2018. Durante los últimos años, los precios han experimentado una tendencia a la baja debido al aumento en la oferta y varían significativamente según la variedad y la estación del año (FAO). La elasticidad de la demanda en relación con el precio indica que los consumidores pueden optar por otras frutas cuando los precios aumentan repentinamente, lo que sugiere la importancia de mantener una oferta estable y precios competitivos (FAO).

1.2.3.4. Principales exportadores e importadores de frutas tropicales. Los principales exportadores de frutas tropicales se encuentran en el Lejano Oriente, América Latina, el Caribe, África y la costa

tropical de Granada, siendo México, Costa Rica, Países Bajos, y Perú los más destacados en 2021. Los frutos tropicales con mayor volumen de exportación coinciden con aquellos de mayor índice de producción a nivel mundial, destacando especialmente el mango, la piña, la papaya y el aguacate (FAO, 2020a). El aumento en el consumo de frutas tropicales en las últimas décadas las ha posicionado como el tercer grupo de frutas más valiosas a nivel mundial, después del banano y la manzana. En 2018, el valor de sus exportaciones alcanzó los 19 millones de dólares. Posteriormente, en 2019 se registró un volumen de exportación agregado de ocho millones de toneladas, con un promedio estimado de 1000 dólares por tonelada (FAO, 2020b).

La creciente disponibilidad de los frutos tropicales en las estanterías de mercados convencionales ha estimulado aún más el crecimiento de la demanda. Innovaciones significativas en tecnología de producción, distribución y logística además de la reducción en costos de transporte y tiempos de entrega, hicieron posible que los frutos tropicales, una vez considerados productos altamente estacionales, estén disponibles durante todo el año en los principales destinos de todo el mundo. La demanda de frutas tropicales ya no se limita a los países de primer mundo. Los habitantes de áreas urbanas prósperas de países en francas vías de desarrollo como India y Brasil y de países desarrollados como China han mostrado gran interés en estos productos novedosos, marcados como alimentos premium (Altendorf, 2017). En 2021, los principales importadores de frutas tropicales, que abarcan el 70% del total de la producción, fueron Estados Unidos (\$4,32MM), Países Bajos (\$1,53MM), China (\$1,06MM), Francia (\$969M) y Alemania (\$870M). Otros importadores importantes de frutas tropicales incluyen la Unión Europea, Japón, Canadá y países asiáticos como Singapur, Corea del Sur, y Hong Kong, según datos del OEC (The Observatory of Economic Complexity., 2023).

1.2.3.5. Factores que impulsan la demanda mundial de frutas tropicales. La demanda mundial de frutas tropicales está impulsada por varios factores, entre los que se destacan el aumento de los ingresos y el nivel de vida de la población, la mayor conciencia sobre los beneficios nutricionales y saludables de estas frutas, la diversificación de las preferencias y hábitos de consumo, la mayor disponibilidad y accesibilidad de estos productos en los mercados locales e internacionales, y la innovación y el desarrollo de nuevos productos procesados y derivados de las frutas tropicales. La creciente popularidad de los productos tropicales, como el aguacate, el mango y la papaya, se

atribuye a la disponibilidad de opciones "ready-to-eat", que garantizan la madurez y calidad de los productos, lo que se espera que impulse aún más su consumo en los próximos años (The Food Tech., 2023) Las nuevas tendencias de consumo indican que el factor tiempo es cada vez más limitado y la preparación de alimentos debe ser rápida y fácil. En este contexto, las frutas tropicales se perfilan como una excelente opción debido a su valor nutricional y su facilidad de preparación (Infoagro, 2023).

1.2.3.6. Desafíos en la producción y conservación de frutos tropicales. A pesar de su potencial, la producción y conservación de frutos tropicales enfrenta varios desafíos, como el desequilibrio climático, que puede afectar la distribución geográfica y productividad de los cultivos; la pérdida de biodiversidad y hábitats naturales debido a la deforestación y expansión agrícola; y la falta de infraestructura adecuada para el procesamiento y almacenamiento de frutos, lo que puede resultar en pérdidas postcosecha significativas. Además, es necesario mejorar las prácticas de producción y manejo para reducir el uso de agroquímicos y garantizar la calidad y seguridad de los productos. La apertura de los mercados internacionales a los frutos tropicales y la creciente demanda en países no tropicales pueden generar presión sobre los recursos naturales y aumentar la competencia por la tierra y el agua. La introducción de plagas y enfermedades exóticas, así como la resistencia a los pesticidas, representan riesgos adicionales para la producción y conservación de frutos tropicales. El mercado de frutas tropicales enfrenta diversos desafíos y riesgos, como la alta vulnerabilidad a plagas y enfermedades, los efectos del cambio climático, fenómenos meteorológicos extremos, competencia por el uso del suelo y agua, falta de infraestructura y logística adecuadas, barreras sanitarias y fitosanitarias impuestas por algunos países importadores, volatilidad de los precios y distribución desigual del valor añadido a lo largo de la cadena.

1.2.3.7. Impacto de la pandemia de Covid-19 en las cadenas productivas de frutos tropicales. La pandemia de Covid-19 y las medidas de contención adoptadas tuvieron un impacto significativo en algunas cadenas productivas de frutos tropicales. Las restricciones a los viajes aéreos y las políticas de cierre afectaron el transporte y la demanda de importación de frutas tropicales. Sin embargo, el comercio mundial de frutas tropicales demostró ser más resistente al impacto de la

pandemia de lo que se esperaba. A pesar de las interrupciones en las cadenas de suministro, el volumen total del comercio mundial de frutas tropicales aumentó en 2020 en 9.6 mil millones de dólares, lo que representa una expansión estimada del 3.6% en comparación con 2019. Aunque se observaron variaciones significativas entre los diferentes productos (FAO, 2021a; FAO, 2021b), los consumidores parecieron mostrar una mayor propensión a adquirir alimentos que se perciben como ricos en nutrientes y con posibles beneficios para el sistema inmunológico. A pesar de las dificultades, este resultado positivo demuestra la importancia de la producción y comercio de frutos tropicales en la economía mundial, y la necesidad de seguir trabajando en el fortalecimiento y sostenibilidad de esta actividad productiva.

1.2.3.8. Estrategias para mejorar la competitividad y sostenibilidad del sector. Para mejorar la competitividad y sostenibilidad del sector de frutas tropicales, se requieren estrategias que fomenten la organización y asociación de los productores, lo que puede aumentar su capacidad de negociación y mejorar su acceso a los mercados. Además, la inversión en investigación e innovación tecnológica puede mejorar las prácticas agrícolas y ambientales, reducir la dependencia de agroquímicos y aumentar la eficiencia en el uso de los recursos. Es importante diversificar los mercados y productos, para disminuir la vulnerabilidad a las fluctuaciones de los precios y ampliar el acceso a nuevos compradores. Para lograrlo, es necesario desarrollar estrategias de promoción y marketing que destaquen los beneficios nutricionales y la calidad de los frutos tropicales, para fomentar su demanda y valor agregado en el mercado. Por último, las alianzas estratégicas entre actores públicos y privados pueden ser fundamentales para fortalecer la cadena de suministro, mejorar la infraestructura y establecer políticas y regulaciones adecuadas para impulsar el desarrollo integral del sector.

1.2.3.9. Perspectivas para el desarrollo integral del sector de frutas tropicales. En resumen, la creciente demanda de frutas tropicales en las principales zonas productoras e importadoras, junto con las nuevas tendencias del consumidor que favorecen su consumo como complemento nutritivo y fácil de preparar, impulsan un constante crecimiento del mercado de frutas tropicales. A pesar de que los precios de estas frutas han disminuido en los últimos años debido al aumento en los

suministros, se proyecta que el cultivo de frutas tropicales experimentará un fuerte crecimiento y se consolidará como uno de los sectores agrícolas más importantes (FAO, 2021a). Es importante seguir trabajando en la mejora de la competitividad y sostenibilidad del sector, diversificar los mercados y productos, promover los beneficios nutricionales y calidad de los frutos tropicales, y establecer alianzas estratégicas entre actores públicos y privados para lograr un desarrollo integral del sector.

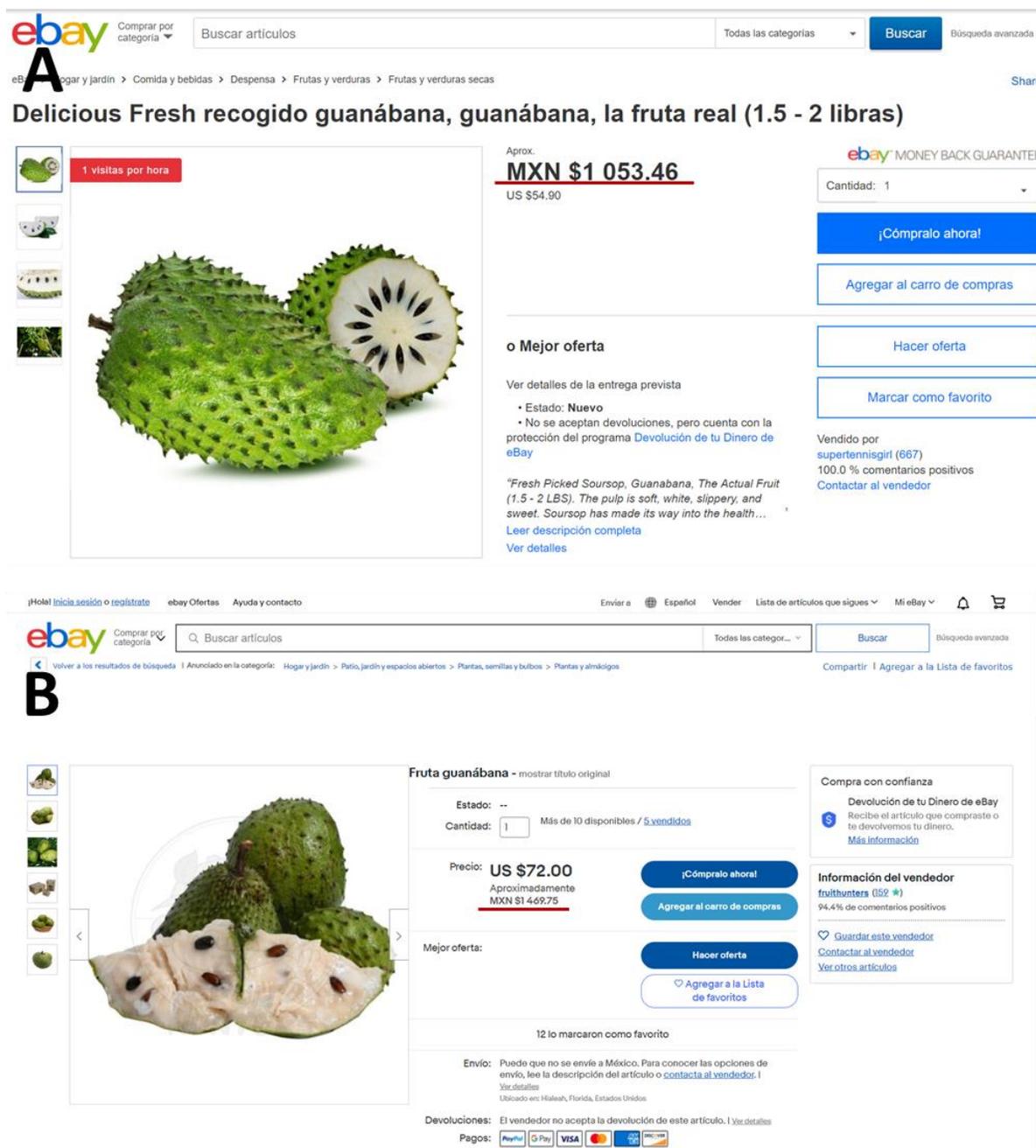
#### **1.2.4. La Guanábana y su Comercio**

La guanábana (*Annona muricata* L.) es un fruto tropical exótico, también conocido como Graviola y Guyabano, que recientemente ha despertado interés entre los consumidores debido a su delicioso sabor y a los múltiples beneficios que aporta a la salud humana. Se caracteriza por tener una pulpa dulce y blanca con un fresco aroma, y contiene compuestos bioactivos como aceites, alcaloides, terpenos, flavonoides y acetogeninas (Badrie & Schauss, 2010). Su pulpa se consume para la prevención y control de diversas patologías como diabetes, uretritis, hematuria y afecciones hepáticas (Adefegha *et al.*, 2015). La guanábana presenta actividad anticancerígena, antitumoral, antibacteriana, antiinflamatoria, antiparasitaria, antimalárica y antiúlceras (Moghadamtousi *et al.*, 2015). Estudios *in vitro* muestran que el extracto de pulpa de guanábana es un importante antioxidante que reduce los niveles de radicales libres (Correa *et al.*, 2012).

La guanábana resulta atractiva para un mercado de consumidores que, informados de sus propiedades, deseen consumir dietas saludables y estén dispuestos a pagar un precio elevado en relación con el de otras alternativas. En 2020, el principal país importador de guanábana fue Estados Unidos, invirtiendo \$707 millones de dólares en este fruto tropical. China, Alemania y Francia ocuparon los siguientes lugares, importando \$395.0 millones, \$299.3 millones y \$208.5 millones de dólares, respectivamente (BlaxtarEssentials, 2022).

En el portal web eBay, que opera en Estados Unidos, la guanábana fresca costaba poco más de \$1000 pesos por kilo en 2020 y actualmente la misma cantidad se valora en alrededor de \$1500 pesos (Figura 1). Comercializar la guanábana en este tipo de mercados de alto valor representa una oportunidad para aumentar significativamente las ganancias e impulsar el desarrollo de las regiones

productoras. El valor mundial total de importaciones de guanábana fue de \$3.51B en 2020. Estados Unidos contribuyó con 1/5 de las importaciones, mientras que China con 11.27%, Alemania con 8.54% y Francia con 5.95% (BlaxtarEssentials, 2022). Tomadas en conjunto, estas estadísticas sugieren que la guanábana es una fruta importante en el mercado mundial actual.



**Figura 1.** Recortes de pantalla de frutos de guanábana ofertados en el portal eBay. (A) Accesado en 25 de septiembre del 2020 (eBay, 2020) (B) Accesado en 3 de mayo del 2022 (eBay, 2022).

La guanábana es un fruto con propiedades nutritivas y medicinales excepcionales, sin embargo, su volumen de producción y comercialización es menor en comparación con otros frutos tropicales más comunes en el mercado, como el plátano, la piña, el mango, la papaya o el aguacate. A pesar de que México es el principal productor de guanábana a nivel mundial (Mendoza & Hernández, 2022) y el estado de Nayarit es su mayor proveedor (Jiménez-Zurita *et al.*, 2016), gran parte de su venta se limita a mercados y centrales de abastos cercanos al lugar de producción, y solo un pequeño porcentaje se destina al mercado de exportación.

La cadena productiva de guanábana genera una derrama económica cercana a los \$250 millones de pesos anuales en Nayarit (SIAP, 2020). El 66% de la superficie dedicada a la producción de guanábana a nivel nacional se encuentra en el municipio de Compostela, localizado en la costa sur del estado de Nayarit, donde las condiciones edafoclimáticas son ideales para el desarrollo de este cultivo. El clima en esta zona es tropical, cálido y húmedo (Márquez Cardoso, 2009) y la tierra es fértil y rica en materia orgánica, lo que favorece el desarrollo de este cultivo (Ayuntamiento Compostela, 2017). Se pueden obtener buenos rendimientos incluso con riego de temporal y pocas labores de mantenimiento. En 2018, se cosecharon 21,130 toneladas de guanábana en la zona, lo que representó el 81% del valor total de la producción nacional, con una derrama económica de más de \$244 millones de pesos (SIAP, 2020). De acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo Sostenible 2020-2035 de Granada se demostró el potencial de esta fruta para mejorar las condiciones económicas y de seguridad alimentaria de la población rural (FAO, 2022).

Existe escasa información sobre la cadena productiva de guanábana (CPG) en México. Piedragil Ayala en 2017 describe a grandes rasgos la situación actual de la CPG utilizando como ejemplo el caso de éxito de la empresa local nayarita Agroproductos Monteón. El artículo identifica las diferentes fases del cultivo y menciona las innovaciones que implementó la empresa, resaltando los resultados favorables (Piedragil Ayala, 2017). Por su parte, Cayeros Altamirano *et al.*, (2017) describen la desarticulación que se ha observado en la cadena productiva de guanábana en Compostela donde cada actor cumple su rol específico, pero existe poca coordinación y cooperación entre ellos. Es decir, los productores tienen acceso restringido a oportunidades de comercialización y los intermediarios no se involucran en el proceso de producción agrícola (Cayeros Altamirano *et al.*, 2017). Estos autores coinciden con Piedragil al describir como basado en técnicas ‘tradicionales’ las condiciones actuales del cultivo de guanábana en Compostela, donde observaron pocas labores de mantenimiento y riego por temporal. Los árboles crecen rodeados de

hojarasca y frutos caídos. Sin podas regulares que favorezcan la ventilación, el clima cálido y húmedo facilita la propagación de plagas y enfermedades. Problema que debe tomarse en cuenta ya que existen al menos 296 especies de artrópodos que representan una amenaza para las Anonáceas (Vidal Hernández *et al.*, 2014) debido a que las lesiones que ocasionan facilitan la entrada de infecciones fúngicas como la antracnosis.

Existen varios factores que limitan la comercialización de la guanábana mexicana. A pesar del potencial que conlleva su venta en mercados de alto valor, generalmente no se exporta a nivel internacional debido a problemas para reunir los requisitos fitosanitarios de países importadores, su corta vida de anaquel y su disponibilidad estacional caracterizada por periodos de cosecha cortos. La falta de infraestructura y logística necesarias para el manejo del cultivo de guanábana también son barreras importantes para su comercialización y el conocimiento existente sobre estos frutos altamente perecederos tiene poca difusión. Sin duda el principal obstáculo para comercializar la guanábana fresca a gran escala es su corta vida de anaquel (Jiménez-Zurita, Balois-Morales, Alia-Tejaca, *et al.*, 2017). En el capítulo 2.1 se muestra un análisis reciente que detalla la cadena productiva de guanábana en Compostela Nayarit, donde se identifican los principales problemas que existen en cada eslabón y se sugieren diferentes soluciones ante cada problemática.

### **1.2.5. Fisiología de Frutos Tropicales y su Impacto en la Calidad y el Mercado**

La fisiología de los frutos tropicales es un área de investigación en constante evolución (Paull & Duarte, 2011), ya que tiene un impacto directo en la calidad de diversas especies tropicales con importancia económica. Tiene como objetivo comprender los mecanismos que regulan la calidad y el rendimiento de los frutos, así como optimizar las prácticas de manejo y conservación. Es una disciplina científica que investiga los procesos físicos, bioquímicos y biológicos que ocurren durante el desarrollo y poscosecha de los frutos de plantas tropicales. Estos procesos abarcan el crecimiento, la maduración, la respiración, la transpiración, la senescencia y las respuestas a factores ambientales y de manejo. Contempla diversos aspectos como la genética, la bioquímica, la ecología, la fisiología molecular, la biotecnología y la nanotecnología. Este campo de investigación se ha desarrollado significativamente en las últimas décadas, gracias a una serie de

factores, incluyendo avances tecnológicos, mejoras en los métodos de investigación y aumento de la demanda de productos agrícolas para satisfacer las necesidades de una población cada vez más grande.

Las frutas tropicales se destacan por su amplia diversidad en términos de colores, aromas y sabores en comparación con las frutas de clima templado. Sin embargo, a nivel fisiológico, comparten ciertas características con estas últimas, lo que permite la aplicación de tecnologías ya probadas en frutas de clima templado (Siriphanich, 2002). No obstante, es importante tener en cuenta las particularidades específicas de las frutas tropicales. Por ejemplo, las frutas tropicales tienen en común el no poder soportar temperaturas frías menores a 4°C durante su crecimiento, a diferencia de las frutas de clima templado o frío (Hernández *et al.*, 2010). Las frutas tropicales presentan una diferencia notable en su perfil de sabor en comparación con las frutas de clima templado. Generalmente, las frutas tropicales tienden a ser más dulces y menos ácidas. Por ejemplo, la papaya, el mango, el melón y los plátanos tienen un rango de pH que oscila entre 5 y 6,6 aproximadamente. En contraste, las frutas de clima templado, como los arándanos, las nectarinas, las granadas, las manzanas, las cerezas y las naranjas, presentan un pH que se sitúa entre 2,9 y 4,52 aproximadamente.

La fisiología de los frutos tropicales es un campo dinámico que abarca una variedad de temas de investigación actuales. Algunos temas relevantes son:

- El papel de las hormonas vegetales, especialmente el etileno, en el control de la maduración y el ablandamiento de los frutos.
- Los efectos del estrés abiótico y biótico, como la sequía, la salinidad, las plagas y las enfermedades, en la fisiología y el metabolismo de los frutos.
- Los mecanismos moleculares y celulares involucrados en la biosíntesis y el transporte de compuestos bioactivos, como los antioxidantes, los pigmentos, los aromas y los sabores, que determinan la calidad sensorial y nutricional de los frutos.
- Las técnicas de edición genómica, como CRISPR-Cas9, que permiten modificar el genoma de las plantas para mejorar características deseables o eliminar defectos en los frutos.
- Las aplicaciones de la nanotecnología para desarrollar nuevos materiales y sistemas inteligentes que mejoren la protección, el monitoreo y la liberación controlada de agentes activos en los frutos.
- Exploración las propiedades nutricionales y de promoción de la salud de los frutos tropicales.

- Avances en tecnologías de procesamiento, como la clasificación, limpieza, reducción de tamaño, blanqueado, enlatado, congelado y secado, han mejorado la calidad y vida útil de frutas tropicales, beneficiando particularmente el almacenamiento, transporte y valor económico (Siddiq *et al.*, 2012).

A pesar de los avances logrados en la comprensión de la fisiología de las frutas tropicales, aún existen numerosos aspectos por descubrir. Si bien gran parte del conocimiento actual se ha obtenido a través de estudios en especies populares como el plátano, mango, piña y papaya, la información sobre el comportamiento fisiológico de una amplia diversidad de frutas tropicales sigue siendo limitada. A menudo, las investigaciones en frutos tropicales menos conocidos se centran en el manejo y el almacenamiento poscosecha (Siriphanich, 2002). Para mejorar nuestra comprensión de la fisiología de las frutas tropicales, es necesario realizar más investigaciones que abarquen tanto la etapa precosecha como la poscosecha. La investigación futura en este campo resulta esencial para mejorar la calidad y prolongar la vida útil de estas frutas, así como para incrementar su presencia en el mercado mundial.

1.2.5.1. Influencia de los factores precosecha en la calidad poscosecha. La calidad de los frutos tropicales es determinada por una multitud de factores que se manifiestan tanto antes como después de la cosecha. Su potencial se establece en gran medida por las condiciones precosecha, que incluyen factores fisiológicos, ambientales, culturales y genéticos. Estos factores tienen un impacto significativo en el crecimiento, desarrollo y maduración de los frutos, así como en su apariencia, sabor, textura y resistencia a las medidas de desinfección durante la etapa poscosecha (Tyagi *et al.*, 2017). Por lo tanto, para optimizar la calidad de los frutos tropicales, es crucial comprender y considerar la interrelación entre las condiciones precosecha y poscosecha. Un enfoque integral que tenga en cuenta todos estos factores permitirá mejorar la calidad poscosecha mediante un manejo adecuado de las frutas (Hofman, 1996).

1.2.5.2. Importancia de la selección de cultivares y especies. Los cultivos de frutas tropicales se enfrentan a desafíos como climas adversos, plagas, enfermedades, baja productividad y mala calidad. Por tanto, es necesario realizar investigaciones e innovaciones que mejoren el potencial

genético y el rendimiento agronómico de estos cultivos. La elección de cultivares y especies es fundamental para asegurar la calidad de la fruta, ya que la genética juega un papel determinante en la manifestación de diversos parámetros como el color, la forma, el tamaño, el peso, la composición, la apariencia y el sabor. Las mejoras en las frutas tropicales a menudo se logran mediante la selección aleatoria de plántulas, plántulas de polinización abierta o mutaciones. Sin embargo, en algunos cultivos, como la piña, la papaya, el aguacate y la guanábana, se han realizado cruces mediante polinización controlada (Ogata *et al.*, 2016). Los métodos convencionales de mejora han generado variedades mejoradas con cualidades deseables en cuanto a calidad de fruta, aroma, antioxidantes, rendimiento y características nutricionales. No obstante, la necesidad de mejorar características como la tolerancia al estrés biótico y abiótico, así como la calidad nutricional, exige la implementación de estrategias novedosas complementarias.

1.2.5.3. Desafíos y perspectivas en la mejora de frutas tropicales. A diferencia de los cultivos de frutas de clima templado, la mayoría de las especies de frutas tropicales aún no han sido objeto de programas de mejora genética (Ogata *et al.*, 2016). Existen varias estrategias para mejorar los cultivos de frutas tropicales, como la aplicación de enfoques multiómicos, que integran genómica, transcriptómica, proteómica, metabolómica, marcadores SNP, QTL y CRISPR, para obtener una comprensión integral de estos sistemas biológicos.

A pesar de contar con más de 1000 variedades de mango, todavía se necesita una variedad ideal. Los enfoques multiómicos se han aplicado para estudiar diversos aspectos del mango, como la calidad de la fruta, vida útil, análisis de diversidad y respuestas a estrés biótico y abiótico (Malarvizhi *et al.*, 2022). Estos estudios han mejorado nuestra comprensión de los recursos genéticos disponibles para la cría y selección de cultivares con mejores cualidades comestibles y una vida útil más prolongada. Sin embargo, durante las últimas dos décadas, solo se han lanzado al mercado unos pocos cultivares debido al largo período juvenil y al tiempo requerido para evaluar las plántulas. Como resultado, solo un pequeño número de variedades ha estado disponible para los agricultores (Malarvizhi *et al.*, 2022).

MangoBase es un portal genómico y atlas de expresión génica dedicado a *Mangifera indica*, que proporciona un recurso valioso para la genómica y el mejoramiento del mango. La disponibilidad de secuencias del genoma del mango ha creado la necesidad de una plataforma de bioinformática

para albergar los datos ómicos del mango. MangoBase integra múltiples genomas de mango, ofreciendo herramientas como consultas de expresión génica, búsqueda de similitud de secuencia BLAST y análisis de enriquecimiento génico. El portal facilita la exploración de la anotación de genes, el filtrado de datos, la clasificación y la descarga. MangoBase sirve como una plataforma integral para acceder a datos genéticos y anotaciones del mango, dirigida a investigadores y mejoradores en el campo de la genómica del mango (Gómez-Ollé *et al.*, 2023).

La banana es otro fruto tropical que desempeña un papel crucial como alimento básico en todo el mundo. Desafortunadamente, el monocultivo extensivo de variedades comerciales de plátano durante largos períodos de tiempo los ha vuelto altamente susceptibles a plagas y enfermedades. Situación que representa una grave amenaza tanto para la disponibilidad de alimentos como para los medios de vida de innumerables individuos. El desarrollo de variedades con rasgos deseables a través de métodos de cría convencionales representa un desafío para los mejoradores, ya que la banana se propaga vegetativamente y presenta problemas de producción de semillas debido a la poliploidía, partenocarpia y esterilidad. El desarrollo de variedades de banana con rasgos deseables se puede lograr mediante enfoques que requieren un entendimiento básico y completo de los mecanismos moleculares involucrados en la expresión de rasgos. Se han utilizado tecnologías de secuenciación de próxima generación para desentrañar los mecanismos moleculares de diversos rasgos, como maduración, tolerancia/resistencia a estreses bióticos y abióticos, entre otros, a nivel genómico y transcriptómico. Otros estudios ómicos se enfocan en el estudio de las complejas interacciones entre genes, proteínas y metabolitos dentro del fenotipo resultante, abriendo nuevas oportunidades para mejorar los plátanos. La investigación ómica de plagas y enfermedades también ha permitido revelar las interacciones entre hospedador y patógeno, desarrollando así estrategias de manejo (Suthanthiram *et al.*, 2022).

Con el objetivo de facilitar el mejoramiento de la papaya, una fruta tropical de gran importancia económica, se aplican cada vez más los recursos ómicos y los enfoques de bioinformática en la investigación de ese cultivo. Las pérdidas significativas causadas por enfermedades como la enfermedad del marchitamiento de la papaya, el virus de la mancha del anillo y la enfermedad de la papaya pegajosa resaltan la urgencia de mejorar los rasgos de la papaya. El uso de datos ómicos, como los polimorfismos de un solo nucleótido (SNPs) e inserciones/deleciones (InDels), puede ayudar en el desarrollo de plantas de papaya resistentes y en la creación de mapas genéticos de alta densidad para la cría de papaya (Zainal-Abidin *et al.*, 2021).

La transcriptómica, proteómica y metabolómica se ha utilizado para estudiar los mecanismos moleculares subyacentes de rasgos de la papaya como el desarrollo de flores, el proceso de maduración, el estrés abiótico, la resistencia a enfermedades y la calidad de la fruta (dulzura, forma y tamaño de la fruta) e identificar genes, proteínas y metabolitos clave asociados con estos rasgos. Se han realizado análisis comparativos de genómica para explorar familias de genes relacionados y mediante metabolómica se ha dilucidado la composición bioquímica de la papaya en diferentes condiciones ambientales al identificar y medir metabolitos diferencialmente expresados (Zainal-Abidin *et al.*, 2021).

El análisis del transcriptoma, metiloma y las redes de coexpresión se utiliza para comprender respuestas específicas de tejidos en condiciones de sequía, identificar factores clave en la maduración de la fruta y estudiar los efectos de los tratamientos con etileno y 1-MCP, como la textura gomosa causada por 1-MCP. Se han revelado genes asociados al proceso de reversión del sexo masculino a hermafrodita inducido por bajas temperaturas, obteniendo información sobre las características diferenciales de las flores dioicas, y se han identificado genes de respuesta al estrés y resistencia a enfermedades, como los factores de transcripción en el dominio AP2/ERF que podrían desempeñar un papel en la acumulación de cera, la tolerancia al estrés por déficit de agua y otros procesos fisiológicos (Zainal-Abidin *et al.*, 2021).

La investigación en la mejora de las frutas tropicales se encuentra en un estado menos avanzado respecto a frutos de climas templados debido a que el mejoramiento de los cultivos de frutas tropicales presenta una serie de desafíos que dificultan el proceso de manera significativa. Algunos de estos desafíos son:

1. Complejidad genética: Los cultivos de frutas tropicales suelen tener genomas complejos y altamente heterocigotos. Esto dificulta la identificación y manipulación de genes específicos relacionados con rasgos deseables (Othman *et al.*, 2016).
2. Larga fase juvenil: La prolongada fase juvenil de muchos cultivos tropicales retrasa el proceso de mejoramiento, ya que los árboles requieren un largo tiempo para iniciar la producción de frutas. Esto implica que los investigadores deben esperar varios años para evaluar los resultados de los cruzamientos y selecciones realizados (Mathiazhagan *et al.*, 2021).
3. Factores ambientales: Las frutas tropicales son altamente sensibles a los factores ambientales, como las variaciones de temperatura, la humedad y las enfermedades. Esto dificulta la

reproducción consistente de los rasgos deseables en diferentes condiciones ambientales (Tisné *et al.*, 2020).

4. Vida útil poscosecha: Las frutas tropicales suelen tener una vida útil corta después de la cosecha debido a su rápida maduración y mayor susceptibilidad a daños físicos y enfermedades. El mejoramiento de la calidad poscosecha y la prolongación de la vida útil son desafíos importantes en este campo (Indiarto, 2020).
5. Poliploidía: Muchas frutas tropicales, como el plátano y la papaya, son poliploides, lo que significa que tienen múltiples juegos de cromosomas. La poliploidía dificulta la reproducción sexual y la creación de variedades mejoradas a través de la recombinación genética (Penna & Jain, 2023).
6. Mejoramiento de múltiples rasgos: Las frutas tropicales a menudo tienen múltiples rasgos deseables que se deben mejorar simultáneamente, como el sabor, el aroma, la resistencia a enfermedades, la calidad poscosecha y el rendimiento. Lograr mejoras en todos estos rasgos de manera equilibrada puede ser un desafío (Chavarría-Perez *et al.*, 2020).
7. Limitaciones de recursos y financiamiento: El mejoramiento de cultivos requiere recursos significativos, incluidos fondos, instalaciones de investigación y personal capacitado. En muchas regiones tropicales, la falta de recursos y financiamiento adecuados limita el progreso en la investigación y el desarrollo de variedades mejoradas (Cerón-Souza *et al.*, 2021).

A pesar de los desafíos inherentes a la mejora de los cultivos de frutas tropicales, los avances en biotecnología presentan nuevas oportunidades para superar estas limitaciones. La biotecnología se ha convertido en uno de los enfoques principales para mejorar los cultivos de frutas tropicales, utilizando técnicas como el cultivo de tejidos, marcadores moleculares, transformación genética y edición del genoma. Estas herramientas abren nuevas posibilidades para superar las limitaciones de los métodos de mejora convencionales y facilitar el desarrollo de variedades mejoradas en estos cultivos.

1.2.5.4 Superando la escasez de material clonal en los cultivos de frutas tropicales mediante el cultivo de tejidos. La escasez de material clonal ha limitado la expansión de los cultivos de frutas tropicales, a pesar de contar con métodos eficientes de propagación vegetativa para muchos de los cultivos más importantes en este ámbito (Litz & Jaiswal, 1991). El cultivo de tejidos, una técnica

que permite la propagación de un gran número de plantas genéticamente idénticas a partir de un solo explante o célula, se presenta como una solución prometedora. Esta técnica no solo ayuda a preservar y multiplicar clones sobresalientes, sino que también permite inducir mutaciones y facilitar la transformación genética. De hecho, el cultivo de tejidos ha demostrado éxito en varios cultivos de frutas tropicales, como el plátano, la piña, la papaya, el mango, la yaca, la guayaba y la chirimoya (Jain & Häggman, 2007; Bapat *et al.*, 2020; Penna & Jain, 2023).

1.2.5.5. Los marcadores moleculares en la investigación y mejora de frutas tropicales. Los marcadores moleculares, segmentos de ADN asociados con una ubicación determinada en el genoma, son una herramienta esencial en la investigación de frutas tropicales, con un papel crítico en la diversidad genética, la resistencia a enfermedades, la mejora de la calidad y el mapeo del genoma (Tamura *et al.*, 2021). Su aplicación en la mejora de las características de los árboles frutales tropicales ha permitido superar desafíos como las largas fases juveniles, los ciclos generacionales y la heterocigosis, entre otros factores (Mathiazhagan *et al.*, 2021).

Estos marcadores han facilitado la identificación de poblaciones genéticas distintas y la exploración de las bases genéticas de rasgos específicos, lo que ha permitido guiar programas de mejoramiento y esfuerzos de conservación. Además, han sido instrumentales en la investigación de resistencia a enfermedades, permitiendo la identificación rápida y precisa de individuos con rasgos de resistencia deseados (Tamura *et al.*, 2021). Los marcadores moleculares también han contribuido a la mejora de la calidad, particularmente en rasgos como el tamaño, color, sabor y vida útil de la fruta, claves para la aceptación del mercado y la preferencia del consumidor. Esto ha sido posible gracias a la selección asistida por marcadores, que ha llevado al desarrollo de nuevas variedades con rasgos de calidad mejorados (Tamura *et al.*, 2021).

En la investigación genómica, los marcadores moleculares proporcionan una representación visual de la ubicación de genes y marcadores en los cromosomas de un organismo, proporcionando herramientas esenciales para guiar programas de mejoramiento (Tamura *et al.*, 2021). Además, los marcadores moleculares han demostrado ser esenciales para el estudio y manejo de árboles frutales indígenas, proporcionando información valiosa para su uso y conservación sostenibles, y ofreciendo una visión única para entender la domesticación pasada y futura (Jamnadass *et al.*, 2009).

1.2.5.6. Transformación genética y edición del genoma en la investigación de frutas tropicales. Un entendimiento profundo de la maduración de la fruta a nivel molecular y bioquímico ha allanado el camino para las modificaciones genéticas. Herramientas de ingeniería genética, como la interferencia de ARN (ARNi), CRISPR (Repetición Palindrómica Corta Agrupada Regularmente Espaciada) y la tecnología de ARN antisentido, se han empleado para producir cultivos con mejoras en la calidad de la fruta y una vida útil prolongada. En este contexto, el enfoque más prometedor para mejorar la calidad de los cultivos de frutas tropicales es el uso de estrategias genómicas.

La transformación genética implica la introducción de nuevas características en las plantas mediante la manipulación directa de su ADN (Chen *et al.*, 2019). Esta técnica ha sido fundamental en programas de mejora de cultivos en todo el mundo, incluyendo frutas tropicales como el mango, la papaya y el aguacate (Gonsalves *et al.*, 2010; Bohra *et al.*, 2020). La transformación genética se utilizó para desarrollar papayas resistentes al virus del anillo de la papaya, salvando efectivamente la industria de la papaya en Hawái de la devastación (Plencovich, 2012).

Aunque la transformación genética ha demostrado ser efectiva, genera preocupaciones sobre posibles efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente. Mitigar estos riesgos implica regulaciones cuidadosas y evaluaciones de seguridad (Eckerstorfer *et al.*, 2019). Además, métodos más recientes como la edición del genoma ofrecen formas más precisas de modificar los genomas de las plantas sin introducir secuencias de ADN exógenas (Baltes *et al.*, 2015).

CRISPR/Cas9, una herramienta de edición de genomas que permite modificar secuencias de ADN de forma específica y eficiente, ha ganado recientemente popularidad entre los investigadores de frutas tropicales (Haque *et al.*, 2018; Kaur *et al.*, 2020). Esta tecnología se basa en un sistema de defensa natural que tienen las bacterias y arqueas contra los virus. El sistema consiste en dos componentes principales: una secuencia de ARN guía (sgRNA) que reconoce la región del genoma que se quiere editar, y una proteína nucleasa (Cas9) que corta el ADN en ese sitio. Al provocar un corte en el ADN, se activan los mecanismos de reparación celular, que pueden introducir cambios en la secuencia original o incorporar un fragmento de ADN exógeno (Hernández-Sánchez, 2021; Melendez-Zajgla *et al.*, 2021).

El desarrollo de frutas tropicales resistentes a enfermedades causadas por patógenos como hongos y bacterias es una de las aplicaciones destacadas de la tecnología CRISPR/Cas9 (Fang & Tyler,

2016). Al aprovechar las capacidades de CRISPR/Cas9, es posible introducir modificaciones genéticas específicas que otorguen resistencia a los agentes patógenos, sin comprometer otras características deseables de las frutas. Por ejemplo, es factible la edición de genes que codifiquen proteínas antimicrobianas o la inactivación de genes que faciliten la infección o la transmisión de los patógenos (Samanta *et al.*, 2016).

Investigadores han optimizado el sistema de edición genómica CRISPR/Cas9 para mejorar su eficiencia en plátanos, una especie que tradicionalmente ha sido difícil de modificar debido a su naturaleza triploide y baja eficiencia de edición genómica. Mediante el uso del promotor endógeno U6 y una versión optimizada del gen Cas9 específica para plátanos, lograron aumentar cuatro veces la eficiencia de mutación en comparación con métodos anteriores (S. Zhang *et al.*, 2022). La tecnología CRISPR/Cas9 ha sido empleada con éxito en la edición del gen fitoeno desaturasa en *Carica papaya* L., con el fin de inducir un fenotipo albino en el tejido modificado. Este protocolo representa un paso inicial prometedor en el uso de CRISPR/Cas9 para investigaciones genéticas y la mejora del cultivo de papaya (Brewer & Chambers, 2022). También se usó para crear una variante con un inhibidor funcional de cisteína proteasa (PpalEPIC8), resistente al patógeno *Phytophthora palmivora*, un patógeno oomiceto destructivo (Zaidi *et al.*, 2020).

1.2.5.7. Influencia de los factores ambientales en la calidad de los frutos tropicales. La calidad de los frutos tropicales también está influenciada por diversos factores ambientales como la radiación, temperatura y lluvia (Tisné *et al.*, 2020), lo que hace que el momento y la temporada en que se cosechan sean cruciales para asegurar una buena calidad. Los frutos climatéricos deben ser cosechados al alcanzar la madurez fisiológica, mientras que los no climatéricos se recolectan casi en su punto de madurez comercial, ya que suelen madurar poco una vez cosechados. El mercado ejerce presión sobre los productores para cosechar en temporada baja y así obtener precios más remunerativos, pero una cosecha prematura puede ocasionar problemas en la maduración, mientras que una cosecha tardía puede llevar a un ablandamiento excesivo del fruto (Tyagi *et al.*, 2017).

La temperatura es un factor crítico en el desarrollo de los cultivos frutales, ya que las diferentes especies requieren de temperaturas específicas para lograr un desarrollo óptimo en parámetros de rendimiento y calidad (Tyagi *et al.*, 2017). La variación de la temperatura afecta a la fotosíntesis, respiración, hidratación, estabilidad de las membranas y niveles hormonales de las plantas

(Chaikiattiyos *et al.*, 1994). Las altas temperaturas aceleran el metabolismo de los frutos aumentando la respiración, la transpiración y la velocidad de las reacciones bioquímicas catalizadas por diferentes enzimas. En algunos cultivos como las uvas y las manzanas, esto se traduce en un mayor contenido de azúcar y menor contenido de ácido a altas temperaturas (Wurr *et al.*, 1996), mientras que otros como el kiwi maduran antes a altas temperaturas en comparación con el comportamiento a bajas temperaturas (Campi *et al.*, 1997). Por otro lado, algunas especies necesitan bajas temperaturas para la fijación de los frutos. La vida útil de los frutos recolectados en temporada de invierno suele ser mayor en comparación con los recolectados en otras temporadas. Se recomienda cosechar los frutos temprano por la mañana cuando las temperaturas son más bajas, ya que temperaturas más altas aumentan la respiración y la tasa de maduración de los frutos (Tyagi *et al.*, 2017).

La radiación solar y la densidad de siembra son factores críticos para alcanzar una producción óptima de fruta. La exposición a la radiación solar está vinculada a cambios en la composición y capacidad antioxidante de la fruta, mientras que la densidad de siembra afecta la disponibilidad de radiación solar, elemento crucial en la fotosíntesis y, finalmente, en la acumulación de carbohidratos. La exposición de las frutas a la radiación solar se asocia con cambios en su composición y capacidad antioxidante, lo que resulta en una mayor acumulación de fenoles y vitamina C en el lado expuesto al sol (Lee & Kader, 2000). Investigaciones realizadas en aguacate han demostrado que los frutos expuestos al sol contienen mayor cantidad de materia seca y niveles más altos de calcio, magnesio y aceite que los frutos desarrollados bajo la sombra (Woolf *et al.*, 1999). Por lo tanto, mantener una densidad vegetativa adecuada para aprovechar al máximo la radiación solar disponible es esencial para lograr una producción óptima de fruta.

La calidad de la fruta en la producción comercial está fuertemente influenciada por la nutrición del suelo, la cual afecta el color, la textura, la susceptibilidad a enfermedades, la composición y el desarrollo de trastornos fisiológicos de la fruta. Aunque una mayor humedad del suelo y nutrientes generalmente mejoran la calidad de la fruta, los niveles que producen el máximo rendimiento no siempre coinciden con aquellos que resultan en frutos de mayor calidad. El uso inadecuado de fertilizantes puede aumentar la probabilidad de trastornos fisiológicos debido a deficiencias de algunos nutrientes o toxicidad por exceso de otros (Ritenour *et al.*, 2003). Ante esta situación, es importante considerar el uso de abonos orgánicos y biodinámicos. La agricultura orgánica es una

alternativa sustentable que permite satisfacer la creciente demanda de los consumidores por fruta de calidad (Stockdale *et al.*, 2001).

El suministro de agua a la planta influye en la composición de las frutas cosechadas (Tyagi *et al.*, 2017). En muchas áreas de producción de frutos tropicales, el estrés hídrico es una preocupación importante debido a la falta de riego. El estrés hídrico no solo disminuye la productividad del cultivo, sino que también acelera la maduración de la fruta y afecta su capacidad nutricional y antioxidante (Mirás-Avalos *et al.*, 2013). Por otro lado, los frutos sometidos a periodos prolongados de lluvia son más susceptibles a agrietarse y dañarse durante su manejo y transporte (Khadivi-Khub, 2015). Se desaconseja cosechar frutos durante o inmediatamente después de las lluvias, ya que estas condiciones favorecen la proliferación de microorganismos. Comparadas con frutas cosechadas en otras épocas del año, las frutas cosechadas en temporada de lluvias pueden ser ásperas, insípidas y de menor calidad, además de ser más vulnerables a los ataques de diversas plagas y patógenos (Tyagi *et al.*, 2017).

1.2.5.8. Relación entre el manejo del cultivo y la calidad de la fruta. El manejo del cultivo influye notablemente en la calidad final de los frutos. Los portainjertos se utilizan para influir en la precocidad, el tamaño del árbol, la calidad del fruto, la eficiencia del rendimiento, la absorción de minerales y su resistencia a condiciones ambientales adversas. Los efectos del uso de portainjertos son evidentes en el desarrollo de la firmeza, el peso y la composición bioquímica del fruto (Gonçalves *et al.*, 2006). La poda es una estrategia que reduce la competencia y promueve un equilibrio adecuado entre frutas y partes vegetativas, lo que resulta en un mejor rendimiento y calidad. Al reducir el tamaño del árbol y la cantidad de brotes vegetativos, se mejora la translocación nutricional, aumenta el desarrollo de nuevos brotes y se modifican las condiciones hormonales. Los frutos de árboles podados suelen tener un mayor contenido de sólidos solubles totales (Asrey *et al.*, 2013). El uso de envoltorios antes de la cosecha protege la fruta del ataque de plagas y contribuye a preservar su calidad.

1.2.5.9. Relación entre tamaño de la fruta, firmeza y uso de reguladores de crecimiento en la producción de frutos tropicales. El desarrollo de frutos carnosos comprende cuatro etapas

esenciales: desarrollo floral, división celular, expansión celular y maduración (Coombe, 1976; Pua & Davey, 2010). El desarrollo floral es la primera etapa que abarca desde la iniciación floral hasta la antesis, donde se determina la identidad, número y forma de los órganos florales. La división celular, que comienza con la fertilización, representa la segunda etapa. La tercera etapa es la expansión celular, en la cual ocurren múltiples rondas de endoreduplicación y rápida expansión de células hasta el inicio de la maduración. Por último, la maduración es la cuarta etapa, que se inicia después de que el crecimiento del fruto ha finalizado y se caracteriza por cambios bioquímicos y estructurales rápidos (Pua & Davey, 2010). Estas etapas son reguladas por redes complejas de transcripción que incluyen una multitud de genes y factores de transcripción, entre los que destacan los genes de la caja MADS, genes NAC, genes bHLH y genes AP2/ERF (Karlova *et al.*, 2014).

El crecimiento de frutas tropicales, dependiendo de la especie y el cultivar, puede seguir una curva sigmoide simple o doble. La curva sigmoide simple se observa en frutas como manzanas, peras, plátanos, piñas, aguacates, naranjas y mangos, e incluye una fase inicial lenta, seguida de una etapa acelerada y luego una fase final lenta. Por otro lado, la curva sigmoide doble, evidente en frutas como la guanábana, fresas, café, ciruelas, cerezas, grosellas y frambuesas, consta de dos etapas aceleradas de crecimiento separadas por una fase intermedia o meseta. Este periodo de desaceleración puede estar asociado con factores ambientales o fisiológicos, con la transición de la división celular a la expansión celular, o puede coincidir con la etapa de desarrollo de las semillas, un proceso crítico para la maduración del fruto (Pei *et al.*, 2020; Fernandes *et al.*, 2017).

El tamaño final de una fruta está influenciado por la incorporación de agua, que depende del balance entre la absorción por el xilema y la pérdida por transpiración (Winkler *et al.*, 2020). Aumentar el suministro o la capacidad de absorción de carbohidratos puede aumentar el tamaño del fruto (Song *et al.*, 2018), y la aplicación de reguladores del crecimiento al comenzar la fase de expansión celular puede incrementar la demanda y acumulación de carbohidratos en el fruto (Winkler *et al.*, 2020).

Los reguladores del crecimiento de las plantas juegan un papel crucial en la producción de frutas. El ácido abscísico, las auxinas, las citoquininas, el etileno y las giberelinas son los cinco grupos principales de reguladores del crecimiento sintetizados endógenamente por las plantas e influyen en el crecimiento y desarrollo de las mismas. Estas hormonas vegetales pueden interactuar entre sí y regular diversos procesos fisiológicos y metabólicos en las plantas (Razmia Sabahat & Alvina, 2023). Pueden afectar indirectamente el tamaño, apariencia y parámetros de calidad de las frutas

al influir en el crecimiento y desarrollo del cultivo, o directamente al sincronizar la floración, favorecer la fructificación, disminuir la caída de frutos y control de la cantidad de flores y frutos jóvenes (Kannan *et al.*, 2009).

En ocasiones es conveniente suministrar reguladores de crecimiento de manera exógena ya que, al aplicarlos en concentraciones adecuadas, estos compuestos contribuyen al crecimiento y desarrollo de la fruta y han demostrado ser efectivos para estimular diversos parámetros de rendimiento y calidad. Cada regulador del crecimiento tiene diferentes efectos sobre el desarrollo y la maduración de los frutos, dependiendo del tipo, concentración, momento y método de aplicación. En consecuencia, su uso proporciona una ventaja económica significativa para los productores (Wan Zaliha *et al.*, 2016).

Algunas de las ventajas de usar reguladores del crecimiento en la producción de frutas tropicales son:

- Aumento del cuajado y retención de frutos: los reguladores del crecimiento estimulan la iniciación floral, inducen la partenocarpia, previenen la caída de frutos y mejoran la retención de frutos. Las auxinas y las citoquininas aumentan el cuajado y la retención de frutos en mango, papaya, guayaba y cítricos (Katel *et al.*, 2022; Komaljeet *et al.*, 2023; Ghosh *et al.*, 2022).
- Mejora del tamaño y forma de los frutos: los reguladores del crecimiento promueven la división y expansión celular, lo que resulta en frutos más grandes y uniformes. Las giberelinas pueden aumentar el tamaño y mejorar la forma de la piña, el plátano, el kiwi, las uvas y el aguacate (Komaljeet *et al.*, 2023; McCartney, 2019; Ghosh *et al.*, 2022).
- Mejora de la firmeza y calidad de los frutos: los reguladores del crecimiento retrasan el ablandamiento de los frutos, mantienen la integridad de la pared celular, aumentan la presión de turgencia y mejoran el desarrollo del color. Se puede aumentar la firmeza y la calidad del melocotón, la manzana, la pera, la cereza y la fresa aplicando giberelinas y el ácido salicílico (Komaljeet *et al.*, 2023; Ghosh *et al.*, 2022).
- Control de la maduración y senescencia de los frutos: los reguladores del crecimiento regulan la producción y acción del etileno, una hormona vegetal gaseosa clave en la maduración y senescencia de los frutos. El etileno puede acelerar la maduración e inducir la abscisión de los frutos climatéricos como el mango, el plátano, la papaya y el aguacate, mientras que los inhibidores de la síntesis o acción del etileno pueden retrasar la maduración y prolongar la

vida útil de los frutos no climatéricos como los cítricos, la piña, las uvas y la fresa (Komaljeet *et al.*, 2023; Harsimrat & Kaur, 2020; McCartney, 2019).

En resumen, los reguladores del crecimiento son herramientas útiles para manipular el tamaño, la firmeza y la calidad de los frutos tropicales. Sin embargo, su uso debe estar basado en conocimientos científicos sobre su efecto en diferentes cultivos y variedades, y debe tener en cuenta los posibles impactos ambientales y sanitarios.

#### 1.2.5.10. Fisiología poscosecha de la fruta tropical.

La investigación de la fisiología poscosecha de las frutas tropicales busca comprender las complejidades de la maduración, almacenamiento y manejo de estas frutas para optimizar su vida útil y calidad. Durante la poscosecha los frutos maduran y senescen, lo que involucra un gran número de procesos fisicoquímicos (Torres *et al.*, 2013), que incluyen la síntesis de nuevas proteínas, ARNm, pigmentos y componentes de sabor; procesos que requieren energía y esqueletos carbonados proporcionados a través de la respiración (Hernández *et al.*, 2010). Después de la cosecha las frutas tropicales exhiben comportamientos similares a las de climas templados y subtropicales, como la pérdida de firmeza, la maduración inducida por etileno, la vulnerabilidad a microbios y la eventual muerte, aunque son más sensibles al frío (Siriphanich, 2002).

1.2.5.11. Cambios en la maduración: color, textura y sabor. La maduración de los frutos tropicales es un proceso complejo por el cual los frutos adquieren las características organolépticas y nutricionales que los hacen aptos para el consumo. La maduración implica cambios bioquímicos y fisiológicos en los frutos, como el ablandamiento del tejido, el cambio de color de la piel y la pulpa, la acumulación de azúcares y ácidos orgánicos, la disminución del contenido de almidón y ácido ascórbico, la síntesis de aromas y la liberación de etileno.

El color del exocarpo suele cambiar de verde a amarillo, naranja o rojo, debido a la degradación de clorofila y la síntesis de cromoplastos, carotenoides y/o antocianinas (Bruhn, 2007; Shahab *et al.*, 2019). En frutos como la papaya, el plátano y el mango se utiliza el color de su exocarpo como indicador para determinar la madurez adecuada para el momento de consumo antes de que se ablanden en exceso. El color es la característica externa más importante para determinar el estado

de maduración de estas frutas y un factor determinante en la decisión de compra por parte del consumidor (Torres *et al.*, 2013).

La textura de los frutos tiende a cambiar de firme a suave, debido en parte a la solubilización y despolimerización de los polisacáridos de la pared celular, como resultado de la acción combinada de varias enzimas modificadoras de la pared celular, que actúan en fracciones pécticas y hemicelulósicas (Goulao & Oliveira, 2008). Además, se ha descubierto recientemente que la cutícula participa en el proceso de ablandamiento del fruto (Lara *et al.*, 2019). El rol de la cutícula en el desarrollo, maduración y poscosecha de los frutos se discute más a detalle en la siguiente sección.

El sabor de los frutos suele cambiar de astringente y agrio a dulce y aromático debido a la alteración de su composición química. Su contenido de azúcar aumenta debido a la degradación de almidón en aquellas frutas que lo acumulan durante su desarrollo (Zhu *et al.*, 2021). La acidez generalmente disminuye, excepto en la senescencia de algunas frutas como el plátano (Siriphanich, 2002). Al igual que en frutas de climas templados, el contenido fenólico de los frutos tropicales disminuye en asociación con la pérdida de astringencia y, debido a la síntesis de nuevos compuestos volátiles, desprenden un aroma característico de la fruta madura (Taiti *et al.*, 2015).

Aunque el patrón de los cambios es similar entre frutos de diferentes especies, los tiempos, clase y cantidad de compuestos químicos que producen son bastante distintos (Siriphanich, 2002). Los principales parámetros para evaluar la calidad de las frutas son el peso, el contenido de sólidos solubles, la acidez titulable, el pH, color y firmeza. Las mediciones se realizan con equipos y procedimientos especializados y personal entrenado, lo cual genera altos costos de análisis. Sin embargo, estos parámetros pueden relacionarse con atributos o propiedades organolépticas fáciles de medir que no impliquen análisis destructivos, como el color (Torres *et al.*, 2013).

1.2.5.12. Respiración y producción de etileno en frutas tropicales. El oxígeno disuelto en los tejidos de las plantas es uno de los factores ambientales más importantes dado el impacto significativo en su capacidad de sobrevivir (Benkeblia, 2021). Los frutos frescos se componen de tejidos vivos que respiran incluso después de ser cosechados. La respiración es un proceso metabólico fundamental que ocurre en todos los organismos vivos, incluyendo las frutas carnosas tropicales. Es el proceso por el cual los frutos tropicales obtienen energía a partir de la oxidación de compuestos orgánicos

como los azúcares. La respiración consume oxígeno y libera dióxido de carbono, agua y energía. La tasa respiratoria varía según el tipo de fruto, el estado de madurez y las condiciones ambientales (Kader & Yahia, 2011). Los frutos tropicales se clasifican según su comportamiento respiratorio en climatéricos y no climatéricos. Los frutos climatéricos son aquellos que presentan un aumento marcado de la respiración y la producción de etileno durante la maduración, como la guanábana, el mango, la papaya y el kiwi (Paul *et al.*, 2012). Los frutos no climatéricos son aquellos que mantienen una tasa respiratoria baja y constante durante la maduración, como la piña y el maracuyá (Indiarto, 2020).

La biosíntesis del etileno, una hormona vegetal esencial en la maduración de las frutas tropicales, es un proceso complejo que regula diversos procesos fisiológicos durante este proceso. El etileno se produce en los tejidos vegetales a partir del aminoácido metionina, y su producción se incrementa durante el estrés mecánico, térmico o biótico. El etileno actúa como un autoinductor, es decir, estimula su propia síntesis y la de otros compuestos relacionados con la maduración. El etileno también puede ser aplicado exógenamente para inducir o acelerar la maduración de los frutos. Para entender el proceso de maduración es crucial considerar los índices de velocidad de respiración y de producción de etileno (Mubarok *et al.*, 2022).

1.2.5.13. Factores que influyen en la respiración de los frutos. La respiración aeróbica es un indicador de la tasa metabólica de las frutas tropicales. Generalmente, tasas de respiración bajas conducen a una vida útil más larga, mientras que tasas de respiración altas conducen a una vida útil corta (Bovi & Herppich, 2021; Diaz Rodríguez & Avila de-Hernández, 2021). Las frutas tropicales carnosas naturalmente tienen tasas de respiración altas a muy altas que generan emisión de calor a temperatura ambiente (Kusumaningrum *et al.*, 2015). Considerar esta propiedad es necesario para su manejo después de la cosecha, ya que influye significativamente en su calidad y vida útil.

Contar con un conocimiento profundo de los factores que impactan en su proceso respiratorio es fundamental para desarrollar estrategias de manejo poscosecha efectivas. En el contexto de las frutas carnosas tropicales, diversos factores inciden en las tasas de respiración y, por ende, en los requisitos de almacenamiento. A continuación, se mencionan algunos de estos factores:

- El estado de madurez de la fruta al momento de la cosecha es un factor clave que afecta su tasa de respiración. Las frutas cosechadas en el punto óptimo de madurez presentan tasas de

respiración adecuadas, mientras que aquellas demasiado maduras o poco maduras pueden experimentar patrones de respiración alterados, acelerando la senescencia y reduciendo su vida útil (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2003).

- La temperatura es un factor crítico que afecta la respiración de las frutas tropicales carnosas de varias maneras. Las temperaturas altas se traducen en tasas de respiración incrementadas, acelerando los procesos metabólicos y resultando en un deterioro rápido de la fruta. Por otro lado, las temperaturas bajas son eficaces para disminuir las actividades catalíticas de la respiración, retrasando así los procesos de maduración y senescencia (Rahmadhanni *et al.*, 2020). El factor que más impacta el índice de respiración es la temperatura. Se estima que, por cada 10°C de aumento de temperatura, las reacciones metabólicas de la respiración aumentan por un factor de 2 (Siddiq *et al.*, 2012). Las frutas tropicales y subtropicales deben almacenarse a temperaturas más altas que frutas de climas templados (7-15°C) para evitar pérdidas debido al desarrollo de síntomas de daño por frío, que pueden manifestarse como alteraciones del metabolismo de carbohidratos, ácidos orgánicos, aminoácidos y lípidos (Brizzolara *et al.*, 2020). Por ende, es fundamental gestionar la temperatura adecuadamente durante el almacenamiento para controlar la respiración de la fruta y preservar su calidad.
- La composición gaseosa que rodea la fruta, en particular los niveles de oxígeno y dióxido de carbono, incide directamente en su tasa de respiración. Al respirar, las frutas consumen oxígeno y producen dióxido de carbono. Altos niveles de dióxido de carbono y bajos niveles de oxígeno pueden dar lugar a una respiración anaeróbica que afecta negativamente la calidad y vida útil de la fruta (Benkeblia, 2021).
- Debido a la sensibilidad al etileno comúnmente presente en las frutas tropicales carnosas, su tasa de respiración aumenta en respuesta al etileno, acelerando así el proceso de maduración. Por lo tanto, es fundamental controlar los niveles de etileno para prevenir una maduración prematura y prolongar la vida útil de la fruta (J. Zhang *et al.*, 2017).
- El tamaño y la superficie de una fruta influyen en su tasa de respiración. Las frutas grandes, debido a su mayor actividad metabólica, tienden a respirar más rápidamente que las pequeñas. La proporción de superficie a volumen de una fruta está directamente relacionada con su tasa de respiración. Una mayor disponibilidad de superficie para el intercambio de gases se traduce en tasas de respiración más elevadas (Van der Veen, 2016).

- La pérdida de agua a través de la transpiración puede tener un impacto en la respiración de la fruta. La deshidratación de la fruta intensifica su actividad metabólica y acelera su senescencia. Por lo tanto, mantener niveles adecuados de humedad es esencial para minimizar la pérdida de agua y controlar la respiración de la fruta (Bovi & Herppich, 2021).
- Los efectos de los factores agroambientales, como el suministro de agua, la nutrición mineral y la temperatura, influyen en la acumulación de compuestos como ácido cítrico y málico en las células de la fruta, lo cual a su vez afecta las tasas de respiración (Etienne *et al.*, 2013).
- El daño mecánico puede aumentar el metabolismo de las especies reactivas de oxígeno (ROS) y causar estrés oxidativo, lo cual contribuye a la pérdida de calidad en frutas climatéricas y no climatéricas (Corpas *et al.*, 2023). Además, en frutas climatéricas como la guanábana, plátano, papaya y tomate, puede acelerar la maduración al inducir la producción de etileno, resultando en un mayor deterioro y pérdida de calidad.
- Algunas frutas conservan su color verde incluso cuando están maduras, lo cual les permite realizar la fotosíntesis y convertir la luz solar en energía. Esta capacidad les proporciona una ventaja al compensar la energía utilizada en la respiración, especialmente en condiciones de alta luminosidad donde la fotosíntesis es más eficiente. Las frutas que pueden llevar a cabo la fotosíntesis tienen una mayor capacidad para producir energía y mantener su contenido de nutrientes, especialmente cuando son de gran tamaño o requieren recursos significativos para su desarrollo, como la guanábana (Cipollini & Levey, 1991).

Es importante tener en cuenta que los factores específicos que influyen en la respiración de la fruta pueden variar entre diferentes variedades de frutas carnosas tropicales. Comprender las características de respiración únicas de cada fruta es crucial para implementar prácticas efectivas de manejo poscosecha. Al considerar y manejar estos factores, es posible desarrollar estrategias efectivas para prolongar la vida útil de las frutas carnosas tropicales y garantizar su calidad óptima para los consumidores.

La reducción de los niveles de oxígeno provoca hipoxia o anoxia en las frutas tropicales y puede tener diversos efectos en las frutas tropicales. La respiración ocurre a un ritmo más lento en condiciones de reducción de oxígeno. Una menor tasa de respiración puede ayudar a prolongar la vida útil de las frutas al ralentizar los procesos metabólicos (Benkeblia, 2021). La síntesis y la sensibilidad al etileno pueden disminuir en condiciones de privación de oxígeno, lo que resulta en un retraso en la maduración de las frutas al inhibir la producción climatérica de etileno. De esta

manera, los tratamientos de hipoxia/anoxia pueden ayudar a mantener la calidad de las frutas y retrasar la senescencia (Palma *et al.*, 1993; El-Mir *et al.*, 2001; Benkeblia, 2021). Las frutas tropicales ajustan su metabolismo para adaptarse a entornos de bajo oxígeno. Estas condiciones estimulan la glucólisis fermentativa para generar ATP en ausencia de respiración mitocondrial. La hipoxia también puede afectar el catabolismo de azúcares, la fermentación, la glucólisis y el metabolismo de los principales aminoácidos (Venkatram *et al.*, 2016; Benkeblia, 2021). Finalmente, la hipoxia/anoxia puede mejorar atributos de calidad de ciertas frutas tropicales, como la preservación de la firmeza en frutas como el aguacate (El-Mir *et al.*, 2001), litchi (H. Liu *et al.*, 2007) y mango (Piranan *et al.*, 2016), o la reducción del contenido de taninos solubles responsables de la astringencia en pèrsimo (Min *et al.*, 2014).

Los efectos específicos de la reducción de los niveles de oxígeno pueden variar según el tipo de fruta, la duración del tratamiento, los niveles de oxígeno y otros factores (Benkeblia, 2021). Se necesita más investigación para comprender completamente las respuestas fisiológicas y bioquímicas de las diferentes frutas tropicales a la privación de oxígeno.

1.2.5.14. El etileno y su impacto en la maduración. El etileno es una fitohormona que induce la maduración de los frutos a nivel fisiológico, molecular y bioquímico (Liu *et al.*, 2015). La participación del etileno en la maduración de la fruta se reportó hace mucho tiempo (Burg & Burg, 1965), y desde entonces, se han acumulado numerosas evidencias directas que demuestran que el etileno participa en la maduración de la fruta. La alteración del etileno a nivel de su biosíntesis, percepción, transducción de señales o transcripción de genes afecta la maduración de la fruta (Lee *et al.*, 2012; Liu *et al.*, 2015). Actualmente, el paradigma de que el etileno es la primera señal que induce la maduración de frutas está siendo cuestionado por el Dr. Tiznado, y su equipo, quienes proponen que la señal inicial proviene de la cutícula del fruto (Hernández Oñate *et al.*, 2023).

Según el modelo aceptado actualmente, la biosíntesis del etileno está mediada por dos sistemas diferentes durante el desarrollo y la maduración de la fruta. En las etapas inmaduras, la biosíntesis del etileno está mediada por el sistema 1, mientras que en las etapas maduras, está mediada por el sistema 2 (M. Liu *et al.*, 2015).

La biosíntesis del etileno está regulada por una compleja red de regulación transcripcional. La regulación de la biosíntesis del etileno implica la interacción de múltiples factores de transcripción y vías de señalización (Liu *et al.*, 2015).

la señalización del etileno se basa en una vía de transducción lineal en la que la hormona es percibida por un receptor específico, que inicia una cascada de señalización al liberar el bloqueo que ejerce CTR1 sobre EIN2. Esto activa una cascada transcripcional, que involucra a EIN3/EIL1 como el principal factor de transcripción y luego a los ERF, que a su vez regulan los genes que controlan los rasgos relacionados con la maduración, como el color, la firmeza, el aroma, el sabor y la vida útil poscosecha (Ju *et al.*, 2012; Chang *et al.*, 2013). Se ha reconocido ampliamente que el ABA regula la biosíntesis y señalización del etileno durante la maduración de la fruta. El mecanismo molecular subyacente en la interacción entre el ABA y el etileno en la maduración de la fruta es complejo e involucra múltiples vías de señalización (Mou *et al.*, 2016).

Por lo tanto, cualquier alteración en la biosíntesis, percepción o transcripción genética del etileno impacta el proceso de maduración. En frutos climatéricos, el momento de máxima velocidad de respiración puede o no coincidir con la máxima producción de etileno. Conocer cómo se comporta cada variedad tiene importantes aplicaciones comerciales, tanto para el cálculo del calor generado y capacidad de enfriamiento necesaria, como para el manejo de cargas mixtas. Para mejorar el manejo de los frutos tropicales debe considerarse la sensibilidad al etileno que posea cada variedad. Dada su susceptibilidad a sufrir daño por frío, muchos frutos tropicales deben almacenarse a temperaturas relativamente altas que inducen la madurez y esto puede intensificarse por el aumento en la producción de etileno. Por lo tanto, es esencial conocer el grado de sensibilidad al etileno de cada variedad (Siriphanich, 2002).

1.2.5.15. Cutícula de los frutos. Las partes aéreas de las plantas incluyendo sus frutos están cubiertas por una delgada capa lipídica hidrófoba extracelular que las protege llamada cutícula. La cutícula actúa como interfaz entre los tejidos vivos y las condiciones bióticas y abióticas del entorno, desempeñando un papel crucial en el crecimiento y desarrollo de órganos vegetales, regulando su estado hídrico y protegiéndolos de diversas fuentes de estrés (Rose *et al.*, 2013). En las últimas décadas, la cutícula ha ganado interés como objeto de estudio debido que cada vez se acumulan más datos que demuestran su función en la regulación de la vida de anaquel de los frutos,

al controlar fenómenos como la transpiración, firmeza y susceptibilidad a pudriciones e infecciones (Lara *et al.*, 2019).

1.2.5.16. Funciones de la cutícula. La cutícula reduce la permeabilidad de las superficies vegetales, previniendo así la pérdida de agua por transpiración e influye en el intercambio de gases. Desempeña un papel clave en el control del intercambio de gases y agua durante el desarrollo, crecimiento y maduración de la fruta, y modula aspectos como el peso, la firmeza, la susceptibilidad a rajaduras y la vida útil de las frutas (Martin & Rose, 2014). También disminuye en la filtración de la luz ultravioleta potencialmente dañina, en la diferenciación de órganos y en el mantenimiento de la palatabilidad y calidad (Martin & Rose, 2014).

Además de regular el estado hídrico de las plantas, la cutícula cumple diversas funciones de protección, actuando como la primera barrera contra el ataque de insectos y microorganismos patógenos, y evitando la acumulación de polvo y esporas fúngicas mediante un mecanismo de autolimpieza. Esto se logra a través de la estructura y el arreglo de los cristales de ceras que forman bolsas de aire que impiden la adhesión de partículas, así como mecanismos de señalización y resistencia mecánicos y químicos (Schreiber, 2010; Lara *et al.*, 2019; Tafolla-Arellano *et al.*, 2018). La locomoción de los insectos, la alimentación de las larvas y la adherencia de sus huevos pueden verse fuertemente inhibidas dependiendo de la composición y estructura de las ceras epicuticulares (Schaller, 2012; Müller, 2012). La identificación de las moléculas para las cuales las cutículas potencialmente actúan como filtros moleculares es un desafío importante (Ingram & Nawrath, 2017).

1.2.5.17. Composición y estructura de la cutícula. La cutícula puede dividirse en dos capas: la primera es un polímero de poliéster y cera, formando una matriz lipídica denominada cutina, el componente principal, y las ceras cuticulares, mezclas complejas de compuestos lipídicos de cadena muy larga (> 22 átomos de carbono), como ácidos grasos, alcanos, alquenos, alcoholes grasos y fenoles (Rose *et al.*, 2013). La cutina es un polímero heterogéneo de ácidos grasos hidroxilados de cadena larga (16-18 átomos de carbono) entrelazados con polisacáridos de la pared celular de la epidermis, forma un entramado que proporciona rigidez y da soporte a las ceras

cuticulares (Kallio *et al.*, 2006; Heredia, 2003; Petit Jiménez *et al.*, 2009). Según su ubicación en la cutina, las ceras se clasifican como epicuticulares (depositadas sobre la cutina) o intracuticulares (embebidas en la cutina) (Kunst & Samuels, 2003). Durante el crecimiento de la fruta, se producen cambios dinámicos en la composición de la cutina y ceras que involucran procesos de biosíntesis y remodelación (Martin & Rose, 2014).

1.2.5.18. Cambios en la cutícula durante la ontogenia de la fruta. La cutícula experimenta cambios durante la ontogenia de la fruta en términos de su composición, estructura, grosor, masa, ultraestructura y permeabilidad, y diferentes especies de frutas y variedades muestran patrones distintos en estos cambios. Estos cambios son influenciados por diversos factores, como señales de desarrollo, estímulos ambientales, interacciones hormonales y factores genéticos (Martin & Rose, 2014). Por ejemplo, en los tomates, el grosor de la cutícula aumenta durante el crecimiento de la fruta y disminuye durante la maduración, mientras que el contenido de cutina aumenta a lo largo del desarrollo de la fruta (Martin & Rose, 2014). En frutas de mango, el grosor y la masa de la cutícula aumentan durante el crecimiento de la fruta y disminuyen durante el almacenamiento, mientras que el contenido de cera epicuticular aumenta en todas las variedades durante el crecimiento de la fruta y muestra cambios durante el almacenamiento (Petit-Jiménez *et al.*, 2007). La cutícula de las frutas ha sido reconocida por su relevancia en el desarrollo y maduración, en el caso de los tomates, donde se le ha asociado con la durabilidad, almacenamiento y resistencia a la desecación y microorganismos. Investigaciones también han revelado que existe una relación genética entre la composición de la cutícula y los procesos de desarrollo de la fruta (Kosma *et al.*, 2010). En específico, estudios sobre la ultraestructura de la cutícula y la pared celular epidérmica en tomates han buscado describir cómo se producen cambios en estas estructuras a medida que la fruta se desarrolla (Segado *et al.*, 2016).

Los cambios en la cutícula durante la ontogenia de la fruta han sido objeto de investigación en varias especies de frutas tropicales y tienen importantes implicaciones para la fisiología y calidad de las mismas. Por ejemplo, el grosor y composición de la cutícula afectan la reflectancia de la luz y el color de las frutas (Martin & Rose, 2014). La ultraestructura de la cutícula determina la morfología y orientación cristalina de las ceras en la superficie de la fruta, lo que influye en el brillo y apariencia de las frutas (Petit-Jiménez *et al.*, 2007). Además, la cutícula modula las interacciones

entre las frutas y otros organismos, como patógenos, insectos y animales que actúan como dispersores de semillas (Martin & Rose, 2014).

En el caso específico del mango, se han observado modificaciones en la cutícula durante la ontogenia de diferentes variedades. Se ha encontrado que el grosor de la cutícula y la deposición de cera aumentan a medida que las frutas se desarrollan (Petit-Jimenez *et al.*, 2007). Mediante el análisis del transcriptoma de la piel de los frutos de mango, se logró identificar genes asociados a la cutícula y se obtuvo información relevante sobre la biosíntesis de este componente y su función en los procesos de desecación y postcosecha. Durante la sobre maduración, se observó una activación de la vía que conduce a la biosíntesis de la cutina, y estudios gravimétricos y microscópicos demostraron una deposición continua de cutícula durante el desarrollo de la fruta, la cual aumentó significativamente durante la maduración/sobremaduración (Tafolla-Arellano *et al.*, 2017). Estos hallazgos contribuyen a una mejor comprensión de la formación de la cutícula en el mango y otros frutos, lo que resulta relevante para el desarrollo de estrategias destinadas a mejorar la calidad y prolongar la vida útil de la fruta.

### **1.2.6. Fisiología de los Frutos de Guanábana**

La guanábana mexicana, especialmente en la región de Nayarit, se caracteriza por su heterogeneidad fenotípica y una notable variabilidad morfológica y bioquímica (Nolasco-González *et al.*, 2019). Los frutos, aun cuando provienen de la misma huerta productora, muestran variación significativa en rasgos como peso, tamaño, forma, longitud de espinas, sabor y contenido de sólidos solubles totales. Esta variabilidad genera una barrera para la homogenización de la producción, y los frutos exhiben un desarrollo heterogéneo en cuanto a floración, producción y susceptibilidad a plagas y enfermedades (Nolasco-González *et al.*, 2019). Estas diferencias representan una limitante significativa para satisfacer las demandas internacionales y plantean la necesidad de diseñar metodologías que aborden las causas subyacentes de la heterogeneidad, con el objetivo de lograr la producción de frutos más homogéneos.

Anteriormente, la diversidad de fenotipos de guanábana en México se atribuía a las vastas plantaciones de árboles propagados por semillas, lo que sugiere la existencia de un vasto recurso

genético aprovechable (Evangelista Lozano *et al.*, 2003; L. M. Hernández *et al.*, 2013; Ortiz López *et al.*, 2015; Villarreal-Fuentes *et al.*, 2020). Sin embargo, estudios recientes han arrojado una perspectiva diferente. El primer análisis molecular de guanábana en Compostela, Nayarit, reportó niveles bajos a moderados de diversidad genética mediante marcadores SRAP (Talamantes-Sandoval *et al.*, 2019). Además, mediante marcadores SSR y SRAP obtenidos del ADN genómico de hojas, Lira-Ortiz *et al.*, (2022) confirmaron la baja diversidad genética en los cultivos de guanábana en las zonas de Compostela, Tepic y San Blas, con una alta homocigocidad y baja diversidad genética dentro y entre las poblaciones de estas zonas productoras nayaritas. Por tanto, la diversidad de fenotipos parece estar más relacionada con aspectos ambientales y de manejo del cultivo que con la variabilidad genética. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar una variedad de factores en la comprensión y el manejo de este cultivo esencial en México.

La guanábana (*Annona muricata*) se distingue por su forma irregular, gran tamaño y cáscara delgada, que la hace particularmente vulnerable durante su desarrollo y poscosecha. Durante su ontogenia, este frágil fruto experimenta cambios significativos en rasgos como tamaño, color, firmeza y composición. Los estudios de Worrell *et al.*, (1994) y Coêlho de Lima & Alves (2011), han sido fundamentales en el avance del conocimiento sobre el desarrollo de los frutos de guanábana, centrándose especialmente en su patrón de crecimiento del tipo doble sigmoideal con tres etapas distintas.

Después de la fertilización la flor de guanábana pasa por una fase quiescente de entre 6 a 15 semanas caracterizada por el oscurecimiento de la parte superior del carpelo (Worrell *et al.*, 1994). La etapa inicial de crecimiento rápido comienza inmediatamente después del final de la quiescencia. El primer signo perceptible de actividad después de la dormancia conocido como amarre es un ligero hinchamiento en la base de la flor, a menudo acompañado de una pérdida de la coloración negra apical y la fisura del extremo distal de la flor. Durante esta etapa de alrededor de 7 semanas, el fruto de guanábana alcanza la mitad de su tamaño final y los hombros comienzan a desarrollarse alrededor del punto de unión del pedicelo (Worrell *et al.*, 1994). La segunda etapa se caracteriza por un período de crecimiento más lento de alrededor de 4 semanas que precede a la etapa final de crecimiento. Durante la última etapa de crecimiento, los frutos de guanábana crecen rápidamente hasta alcanzar su tamaño máximo (Worrell *et al.*, 1994), momento en que su madurez fisiológica se evidencia en la pérdida de rigidez de sus rudimentos estilares y el cambio en la tonalidad de la epidermis, pasando de un verde oscuro a un verde más claro (mate) (Jiménez-Zurita,

*et al.*, 2017). En este punto, los frutos están listos para la cosecha, ya que continuarán su proceso de maduración de forma independiente tras unos días a temperatura ambiente.

En Nayarit, transcurren alrededor de 114 días entre el amarre y la madurez fisiológica de los frutos de guanábana, un período similar a los tiempos reportados en otras partes del mundo ( Jiménez-Zurita *et al.*, 2022). Los principios que dictan en qué etapa de madurez deben ser cosechados son cruciales para su posterior almacenamiento, vida comercial y calidad. El contenido de azúcar y la acidez también son indicadores de la madurez de la guanábana. Borrero *et al.*, (1995) reportan que la guanábana en madurez fisiológica alcanza valores de 7.0 °Brix.

Después de la cosecha la guanábana se ablanda rápidamente, libera un aroma dulce y adquiere un intenso sabor agridulce, alcanzando la madurez de consumo poco después. A este proceso contribuyen la pérdida de peso por evapotranspiración y la abundante producción de etileno y enzimas que aceleran la degradación de la pared celular y provocan pardeamiento como la polifenoloxidasas y peroxidasa (Márquez Cardoso, 2009).

La calidad de los frutos de guanábana se define por una combinación de características físicas, químicas, nutricionales y sensoriales que determinan su aceptabilidad en el mercado y su valor comercial. Los parámetros que comúnmente se utilizan para evaluar la calidad de los frutos de guanábana incluyen, pero no se limitan a:

- La forma: se relaciona con la proporción entre la longitud y el diámetro del fruto, así como con la presencia o ausencia de protuberancias o espinas en la superficie. Los frutos de guanábana pueden ser redondos, ovalados, oblongos o en forma de corazón, y pueden presentar una superficie lisa o rugosa. Generalmente, los frutos con una superficie lisa y una forma regular y simétrica son más apreciados por los consumidores (Jiménez-Zurita *et al.*, 2016).
- El color: se refiere al tono y la intensidad del color de la piel y la pulpa del fruto. Los frutos de guanábana cambian de color a medida que maduran, pasando de un verde oscuro a un verde claro o amarillento. La pulpa suele ser blanca o crema, pero puede tener tonos rosados o amarillos según la variedad. El color es un indicador visual de la madurez y el estado sanitario del fruto (Villarreal-Fuentes *et al.*, 2020).
- La firmeza: Este atributo es crucial para la conservación y el transporte del fruto, ya que indica su resistencia al daño mecánico. Los frutos de guanábana deben tener una firmeza

adecuada para soportar el manejo poscosecha sin perder su calidad sensorial (Jiménez-Zurita *et al.*, 2016).

- El contenido de azúcar: El contenido de azúcar influye en el sabor y el valor nutritivo del fruto, así como en su potencial para la elaboración de productos derivados. Según el Ministerio de Agricultura de Brasil (1999), los frutos de guanábana deben tener un mínimo de 9 °Brix en el momento de consumo.

- El tamaño: se refiere al peso, la longitud y el diámetro del fruto. Los frutos de guanábana pueden variar significativamente, desde 500 g hasta 5 kg, dependiendo de diversos factores como la variedad, el clima y el manejo agronómico. En Nayarit, el peso promedio de la guanábana es de 1.5 kg (Jiménez-Zurita *et al.*, 2016). Los frutos más grandes tienden a tener una mayor demanda y, por ende, un precio más elevado en el mercado.

- La acidez: La acidez influye en el sabor, la conservación y la compatibilidad del fruto con otros ingredientes durante la elaboración de productos derivados. Una acidez moderada en la guanábana es preferible para los consumidores, ya que equilibra el dulzor y realza el aroma característico del fruto.

La acidez: La acidez influye en el sabor, la conservación y la compatibilidad del fruto con otros ingredientes durante la elaboración de productos derivados.

En Nayarit la acidez titulable promedio en guanábanas es de aproximadamente 0.52%, pero puede variar desde 0.17% hasta 1.2% (Terán Erazo *et al.*, 2019). Es interesante notar que la acidez de la guanábana aumenta durante la maduración debido al catabolismo de almidón y carbohidratos de la pared celular, la transformación de sales ácidas a la forma soluble y la baja utilización de ácidos en la respiración (Coêlho de Lima & Alves, 2011). Una acidez moderada en la guanábana es preferible para los consumidores, ya que equilibra el dulzor y realza el aroma característico del fruto.

Un fruto de guanábana de buena calidad debe cumplir con los estándares establecidos para cada uno de estos parámetros, según las preferencias y exigencias del mercado al que se destine. Es importante tener en cuenta que estos criterios pueden variar ligeramente dependiendo de la región y las preferencias locales. Sin embargo, en general, estos son los aspectos clave que se consideran al evaluar la calidad de los frutos de guanábana. Además, un fruto de guanábana de buena calidad debe estar libre de defectos físicos, tales como golpes, cortes, magulladuras o podredumbres, que puedan alterar su apariencia o comprometer su inocuidad.

Dada la necesidad de extender la vida poscosecha de los frutos, la mayoría de las investigaciones se han centrado en el comportamiento poscosecha de la guanábana. Existen estudios de los cambios fisiológicos y fisicoquímicos durante la poscosecha de la guanábana que incluyeron la pérdida de peso, el color de la piel y endocarpo, sólidos solubles totales, rendimiento de la fruta y firmeza. (Márquez *et al.*, 2012)

Los frutos de guanábana tienen una vida útil limitada y requieren un manejo cuidadoso en su poscosecha, un proceso delicado que depende de varios factores como el grado de madurez al momento de la cosecha, las condiciones ambientales, el manejo del producto y las técnicas de conservación empleadas. Con una vida útil poscosecha breve, normalmente de una a dos semanas, incluso bajo condiciones de temperatura y humedad controladas (Reina G., 2013), el transporte y comercialización de la guanábana sufre serias limitaciones. La humedad relativa óptima para el almacenamiento de los frutos de guanábana es de 85 a 90 % (Jiménez-Zurita *et al.*, 2017). Implementar la refrigeración como método de preservación de la guanábana fresca es complejo, ya que requiere un control preciso de la temperatura debido a su alta propensión a sufrir daños por frío (Castillo-Ánimas *et al.*, 2005). Los frutos de guanábana son sensibles al frío y pueden sufrir daños si se almacenan a temperaturas inferiores a 10 °C, mientras que temperaturas superiores a 25 °C pueden acelerar su maduración y disminuir su calidad.

La conservación de los frutos de guanábana es un desafío que ha llevado a la exploración de diversas técnicas para prolongar su vida útil y mantener su calidad. Algunas de las técnicas investigadas incluyen el uso de recubrimientos comestibles, tratamiento con agentes antimicrobianos, control de la atmósfera modificada y uso de radiación ionizante, que pueden ayudar a reducir la pérdida de peso, la respiración, la producción de etileno, el ablandamiento y el deterioro por hongos de los frutos (Jiménez-Zurita *et al.*, 2017).

Una alternativa particularmente prometedora es el uso del quitosano, un biopolímero obtenido de crustáceos, que ha demostrado ser rentable en la activación de los mecanismos de defensa en las plantas, controlando infecciones fúngicas importantes y retrasando la descomposición de los frutos sin afectar su calidad (Ramos-Guerrero *et al.*, 2018; 2020). Los estudios han revelado que el quitosano no solo inhibe la infección por antracnosis, sino que también reduce la pérdida de peso y la producción de etileno, contribuyendo a una mayor firmeza de los frutos (Márquez Cardoso, 2009).

Otra técnica efectiva es la combinación de ceras con 1-metilciclopropeno (1-MCP). La aplicación conjunta inhibe la acción del etileno, retrasa la maduración y pérdida de firmeza, y prolonga significativamente la vida poscosecha de los frutos (Jiménez-Zurita *et al.*, 2017). Un estudio realizado por Montalvo González *et al.*, (2014) mostró que la aplicación de ceras junto con 1-MCP permitió conservar los frutos por 14-15 días, comparado con solo 6 días para los frutos almacenados a 25°C, además de reducir la velocidad de respiración y retrasar la producción de etileno.

Además de las técnicas anteriormente mencionadas que han probado su efectividad en frutos de guanábana, existen alternativas adicionales como el tratamiento con agentes antimicrobianos y el uso de la radiación ionizante que podrían resultar rentables. El tratamiento con agentes antimicrobianos consiste en sumergir o rociar el fruto con sustancias que inhiben el crecimiento de hongos y bacterias causantes del deterioro. Algunos ejemplos de agentes antimicrobianos son el cloro, el bicarbonato de sodio, el ácido cítrico, el extracto de semilla de toronja, y los aceites esenciales como el de canela, tomillo, salvia, menta y clavo (Esmaeili *et al.*, 2022). Por otra parte, el uso de radiación ionizante implica someter al fruto a una fuente de radiación gamma o rayos X, produciendo iones y radicales libres que alteran el ADN y las membranas celulares de los microorganismos. Esto retrasa la aparición de podredumbres y prolonga la vida útil del fruto (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2017).

### **1.2.7. Planteamiento del Problema**

El cultivo de guanábana en Compostela, Nayarit, representa una oportunidad económica para los productores locales. No obstante, el sistema productivo actual enfrenta desafíos que limitan su potencial de crecimiento y expansión en los mercados nacional e internacional. Estos desafíos incluyen inconsistencias en la cadena productiva, falta de conocimiento sobre las mejores prácticas agrícolas y de manejo del cultivo, y una comprensión limitada de la fisiología del fruto y sus procesos de desarrollo y maduración. Además, se han identificado problemas de infraestructura y falta de capacitación entre los productores, que afectan la calidad y comercialización de la guanábana. Dado este contexto, es necesario realizar un análisis exhaustivo y sistemático de la cadena productiva de la guanábana en Compostela, Nayarit, que permita identificar los puntos críticos de control, oportunidades de mejora y estrategias de intervención adecuadas. Es esencial

no sólo profundizar en el conocimiento de la fisiología del fruto, sino también entender sus procesos de desarrollo y maduración. Con esta información, es posible optimizar las prácticas de manejo, lo que a su vez mejora la calidad y prolonga la vida útil del fruto.

### 1.3. Hipótesis

Inconsistencias en la cadena productiva, junto con una comprensión limitada de la fisiología del fruto, restringen la calidad del sistema productivo de guanábana en Nayarit.

### 1.4. Objetivo General

Caracterizar la cadena productiva de guanábana en Compostela, Nayarit y explorar la fisiología del fruto en las etapas de pre- y poscosecha para diseñar estrategias enfocadas en potenciar su calidad y viabilidad comercial.

### 1.5. Objetivos Específicos

1. Diseñar una metodología para la intervención sistemática en cadenas productivas de frutos tropicales, fundamentada en el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC), y adaptarla específicamente al contexto de la guanábana Nayarita.
2. Mapear y describir los eslabones clave de la cadena productiva de guanábana en Compostela, a través de un esquema detallado y comprensivo.
3. Estudiar y representar visualmente la dinámica de las interacciones entre los distintos actores que participan en la cadena productiva de guanábana en Compostela, Nayarit.
4. Elaborar un plan de acción enfocado en abordar, por orden de prioridad, los desafíos más relevantes de la cadena productiva de guanábana en Compostela, a fin de remover las limitaciones que afectan su comercio a gran escala de manera efectiva.

5. Analizar la fisiología del fruto de guanábana, su desarrollo y las características de su exocarpo, tanto durante la precosecha como en la poscosecha.

#### 1.6. Sección Integradora del Trabajo

Esta tesis consta de dos artículos científicos, incluidos en los capítulos 2 y 3 que abordan los objetivos de esta investigación al enfocarse en aspectos diferentes, pero complementarios, de la cadena productiva de guanábana en Compostela, Nayarit.

El capítulo 2 presenta el artículo "La Cadena Productiva de Guanábana: Una Opción para el Desarrollo Económico en Compostela, Nayarit", que enfatiza el impacto económico de esta cadena productiva en la región. Describe la metodología utilizada para analizar las cadenas productivas de frutas tropicales, fundamentada en el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC), que se aplicó al estudio de la situación actual de la cadena productiva de guanábana en Compostela. Incluye información relevante sobre esta cadena y su potencial para impulsar el desarrollo económico en la región.

El capítulo 3 presenta el artículo "Unraveling the Secrets of Soursop Fruit: Biochemical, Structural, and Physiological Transformations During Development and Ripening", un estudio que busca revelar las transformaciones fisiológicas que experimentan los frutos de guanábana durante su desarrollo y maduración.

A continuación, se proporciona una reseña más detallada de los artículos mencionados.

El artículo "La Cadena Productiva de Guanábana: una opción para el desarrollo económico en Compostela, Nayarit" tiene como objetivo caracterizar la cadena productiva de guanábana del municipio de Compostela, identificar las limitaciones que impiden su desarrollo y proponer estrategias para impulsar su incursión en el mercado internacional. Propósito que se alinea con el objetivo general de la tesis. La publicación se realizó en la revista "Estudios Sociales" del CIAD, especializada en temas emergentes de alimentación contemporánea y desarrollo regional.

La obtención de una comprensión completa y detallada de la cadena productiva de guanábana en el municipio de Compostela, Nayarit, requería un análisis holístico. Análisis holístico, se refiere a un enfoque que considera todos los aspectos relevantes de un sistema o problema en su conjunto,

en lugar de analizarlos por separado. En el contexto de este estudio, el análisis holístico implica la recopilación y síntesis de información de diversas fuentes para obtener una comprensión completa y detallada de la cadena productiva de guanábana en Compostela, Nayarit. Para ello, se diseñó una metodología que permite el análisis de cadenas productivas de frutos tropicales desde múltiples perspectivas. Este diseño metodológico que consta de cinco fases secuenciales está basado en el manual de capacitación sobre higiene de los alimentos y en el sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC) (FAO, 2002). Facilitó el cumplimiento del primer objetivo específico de la presente tesis al adaptarla para el estudio de la cadena productiva de guanábana. Se recopiló información de fuentes directas e indirectas, se realizó una revisión amplia de la literatura especializada, se visitaron huertos y puntos de venta, se entrevistó a diferentes actores de la cadena y se integró su visión en una base de datos. De esta manera, se logró obtener una visión integral del sistema, considerando todos los aspectos relevantes, para llevar a cabo el análisis con un enfoque holístico.

En este estudio se obtuvo un panorama amplio de la situación actual de la cadena productiva de la guanábana. Se caracterizó la CPG mediante un modelo que delimita sus eslabones, describe las labores específicas de los actores y esquematiza sus interacciones, contribuyendo así al cumplimiento del segundo y tercer objetivo específico de la tesis. Se presentó un esquema detallado que define los tres eslabones que componen la cadena productiva de la guanábana, mostrando la interconexión entre los eslabones de producción, procesamiento y comercialización, y describiendo a los actores involucrados. Para medir la importancia de cada riesgo según su gravedad y frecuencia, se aplicó a diversos actores de la CPG el instrumento hoja de identificación de riesgos y los datos recabados se evaluaron a través de un panel de expertos.

Se identificaron varias limitantes para el progreso de la cadena productiva de guanábana que se agruparon en nueve categorías, ocho de las cuales requieren atención especializada e inmediata. La naturaleza perecedera del fruto destacó como el riesgo principal, situación agravada por riesgos fitosanitarios, mala coordinación entre eslabones, técnicas de manejo obsoletas e infraestructura de almacenamiento y transporte deficiente. Se discutieron las soluciones planteadas y se evaluaron los posibles puntos críticos de control utilizando el modelo de árbol de decisiones del *Códex Alimentarius* con ligeras adecuaciones.

En la recta final de este estudio, se cumplió con el cuarto objetivo específico de esta tesis, elaborar un plan de acción que aborde, por orden de prioridad, los desafíos más relevantes de la cadena

productiva de guanábana en Compostela. Al proponer el orden de intervención de la cadena que contempla la efectividad, potencial de desarrollo, dificultad y plazo de implementación de quince puntos críticos de control, se busca superar de manera efectiva las limitaciones que obstaculizan la comercialización de este fruto tropical.

La investigación reportada en el artículo “Unraveling the secrets of soursop fruit: biochemical, structural, and physiological transformations during development and ripening (Desentrañando los secretos de la guanábana: transformaciones bioquímicas, estructurales y fisiológicas durante el desarrollo y maduración del fruto)” es el primer estudio que explora los cambios bioquímicos, biológicos y fisiológicos que ocurren durante el desarrollo y maduración del fruto de la guanábana. Tiene como objetivo la caracterización del patrón de crecimiento y maduración de los frutos de la guanábana por medio del registro de los cambios a nivel fisiológico que acontecen durante el desarrollo de los frutos, así como los cambios estructurales que ocurren en su exocarpo.

El estudio se realizó durante tres estaciones de producción consecutivas de marzo a julio de 2017 y 2018 y de agosto a diciembre de 2018. En 600 árboles del huerto “El Tonino” en Compostela, Nayarit, donde se marcaron flores polinizadas, se observó su desarrollo y se recolectaron muestras de frutos en diferentes estados de desarrollo. Se analizó el peso, firmeza, tasa de respiración, pH, acidez titulable (TA) y sólidos solubles totales (TSS) de las muestras colectadas, en el Laboratorio Integral de Investigación de Alimentos en el Instituto Tecnológico de Tepic y se almacenó tejido de cada muestra a  $-80^{\circ}\text{C}$  para análisis de expresión génica. Este artículo puede ser útil para productores y científicos interesados en este cultivo ya que es una contribución valiosa para la comprensión de los procesos de desarrollo y maduración de la guanábana.

## **2. LA CADENA PRODUCTIVA DE GUANÁBANA: UNA OPCIÓN PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO EN COMPOSTELA, NAYARIT**

Anaya Dyck, Jose-María<sup>1</sup>; Tiznado-Hernández, Martin Ernesto<sup>1</sup>; Hernández-Oñate, Miguel-Angel<sup>1</sup>; Báez-Sañudo, Reginaldo<sup>1</sup>; Gutiérrez-Martinez, Porfirio<sup>2</sup>; Tafolla-Arellano, Julio César<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. A. C, Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas NO. 46. Colonia La Victoria. Hermosillo, sonora. cp. 83304. México.

<sup>2</sup>Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos, Posgrado en Ciencias en Alimentos, Instituto Tecnológico de Tepic. Avenida Tecnológico No. 2595. Fracc. Lagos del Country. Tepic, Nayarit. C.P. 63175. México.

<sup>3</sup>Departamento de Ciencias Básicas, Laboratorio de Biotecnología y Biología Molecular. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.

**Revista: Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional**

Enero – Junio 2021

<https://doi.org/10.24836/es.v31i57.1048>

# Estudios Sociales

Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional

Volumen 31, Número 57. Enero – Junio 2021

Revista Electrónica. ISSN: 2395-9169



La cadena productiva de guanábana:  
una opción para el desarrollo económico en Compostela, Nayarit

Soursop productive chain:  
An Economic Development Option for Compostela, Nayarit

DOI: <https://doi.org/10.24836/es.v31i57.1048>  
e211048

José María Anaya-Dyck\*  
<https://orcid.org/0000-0002-4475-4045>

Miguel Ángel Hernández-Oñate\*  
<https://orcid.org/0000-0001-5857-2608>

Julio César Tafolla-Arellano\*\*  
<https://orcid.org/0000-0001-5225-8028>

Reginaldo Báez-Sañudo\*  
<https://orcid.org/0000-0001-6197-2792>

Porfirio Gutiérrez-Martínez\*\*\*  
<https://orcid.org/0000-0001-8967-413X>

Martín Ernesto Tiznado-Hernández\*\*\*\*  
<https://orcid.org/0000-0002-2612-9000>

Fecha de recepción: 15 de octubre de 2020.

Fecha de envío a evaluación: 17 de noviembre de 2020.

Fecha de aceptación: 03 de diciembre de 2020.

\*Estudiante de Doctorado. Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal.  
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México.

\*\*Departamento de Ciencias Básicas, Laboratorio de Biotecnología y Biología Molecular.  
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.

\*\*\*Laboratorio Integral de Investigación en Alimentación-Biotecnología de Alimentos. Instituto Tecnológico de Tepic. México.

\*\*\*\*Autor para correspondencia: Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal.

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, No. 46.  
Col. La Victoria. C. P. 83304, Hermosillo, Sonora. Tel: 662 2892400.

Dirección: [tiznado@ciad.mx](mailto:tiznado@ciad.mx)

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.  
Hermosillo, Sonora, México.



## Resumen / Abstract

**Objetivo:** Caracterizar la cadena productiva de guanábana en el municipio de Compostela, Nayarit, México y describir las áreas de oportunidad y sus riesgos para proponer un orden de intervención de esa cadena productiva que establezca los puntos críticos de control que deben implementarse para impulsar la comercialización de guanábana mexicana en el mercado internacional. **Metodología:** Partiendo de fuentes de información directas e indirectas, se construyó una base metodológica que consta de cinco fases diseñadas para calcular el OI óptimo. **Resultados:** La Cadena Productiva de Guanábana de Compostela se compone de tres eslabones primarios: producción, procesamiento y comercialización, compuestos por actores que cumplen labores específicas. Se identificaron puntos débiles de alto riesgo, así como los Puntos de Control Críticos en la Cadena Productiva de la Guanábana. Con base en el análisis de relevancia de cada Punto Crítico de Control se elaboró un Orden de Intervención diseñado para configurar a la Cadena Productiva de la Guanábana como una opción de desarrollo regional exitosa. **Limitaciones:** La información disponible del sistema productivo y poscosecha de la guanábana es relativamente escasa. Generar este tipo de información representa un área de oportunidad que requiere el acercamiento con los actores que conforman la cadena. **Conclusiones:** La presencia de guanábana de Compostela en mercados internacionales de alto valor se ve limitada por riesgos presentes en su cadena productiva. La naturaleza perecedera del fruto destaca como el riesgo principal y se agrava por riesgos fitosanitarios, mala coordinación entre eslabones, técnicas de manejo desactualizadas e infraestructura de almacenamiento y transporte deficiente. Se estima que implementar el Orden de Intervención incrementaría las ganancias de la Cadena Productiva de la Guanábana al menos 175 % en un corto a mediano plazo.

**Palabras clave:** desarrollo regional; guanábana; cadena productiva; eslabón; riesgo; punto crítico de control; orden de intervención.

**Objective:** Characterize Compostela's Soursop Production Chain, describe the risks that represent areas of opportunity, and propose an Intervention Order that settled the critical control points that must be implemented to promote Mexican soursop on international markets. **Methodology:** The approach to calculate the optimal intervention order for the Soursop Production Chain was designed based on direct and indirect information sources and consisted of five phases. **Results:** Compostela's SPC is made up of three primary links: production, processing, and marketing, involving actors for each specific task. High-risk weak points and Critical Control Points were identified. Implementing these Critical Control Points would significantly improve the Soursop Production Chain's revenue. An intervention order designed to configure the Soursop Production Chain as a successful regional development option was built based on the relevance analysis of each Critical Control Point. **Limitations:** Available information regarding soursop production and post-harvest is relatively scarce. Gathering this type of information represents an area of opportunity that requires consulting the actors that make up the chain. **Conclusions:** Compostela's soursop presence in international high value markets is limited by risks in the Soursop Production Chain. This fruit's perishable nature stands out as the main risk, which is aggravated by phytosanitary risks, poor interlink coordination, outdated handling techniques, and poor storage and transportation infrastructure. A conservative estimate suggests that by implementing this Intervention Order, Soursop Production Chains's profits would increase at least 175 % in a short to medium term.

**Key words:** regional development; soursop; productive chain; link; risk; critical control point; intervention order.

## Introducción

**E**n el municipio de Compostela, en la costa sur de Nayarit, México, el cultivo de guanábana se ha establecido como pilar de la agricultura por su aporte al desarrollo económico regional. México es el principal productor de guanábana a nivel mundial (Sanusi et al., 2018). Compostela representa 66 % de la superficie productora de guanábana nacional (véase Figura 1.A) y destaca entre los estados con mayor rendimiento por hectárea en el país (véase Figura 1.B). Es el principal productor de guanábana del país y del mundo (véase Figura 1.C) (

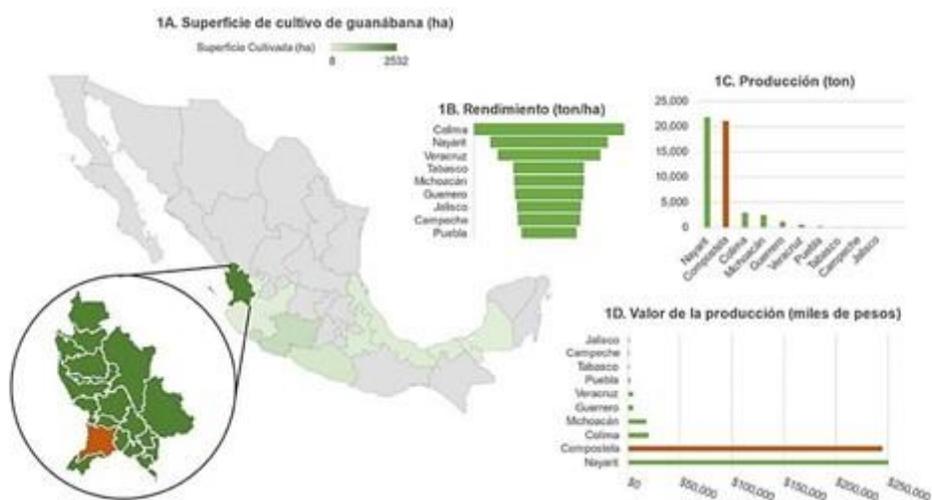


Figura 1. Relevancia de guanábana de Compostela en el contexto nacional.  
Fuente: SIAP 2018.

LA CADENA PRODUCTIVA DE GUANÁBANA:  
 UNA OPCIÓN PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO EN COMPOSTELA, NAYARIT  
 ANAYA-DYCK, HERNÁNDEZ-OÑATE, TAFOLLA-ÁRELLANO, BÁEZ-SAÑUDO, GUTIÉRREZ-MARTÍNEZ, TIZNADO-  
 HERNÁNDEZ

El desempeño de la cadena productiva de guanábana (CPG) es uno de los indicadores de desarrollo económico más importantes de Compostela. Las 21,130 toneladas cosechadas en 2018 representaron el 81 % del valor total de la producción nacional de guanábana con una derrama económica de más de 244 millones de pesos anuales (véase Figura 1.D). El cultivo genera ganancias equiparables al mango, cultivo con el valor de producción más alto del municipio. Una hectárea sembrada con guanábana genera una producción con valor de alrededor 38 mil pesos más al año que una de mango (véase Figura 2) (SIAP, 2020).

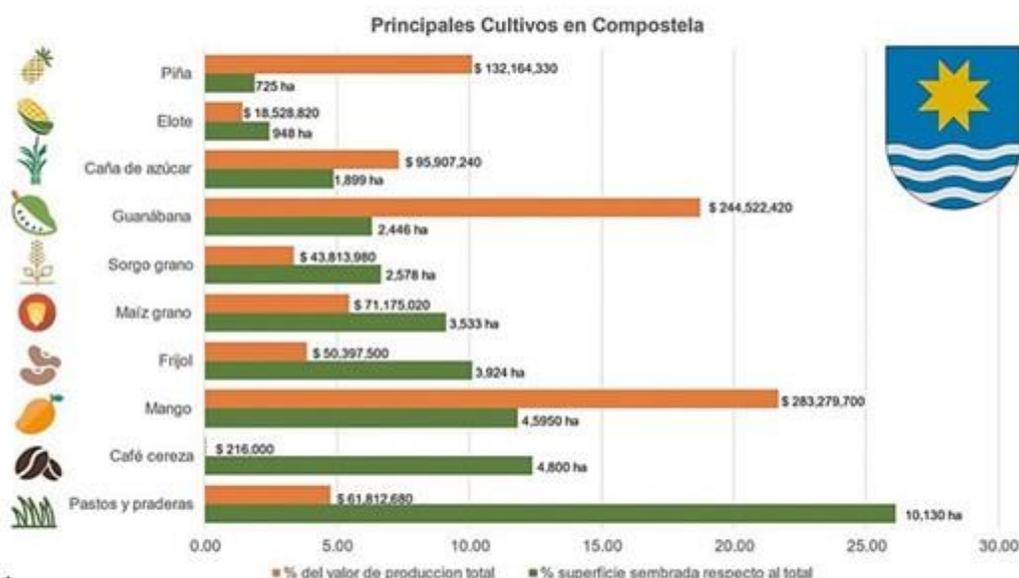


Figura 2. Producción de varios productos incluyendo guanábana en Compostela. Destaca la importancia de la guanábana respecto a otras especies en Compostela. Fuente SIAP 2018.

El objetivo principal de la CPG es proveer productos de calidad esperada a precios competitivos. Sin embargo, las técnicas de manejo del cultivo no se han actualizado en décadas. El mercado internacional y los acelerados procesos de apertura comercial exigen innovaciones a la CPG. Producir guanábana de alta calidad con una vida poscosecha que permita comercializarla requiere, entre otras cosas, tecnificar el cultivo e implementar estrategias de manejo de frutos altamente perecederos.



Compostela aprovecha solo el 12 % de la superficie con potencial agroecológico para cultivar guanábana. Cuenta con 17,668 hectáreas más que reúnen las condiciones óptimas para su desarrollo (Hernández, Nolasco y Cruz, 2017). El Comité Sistema Producto Guanábana de Nayarit, S. C., indica que, a pesar de que Compostela cuenta con las condiciones climáticas que privilegian el cultivo de guanábana, este presenta carencias desde el proceso de producción. Gran parte de la capacidad de producción se desaprovecha debido a problemas de manejo causados por insuficiencia de paquetes tecnológicos integrados, recursos económicos y procesos de valor agregado (Cayeros, Robles y Jiménez, 2017).

Hacer frente a los desafíos que enfrenta la CPG requiere establecer puntos críticos de control (PCC)<sup>1</sup> en base a un análisis profundo de la misma. El presente trabajo caracteriza la CPG de Compostela para identificar los riesgos presentes en la cadena, desde la producción primaria al mercado. Se sugieren líneas de acción para cada eslabón de la cadena con base al análisis de la oferta tecnológica, determinando los PCC que impulsarían la competitividad y su rentabilidad en el corto plazo.

## Metodología

Se propone un orden de intervención (OI) de la CPG de Compostela mediante la implementación sistemática de PCC. Esto requirió de un panel de expertos, que caracterizó la CPG, describió sus eslabones, identificó las limitantes para producir y distribuir frutos con buena calidad y estudio las posibles soluciones. Para un análisis holístico se recopiló información de fuentes directas e indirectas,<sup>2</sup> se realizó una revisión de literatura amplia enfocada en la situación actual del cultivo. La metodología para crear un OI de la cadena en base al análisis y síntesis de estos datos se dividió en cinco fases (véase Figura suplemental 1).

En la primera fase se caracterizó la CPG a través de un modelo que delimita sus eslabones y señala interacciones entre actores que los conforman. En la segunda fase, cada miembro completó la hoja de identificación de riesgos<sup>3</sup> adaptada de Rojas, 2019 (véase Figura suplemental 2). Para valorar la significancia de cada riesgo se aplicó el instrumento cuantificador de severidad y probabilidad de ocurrencia<sup>4</sup> adaptado de Rojas, 2019 (véase Figura suplemental 3), con enfoque en los riesgos que requieren atención inmediata o especializada. En la tercera fase, se cotejó en una

reunión del panel de expertos para lograr un consenso sobre los riesgos más urgentes para la CPG y se discutieron las soluciones planteadas. La cuarta fase consistió en evaluar los posibles PCC. Para ello se utilizó el modelo de árbol de decisiones del Códex Alimentarius con ligeras adecuaciones<sup>5</sup> (véase Figura suplemental 4) (FAO, 2002). Durante la quinta fase se analizaron los PCC para proponer un OI de la cadena, elaborado conforme a su relevancia. Con este fin se diseñó un instrumento que evalúa los PCC de acuerdo con cuatro criterios<sup>6</sup> en escala del 1 al 5 (véase Figura suplemental 5). Se estimaron los cuatro criterios de cada PCC sumando un punto a aquellos PCC que abordaron más de un riesgo.

Para estimar la relevancia ( $R$ ) de los PCC, el resultado de la suma de los cuatro criterios se multiplicó por la significancia del riesgo que resuelven.<sup>7</sup> Se calculó el porcentaje de relevancia ( $\%R$ ) de cada PCC, donde el 100 % representa un PCC con un puntaje de cinco en los cuatro criterios de relevancia y resuelva riesgos múltiples.<sup>8</sup> El OI propuesto se basa en el arreglo jerárquico de los PCC según su porcentaje de relevancia. Por último, la base de datos se actualizó con la información generada a fin de crear una fuente de consulta para la toma de decisiones informadas. La metodología descrita puede servir como plataforma para otros proyectos de investigación dirigidos a diferentes frutales y cultivos agro industriales.

## Resultados y discusión

### *Caracterización de la cadena productiva de guanábana de Compostela*

La CPG se compone de tres eslabones principales interconectados: producción, procesamiento y comercialización. Cada eslabón requiere una serie de acciones concretas que implican prácticas de manejo y control fitosanitario. Estas acciones dependen de la intervención de múltiples actores sociales<sup>9</sup> (Gomes de Castro y Valle, 2002) encargados de realizar diversas operaciones específicas (véase Figura 3). La coordinación eficiente entre los grupos de actores que integran las cadenas productivas es esencial para el éxito de las mismas (Gomes de Castro y Valle, 2002). No obstante, en Compostela se ha observado una desarticulación en la CPG, en donde cada actor cumple su rol específico, pero existe poca coordinación y

cooperación entre ellos. Es decir, los productores tienen poco acceso a las oportunidades de comercialización y los intermediarios no se involucran en el proceso de producción agrícola (Cayeros et al., 2017).

### Cadena productiva de la guanábana en Compostela Nayarit

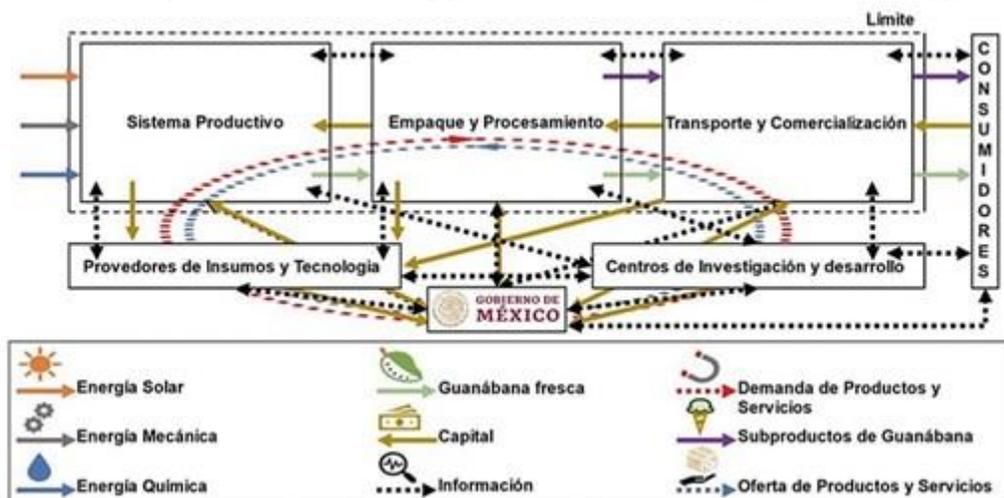


Figura 3. Esquema que muestra los tres mayores eslabones y sus relaciones, tanto entre sí como con los diferentes actores que participan en la cadena productiva de guanábana en Compostela. Fuente: elaboración propia basada en Piedragil, 2017 y Gomes de Castro, 2002.

#### *Sistema productivo*

El sistema productivo es el primer eslabón de la cadena encargado de reunir frutos frescos de buena calidad que los siguientes eslabones llevarán a los consumidores. Se rige por la naturaleza biológica del cultivo, conforme a la secuencia de desarrollo del árbol y sus frutos. Se subdivide en cuatro etapas iniciando con la selección del lugar de siembra y finaliza con la cosecha del fruto.

### *1. Selección y planeación del lugar de siembra*

El sistema productivo inicia con la selección y planeación del lugar de siembra, que debe considerar los requerimientos climáticos y edáficos del cultivo. Las condiciones edafoclimáticas imperantes en Compostela han favorecido el cultivo de guanábana. Situada entre los paralelos 20°51' y 21°23' de latitud norte a 860 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), Compostela, capta aproximadamente 1,060 mm de precipitación media anual y recibe más de cuatro mil horas de luz solar anuales (Clima Compostela, 2020). El clima que impera en Compostela es tropical, cálido y húmedo.<sup>10</sup> La fisiografía de Compostela dominada por sierras<sup>11</sup> limita el establecimiento de una amplia gama de cultivos, mientras que el impacto sobre el cultivo de guanábana es mínimo, ya que se desarrolla bien bajo diversas condiciones edáficas (Márquez, 2009). La tierra es fértil y rica en materia orgánica<sup>12</sup> (Ayuntamiento Compostela, 2017).

La guanábana prefiere suelos de, al menos, 1.20 m. de profundidad y una pendiente no mayor al 50 %, de texturas medias como los francos o los franco-arenosos (SEPH, 2010). El área de siembra debe diseñarse de acuerdo con las prácticas de manejo<sup>13</sup> que piensan realizarse y a varios factores que dependen del terreno.<sup>14</sup> En Compostela, la guanábana se cultiva en baja densidad de siembra sin utilizar sistemas de riego ya que las condiciones climáticas de la región permiten depender del régimen de lluvias de temporal e invertir poco en labores de mantenimiento y aun así obtener buenos rendimientos (véase Figura 1B) (Piedragil, 2017).

### *2. Selección de material vegetativo*

La selección de material vegetativo es el paso más importante para definir la calidad y productividad de un frutal (Benkeblia, Tennant, Jawandha y Gill 2011; Jiménez, Balois, Alia, Juárez y Sumaya 2016). En Compostela se acostumbra comprar árboles de guanábana en viveros familiares de la comunidad, donde los propagan sin seleccionar cultivares. Germinan semillas recolectadas directamente de frutos y venden los árboles cuando tienen alrededor de 50 cm. Generalmente desconocen



las características de productividad y sanidad de árboles progenitores (Piedragil, 2017). Utilizar variedades adaptadas a condiciones de cultivo y canales de mercado particulares influye ampliamente en la calidad poscosecha de los frutos (Jiménez, Bello, Juárez, Balois, Alia, 2017).

### *3. Establecimiento del cultivo*

El establecimiento del cultivo inicia con la siembra de árboles y culmina cuando estos comienzan el proceso de diferenciación floral. Al igual que fases anteriores, el establecimiento del cultivo es una fase no productiva. Constituye una inversión a largo plazo, un gasto diferido amortizable durante la fase productiva. El buen desarrollo de los árboles requiere labrar y limpiar el terreno y si se planea utilizar un sistema de riego, esta es la etapa más oportuna para instalarlo.

A partir de la siembra, inician procesos de mantenimiento como la fertilización y el control de plagas, enfermedades y malezas, que deben realizarse adecuada, oportuna y periódicamente hasta el cierre del cultivo. Durante los primeros años de desarrollo, los árboles crecen rápidamente. La fructificación, en este periodo, es poca o nula ya que en su metabolismo predominan procesos de alargamiento del tallo y raíces e incremento de la sección transversal. En Compostela, la fase no productiva dura alrededor de cuatro años si se utilizan métodos de labranza tradicionales (Piedragil, 2017).

### *4. Fase productiva*

La fase productiva es un periodo crítico que inicia cuando las primeras flores polinizadas logran formar frutos. Se debe tener cuidados especiales durante esta etapa puesto que el nivel de producción depende de ello. Las condiciones edafoclimáticas y el manejo determinan tanto el inicio como el comportamiento de la fase productiva (Piedragil, 2017). Conseguir frutos de calidad óptima es posible siempre y cuando el régimen de mantenimiento sea adecuado. El ciclo de fructificación dura entre 120-180 días desde la floración<sup>15</sup> hasta formar frutos cosechables. El desarrollo del fruto y sus semillas inicia con la fertilización de los

ovarios de la flor. Las flores polinizadas fusionan sus múltiples ovarios en una baya compuesta<sup>16</sup> y las flores no polinizadas se desprenden del árbol. Una fertilización parcial genera frutos pequeños y malformados.

El grado de madurez en que se cosecha influye significativamente en el comportamiento poscosecha de la guanábana. Evitar pérdidas requiere que el cosechador reconozca las características particulares que presenta la guanábana en punto de madurez fisiológica.<sup>17</sup> La guanábana fisiológicamente madura es capaz de continuar la maduración organoléptica fuera de la planta, mientras que frutos cosechados antes de alcanzarla presentan alteraciones del proceso de maduración que comprometen su calidad.

#### *Empaque y procesamiento*

La poscosecha inicia cuando el fruto se separa del árbol abarcando el segundo y tercer eslabón de la CPG y engloba todas las actividades realizadas para preservar la calidad de los productos. El pico climatérico, el aumento en azúcares solubles y el desarrollo de sabores y aromas característicos de la guanábana, ocurre durante esta etapa del proceso agroindustrial. El segundo eslabón de la CPG se ocupa de empacar frutos frescos y del procesamiento en subproductos. La guanábana de Compostela se vende mayormente como producto fresco<sup>18</sup> y solo está disponible por temporadas. El almacenamiento busca prolongar la vida útil de la guanábana fresca aumentando así su disponibilidad. Ampliar la ventana de oferta mejora los ingresos de la CPG y permite un comercio más ordenado. El almacenamiento exitoso preserva la calidad del fruto hasta su consumo, requiere considerar los factores fisiológicos y fitosanitarios que afectan su poscosecha.

#### *Transporte y comercialización*

El último eslabón de la CPG comprende el transporte a diferentes puntos de venta y las estrategias de comercialización. Se deben asegurar vías y medios de transporte capaces de mantener el cuidado en su manejo del producto para preservar la calidad. El traslado hacia los centros de acopio se realiza regularmente en tracto camiones a



granel o en cajas. El 90 % de la producción se destina al consumo nacional, pero no se distribuye uniformemente en el país. Se consume principalmente dentro del municipio y localidades cercanas. Su precio, en puestos familiares establecidos a orillas de la carretera, es relativamente bajo.<sup>19</sup> En mercados y fruterías de otros municipios de Nayarit su precio fluctúa entre 24 y 26 pesos por kilo (SIAP, 2020) y también se comercializa a estados cercanos.<sup>20</sup>

### *Puntos débiles de la cadena productiva de guanábana de Compostela*

Se detectaron varias limitantes para el progreso de la CPG que se agruparon en nueve categorías según su naturaleza específica (véase Figura suplemental 7). Cada año los productores de Compostela pierden alrededor de tres toneladas de guanábana por hectárea (Cayeros et al., 2017). Buena parte de los riesgos que ocasionan estas pérdidas son de tipo cultural; abarcando cinco de las siete categorías de riesgos significativos. Esto se atribuye al fuerte arraigo a métodos de cultivo tradicionales y falta de intercambio de información. Esta merma representa una pérdida de al menos 110 millones de pesos anuales. A continuación, se describen las ocho categorías de peligros de alto riesgo que requieren atención especializada e inmediata:

#### *1. Problemas fitosanitarios*

En México, los problemas fitosanitarios destacan como uno de los desafíos con mayor impacto para la CPG ya que la guanábana es susceptible al ataque de una gran variedad de plagas y enfermedades que perjudican la ontogenia del cultivo y el fruto. Este grupo de problemas de origen biológico aqueja todos los eslabones, Vidal et al. (2014) atribuyen 50 % de las pérdidas económicas de la CPG a la alta incidencia de enfermedades fúngicas y otro 40 % al ataque de insectos. Pueden surgir desde que se adquiere el material vegetativo hasta que el fruto llega al consumidor, afectando la CPG independientemente del punto en que surjan. Los problemas fitosanitarios comprometen la calidad de la guanábana y son un obstáculo para comercializar frutos frescos en el mercado internacional. Se clasifican

como riesgos altamente significativos por tener una probabilidad de ocurrencia alta y consecuencias críticas. La información respecto a plagas y enfermedades de guanábana es escasa.<sup>21</sup> En este trabajo solo se discuten los riesgos fitosanitarios considerados más graves.<sup>22</sup>

La antracnosis<sup>23</sup> se considera la enfermedad de mayor importancia para la CPG de Compostela. Las heridas que ocasiona en tallos, ramas, hojas, flores y frutos exponen los tejidos internos a las inclemencias del clima y otros riesgos fitosanitarios. Disminuye la cantidad y calidad de los frutos además de perturbar su desarrollo y crecimiento.<sup>24</sup> Puede reducir el rendimiento del cultivo hasta un 90 % (Pinto et al., 2005; Hernández et al., 2013). Esta enfermedad se propaga fácilmente en temporadas de lluvia.<sup>25</sup>

La severidad de los daños causados por insectos depende de la propia naturaleza de la especie fitófaga y de la susceptibilidad y etapa de desarrollo del cultivo. Las plagas que más aquejan al cultivo de guanábana son el complejo de insectos barrenadores.<sup>26</sup> El barrenador de la semilla, *B. cubensis*,<sup>27</sup> destaca como la mayor amenaza para la CPG, afectando alrededor del 72 % de la guanábana nayarita (Cayeros et al., 2017). Los insectos xilófagos son capaces de perjudicar el cultivo desde sus primeros brotes. Se alimentan de la madera de ramas y tallos causando la sintomatología conocida como muerte descendente.<sup>28</sup> Recientemente, se detectaron plagas en Compostela, que no se habían observado anteriormente. La cochinilla rosada del hibisco (*M. hirsutus*),<sup>29</sup> originaria del sureste de Asia, destaca como el insecto con mayor número de ejemplares en Compostela.<sup>30</sup> La amenaza que representa advierte la necesidad de implementar medidas de control fitosanitario capaces de prevenir la infiltración de especies foráneas.

## *2. Prácticas de manejo del cultivo ineficientes*

Las deficiencias en el manejo del cultivo es otra problemática que puede surgir desde las primeras etapas de la CPG. Es un conjunto de problemas de tipo cultural que se atribuye al fuerte arraigo a prácticas de manejo tradicionales prevalente en Compostela. Los actores de la CPG no utilizan técnicas más eficientes debido a la falta de actualización en la oferta tecnológica disponible y la inversión económica insuficiente. Modificar ligeramente el manejo del cultivo podría evitar gran parte de



las pérdidas relacionadas a problemas fitosanitarios. En Compostela, tradicionalmente se cultiva la guanábana con una densidad de siembra baja (280 plantas por hectárea), generando rendimientos de entre seis y ocho toneladas por hectárea sin utilizar sistema de riego<sup>31</sup> y con pocas labores de mantenimiento<sup>32</sup> (véase Figura 1B). Sin mantenimiento, los árboles crecen rodeados de hojarasca y frutos caídos, exponiéndose a un ambiente cálido, húmedo y poco ventilado que representa un riesgo para la propagación de enfermedades.

### *3. Dependencia de la Polinización Natural*

La polinización natural ineficiente es un riesgo biológico importante para la CPG de Compostela y depender exclusivamente en este método es un riesgo de tipo cultural. La guanábana se poliniza naturalmente por la acción de escarabajos<sup>33</sup> y en Compostela no se acostumbra polinizar manualmente. La naturaleza y comportamiento de los coleópteros es determinante para el desarrollo de frutos. Cuando la población de escarabajos escasea, la polinización disminuye.<sup>34</sup>

Los escarabajos son polinizadores ineficientes, su cuerpo liso dificulta la adhesión y transporte del polen lo que afecta directamente el cuajado de la fruta y la productividad de los huertos. Al polinizar las flores, los coleópteros, provocan heridas con su aparato masticatorio que inducen la formación de frutos defectuosos. Los escarabajos también causan problemas como daños físicos a los árboles y heterogeneidad fenotípica en frutos. El traslape fenológico de flor, frutos en desarrollo y frutos maduros observado en la guanábana nayarita resulta de la alta variación genética en plantaciones propagadas por semillas provenientes de la polinización natural cruzada<sup>35</sup> (Hernández et al., 2017). La polinización natural afecta toda la CPG, ya que los consumidores prefieren productos de alta calidad, uniformes y con un suministro constante o estacional.

### *4. Naturaleza perecedera del fruto*

La corta vida poscosecha de la guanábana es un riesgo biológico grave para la CPG. Una vez separados del árbol los frutos continúan respirando y transpirando

normalmente, pero son incapaces de reemplazar el agua, azúcares y otros metabolitos que mantienen su homeostasis. Deben sobrevivir utilizando sus propias reservas y la velocidad en que las pierden es un factor de gran importancia en su vida poscosecha. Existen diversos factores fisiológicos que inducen la senescencia temprana en guanábana. Su patrón respiratorio muestra una tasa de respiración muy alta durante el climaterio. La gradual pérdida de agua por transpiración disminuye el peso de los frutos y provoca consigo la pérdida de turgencia y elasticidad. La guanábana produce abundante etileno.<sup>36</sup> La presencia de enzimas como polifenol oxidasa (PPO) y peroxidasa (POD) ocasionan pardeamientos y la pectina metilesterasa (PME) cataliza la degradación de la pared celular (Jiménez et al., 2017). El efecto combinado de estos factores fisiológicos incide en la calidad de los frutos, acelerando primero el advenimiento de madurez de consumo y después la senescencia. En su senescencia, la guanábana pierde aceleradamente los atributos deseables para consumidores cambiando su apariencia perceptiblemente.

##### *5. Manejo deficiente de fruto fresco*

El deterioro rápido de frutos de guanábana se acelera por la falta de cuidados. El desapego a las buenas prácticas de manejo de frutos frescos es una problemática cultural que inicia con la cosecha y afecta eslabones subsecuentes. La guanábana es un fruto difícil de manipular.<sup>37</sup> La cosecha a primeras horas de la mañana disminuye su exposición al calor, pero no se practica regularmente. Cuando su piel se rasga la pulpa queda expuesta al medio ambiente, se oxida rápidamente y toma un aspecto desagradable. La vulnerabilidad de los frutos aumenta cuando se transportan en tractocamiones a granel, donde la posibilidad sufrir impactos es alta. Son pocos los productores con medios de transporte e instalaciones de acopio acondicionados para manejar grandes volúmenes de guanábana. Este tipo de descuidos explica la pérdida de entre el 25 y 35 % de la producción (Ramírez, 2008; Jiménez et al., 2017).

La falta de recursos económicos propicia el uso de vehículos que exponen los frutos al sol, el viento y altas temperaturas, acelerando su senescencia. Datos de la FAO (2003) indican que 13°C es su temperatura de almacenamiento ideal,<sup>38</sup> logrando una vida de anaquel de entre 7 y 14 días (López, 2003). El uso de sistemas



de refrigeración también implica riesgos, la guanábana es muy susceptible a bajas temperaturas, presentando síntomas de daño por frío<sup>39</sup> a menos de 18°C.

### *6. Limitantes en la exportación de guanábana fresca*

La comercialización de frutos exóticos es muy lucrativa en Estados Unidos y la Unión Europea, donde un gran sector de la población se integra de consumidores conscientes interesados en su salud nutricional, dispuesto a pagar altos precios para incorporar a su dieta frutos con alto valor nutricional y propiedades curativas. En estos mercados, la popularidad de la guanábana aumentó recientemente debido a la difusión de las diversas propiedades medicinales que se le atribuyen. Esto ha atraído la atención de países productores de guanábana latinoamericanos, que a pesar de producir menos que México se han colocado como proveedores importantes a nivel internacional.<sup>40</sup>

Exportar frutos frescos a Estados Unidos incrementaría significativamente los ingresos percibidos por la CPG de Compostela. Lamentablemente, por razones de seguridad fitosanitaria México aún no cuenta con permiso para introducir guanábana fresca a territorio americano. A esto se suma una campaña publicitaria insuficiente. Existe muy poco material en medios de comunicación que promueva la guanábana mexicana. Esta problemática mantiene limitado el comercio de guanábana a mercados y centrales de abastos cercanos a la comunidad productora.

### *7. Elaboración y venta de subproductos insuficiente*

La CPG de Compostela se enfoca, casi exclusivamente, en proveer frutos frescos al mercado. El 48 % de los productores de la CPG se limita a la venta de fruto fresco sin ningún proceso de transformación. Los resultados de una encuesta aplicada al 16 % de los productores de guanábana de Compostela, destacan la convicción prevalente de que se requiere generar productos con valor agregado para beneficiar socioeconómicamente a los productores y sus familias (Cayeros et al., 2017). La escasez de subproductos a base de guanábana implica una pérdida económica considerable para la CPG, ya que limita el comercio con diferentes regiones y tipos

de consumidores. Esta problemática de tipo cultural se debe parcialmente al desconocimiento de las propiedades y el potencial económico de los subproductos de guanábana.<sup>41</sup>

### *8. Distribución inequitativa de ganancias*

La venta de frutos de guanábana en centrales de abastos y supermercados genera ganancias muy superiores al costo de producción. Lamentablemente, el flujo de capital que aportan los consumidores no se distribuye equitativamente entre los eslabones de la cadena. Los intermediarios y dueños de puntos de venta retienen gran parte de las ganancias (Piedragil, 2017). El sistema productivo es el eslabón de la CPG que requiere más tiempo, atención e inversión de recursos económicos. No obstante, con la venta de frutos, los productores regularmente solo consiguen recuperar los costos de producción. Este problema de tipo cultural genera sobrecostos al consumidor final<sup>42</sup> (Tierra Fértil, 2014).

### *Puntos débiles de menor riesgo*

Entre los puntos débiles de menor riesgo se halla la heterogeneidad fenotípica<sup>43</sup> en guanábana y la eliminación de insectos benéficos<sup>44</sup> por el uso de plaguicidas. Se encontró que ambos son consecuencia de riesgos altamente peligrosos. No se buscaron PCC para abordarlos ya que no requieren atención inmediata y PCC que abordan problemas altamente peligrosos podrían minimizar o eliminar estos riesgos menores (véase Figura suplemental 7).

### *Principales puntos críticos de control y orden de intervención*

Las soluciones con potencial se discutieron en una asamblea del panel de expertos, se evaluó cada una con el árbol de decisiones. Se identificaron 15 que la CPG debe establecer como PCC para reducir o eliminar riesgos. El OI se diseñó en base a la

efectividad, potencial de desarrollo, plazo y dificultad de implementación de los 15 PCC, priorizando PCC con mayor facilidad de implementar, y mayor impacto para la CPG (véase Figura 4).



Figura 4. Orden de intervención propuesto y porcentaje de relevancia de cada punto crítico de control en la cadena productiva de guanábana en Compostela.

Fuente: elaboración propia.

### *Podas de saneamiento*

Las podas de saneamiento ocupan el primer lugar del OI, con el porcentaje de relevancia más alto (80 %). La poda es una labor cultural de mantenimiento que aborda dos problemáticas importantes: control fitosanitario y manejo del cultivo. Este PCC es fácil de implementar, los instrumentos necesarios son asequibles y solo requiere capacitación básica. La poda mejora la aeración, penetración de luz solar y limpieza de los huertos; permiten la detección oportuna de infestaciones capaces de dañar al árbol y sus frutos. Eliminar las partes afectadas controla fuentes donde pueden crecer fitopatógenos previniendo infecciones fúngicas graves como la antracnosis y la muerte descendente de ramas (Prior et al., 1992; Prusky, 2008;

Hernández et al., 2013). Esta práctica es altamente redituable y puede implementarse inmediatamente. Árboles de talla menor permiten cosechar cómodamente, disminuyendo la cantidad de golpes que sufren los frutos (Reyes, Aceves, Caamal y Alamilla, 2018). Se recomienda podar en épocas de lluvia escasa, cuando los suelos se encuentren completamente secos, antes del inicio de la floración, para incrementar su eficiencia (Hernández, Gómez, y Agustín, 2013). Se estima que este PCC aumentaría por lo menos 30 % la productividad de la CPG.

### *Embolsado de frutos*

En segundo lugar, con 78 % de relevancia se colocó el embolsado de frutos, el método de control más efectivo para el barrenador de la semilla (*B. cubensis*), la plaga que más afecta la guanábana. Esta práctica económica, rápida y sencilla, logra un control del 98 al 100 % del barrenador de la semilla cuando se realiza durante etapas tempranas de desarrollo<sup>45</sup> (Hernández et al., 2014; 2008). Previene enfermedades fúngicas que utilizan heridas creadas por *B. cubensis* para ingresar al fruto. Se ha evaluado una gran variedad de materiales de embolsado que probaron ser más efectivos que insecticidas de uso común. Sin embargo, cada material conlleva una problemática propia.<sup>46</sup> Se estima que el embolsado aumentaría alrededor de 70 % la producción de la CPG de Compostela.

### *Asesoría, apoyo técnico y apropiación social de la ciencia*

En tercer lugar, del OI, con 76 % de relevancia, se propone el fomento gubernamental de esta industria mediante apoyos económicos, asesoría técnica y difusión de información. Optimizar la dinámica de la CPG requiere fomentar la comunicación entre los eslabones y actores que la integran por lo que implementar programas de apropiación social de la ciencia podría ser clave para potenciar su desarrollo. El trabajo conjunto entre actores de la CPG y dependencias gubernamentales<sup>47</sup> es vital para generar y difundir información técnica entre los productores, comercializadores, industria e instituciones de investigación. Los programas de capacitación en el manejo del cultivo, control fitosanitario y

estrategias de conservación son una medida efectiva para optimizar el rendimiento de las cadenas productivas.

Los programas de apropiación social de la ciencia buscan que los valores e intereses públicos reflejen resultados alcanzados mediante el desarrollo cooperativo de tecnologías que permitan solucionar la problemática actual. Esto se logra por medio del acceso a la transferencia de nuevas tecnologías, artículos y manuales que impulsen la innovación. Los conocimientos generados por la investigación de frontera contemplan nuevos paradigmas, enfoques, tendencias y planteamientos que al hacerse de dominio público facultan a los ciudadanos con información para tomar decisiones en el uso de tecnologías y productos científicos (Estebanez, 2010). Este tipo de programas pueden implementarse a mediano plazo, pero requieren la coordinación efectiva entre gobierno, dependencias, centros de investigación, actores de la CPG y una importante inversión de recursos humanos y capital.

Crear bancos de germoplasma *in situ* de guanábana en Compostela es un proyecto biotecnológico con potencial, ya que esta zona presenta una amplia variedad genética (Ortiz, 2015). La micropropagación de cultivos es rápida, eficiente y altamente redituable a corto plazo. Busca reproducir líneas progenitoras sobresalientes<sup>48</sup> a fin de mejorar los rasgos agronómicos del cultivo e incrementar las ganancias de la cadena productiva de la guanábana.

El enfoque de las investigaciones de frontera en guanábana se centra en el estudio de su cutícula<sup>49</sup> debido a que se relaciona con los riesgos de mayor impacto (corta vida de anaquel, problemas fitosanitarios, daño por frío). Actualmente, se estudia la estructura y composición química de la cutícula, la identificación de los genes involucrados en la biosíntesis de sus componentes y la relación que tiene con la fisiología del fruto.<sup>50</sup> Bajo este contexto, la secuenciación del transcriptoma de exocarpo de guanábana podría establecer las bases para un programa de mejoramiento genético asistido por marcadores moleculares para el desarrollo de variedades de guanábanas con vida de anaquel extendida (Berumen, Hernández y Tiznado, 2019).

### *Prácticas culturales*

El cuarto y quinto lugar de este OI lo ocupan actividades de manejo del cultivo tradicionales que se han descuidado, a pesar de ser efectivas para el control de plagas y enfermedades cuando se realizan de manera periódica. La eliminación de frutos caídos y aquellos con síntomas de infección que aún se encuentran adheridos al árbol obtuvo un 72 % de relevancia y la remoción de hojarasca y maleza acumulada bajo el árbol y alrededor de la base de las ramas principales se colocó en sexto lugar con 68 %. La implementación de este par de prácticas culturales es sencilla, económica y redituable. Ambas contribuyen a eliminar fuentes de inóculo y prevenir infecciones como la muerte descendente de ramas (Hernández et al., 2014). Adoptar estas prácticas podría mejorar la rentabilidad de la CPG en Compostela.<sup>51</sup>

### *Polinización artificial*

En sexto lugar, con 60 % de relevancia, se sugiere polinizar manualmente.<sup>52</sup> Este PCC evita depender de insectos polinizadores y es una excelente alternativa para aumentar la productividad de la CPG.<sup>53</sup> Cuando se conoce la técnica, esta labor es relativamente sencilla y puede implementarse a corto plazo. Implementarla a mayor escala en Compostela tiene gran potencial de desarrollo, ya que es altamente efectiva en países con climas similares como Brasil (Pinto de Lemos, 2014).

### *Control de temperatura en poscosecha estricto*

Regular la temperatura para preservar los frutos se sitúa en séptimo lugar, con 58 % de relevancia. La temperatura estándar sugerida para almacenar guanábanas es de 15°C, ya que en estas condiciones se logra retrasar tres días el proceso de maduración<sup>54</sup> (Jiménez, et al., 2017)<sup>55</sup> Este PCC es altamente redituable para la CPG ya que al conservar la calidad de los frutos se facilita la venta.



### *Elaboración de subproductos*

La elaboración de subproductos en base a guanábana ocupa el octavo lugar de OI con 57 % de relevancia. Todo proceso de industrialización de guanábana inicia con el despulpado.<sup>56</sup> Esta práctica previene mermas, permite almacenar el producto y extender significativamente el plazo de tiempo para su venta, aprovechando así el cien por ciento de la producción. Esto facilita la espera al aumento de precio de venta, permitiendo el comercio especulativo con industrias que elaboran productos como helados, repostería, yogures y bebidas. Asimismo, fomenta la exportación ya que estos productos no deben cumplir medidas fitosanitarias tan estrictas como el fruto fresco. Sin embargo, a largo plazo mantener el costo de almacenamiento podría resultar no redituable y no todas las familias de productores pueden costear el uso de congeladores.<sup>57</sup>

La pulpa no es el único tejido de guanábana con potencial de comercialización. Conocer las propiedades medicinales de la guanábana facilitaría su promoción y evitaría el desperdicio de partes subutilizadas como semillas y hojas.<sup>58</sup> La venta de estos tejidos remanentes es altamente redituable y tiene gran potencial en mercados internacionales de alto valor. Mientras que en Compostela buena parte de las semillas y hojas de guanábana se desecha, proveedores de más de 20 países ofertan estos productos en línea.<sup>59</sup> La guanábana mexicana no tiene presencia en estos sitios de internet eliminando consigo la oportunidad de competir en mercados de alto valor. Se estima que si el resto de los productores implementara este PCC la CPG de Compostela incrementaría sus ingresos en al menos quince por ciento.

### *Certificación de frutos frescos*

Certificar que los frutos están libres de plagas y enfermedades ocupa el noveno lugar del OI. Este PCC tiene una relevancia del 54 %. Su implementación facultaría la exportación de guanábana fresca mexicana a mercados de alto valor como el de Estados Unidos,<sup>60</sup> pero usualmente requieren la validación de numerosas autoridades fitosanitarias nacionales e internacionales. México aún no cuenta con el permiso para exportar guanábana a Estados Unidos, pero el 2 de mayo del 2019, después de un análisis de plagas y gestión de riesgos, el Servicio de Inspección de

Salud Animal y Vegetal (APHIS) emitió un comunicado que reconsidera la propuesta del gobierno mexicano para importar 200 toneladas de guanábana.<sup>61</sup>

El comunicado estipula que la importación de guanábana fresca a Estados Unidos solo se realizará bajo condiciones específicas.<sup>62</sup> Dicho comunicado se sometió a un periodo de escrutinio; recibió comentarios hasta el 1 de julio de 2019. Actualmente, se espera la decisión final de la APHIS y se pronostica que gracias al nuevo T-MEC la exportación de productos agrícolas a Estados Unidos y Canadá se mantendrá libre de aranceles (APHIS, 2020a).

### *Uso de injertos*

En décimo lugar, con 26 % de relevancia, se encuentra el uso de injertos. Este método de propagación, realizado por técnicos especializados, es muy efectivo ya que permite fijar características de los progenitores o replicar cualidades de cepas provenientes de otras regiones. Consiste en unir dos plantas para que continúen su desarrollo como una sola.<sup>63</sup> El beneficio económico del uso de injertos es difícil de calcular y solo se perciben a largo plazo.

### *Control biológico*

El control biológico de plagas, con 45 % de relevancia se sitúa en el lugar once. Consiste en liberar enemigos naturales (depredadores o parásitos) de la plaga en cuestión para eliminar la infestación. El control biológico representa una alternativa natural a los métodos de control químico sin sus efectos secundarios perjudiciales, por lo que se considera significativamente redituable. Al igual que otros PCC, este método de control fitosanitario debe realizarse con precaución, ya que es posible provocar desequilibrios en el ecosistema capaces de interferir con la productividad de la CPG. En guanábana, el control biológico ha resultado altamente eficaz para combatir la cochinilla rosada del hibisco. Se conocen 26 especies parasitoides y 46 depredadoras para esta plaga.<sup>64</sup> En el caso de *B. cubensis*, aún no se ha encontrado un parásito o depredador asociado,<sup>65</sup> pero podría experimentarse con enemigos naturales de especies similares como *B. maculicollis*.

### *Uso de recubrimientos en poscosecha*

El doceavo lugar del OI de la CPG, con una relevancia del 44 %, es la aplicación de recubrimientos a frutos durante la poscosecha. La tecnología de recubrimientos extiende la vida de anaquel, previene infecciones fúngicas y puede implementarse a corto plazo. Los recubrimientos pueden obtenerse en tiendas de agroquímicos y las diluciones se preparan a baja concentración.

El quitosano es un biopolímero relativamente económico que ha demostrado alta efectividad para retrasar la descomposición de frutos mediante múltiples mecanismos de acción. Su aplicación durante la poscosecha de guanábana resulta redituable porque ayuda a controlar infecciones fúngicas de gran impacto como *C. gloeosporioides* y *R. stolonifer* sin afectar parámetros de calidad<sup>66</sup> (Ramos, González, Montalvo, Miranda, y Gutiérrez., 2018; Ramos et al., 2020). Otro recubrimiento que ha mostrado efectividad es la mezcla de cera con 1 metilciclopropeno (1-MCP). Su aplicación conjunta inhibe la acción del etileno retrasando la maduración y pérdida de firmeza de los frutos, prolongando así su vida poscosecha (Coêlho de Lima y Alves, 2011; Jiménez et al., 2017).

### *Incorporación al programa de precios de garantía*

Establecer precios de garantía justos que contrarresten los efectos nocivos que tiene el intermediarismo en la CPG ocupa el treceavo lugar de este OI, con 42 % de relevancia. Este PCC aborda la problemática de distribución inequitativa de las ganancias. El Programa de precios de garantía<sup>67</sup> establece el valor mínimo de adquisición para productos del campo y aplica a productores que cumplen ciertas características. El programa del gobierno federal está a cargo de Seguridad Alimentaria Mexicana.<sup>68</sup> Actualmente, este programa se encuentra vigente, pero aún no contempla a la guanábana y su implementación podría demorarse de corto a mediano plazo dependiendo del proceso de registro (Arámbula, 2020).

### *Control químico*

En el lugar catorce se encuentran los métodos de control químico con una relevancia del 41 %. Los plaguicidas sirven para repeler, prevenir o controlar cualquier plaga, maleza o enfermedad, que se manifieste en cualquier eslabón de la CPG. Son resultado del trabajo conjunto del laboratorio y el campo.<sup>69</sup> Cada agroquímico tiene una composición diferente y su uso requiere un consumo responsable que considere las ventajas y desventajas específicas de cada producto. Son muy populares entre agricultores por su facilidad de uso y la efectividad inicial inmediata, con un control de infestaciones cercano al cien por ciento en la primera aplicación. Sin embargo, son causa de controversia debido a numerosos reportes de efectos secundarios serios, que en ocasiones no se perciben hasta tiempo después.<sup>70</sup> En Compostela, se han aplicado, con buenos resultados, insecticidas como malatión, dimetoato y cipermetrina para controlar infestaciones de *B. cubensis* (Hernández et al., 2014).

Los plaguicidas pierden efectividad después de la primera aplicación.<sup>71</sup> Su uso repetido provoca el desarrollo gradual de mecanismos de tolerancia<sup>72</sup> en los insectos que trata de eliminar. Satisfacer las necesidades del mercado aumenta cada vez más el costo de fabricación de plaguicidas.

### *Tecnología de empaques*

El uso de tecnologías de empaque y procesamiento se colocó en el lugar quince con 27 % de relevancia. La comercialización de frutos de guanábana se beneficiaría con el uso de empaques adecuados. La composición de los materiales de empaque influye en la preservación de los frutos. Idealmente esta barrera los protege de factores internos como los gases que se producen durante el proceso metabólico de maduración y externos como daños físicos y posible contaminación química durante su transporte y almacenamiento.



Las cajas de plástico con una esponja de cuatro centímetros de espesor al fondo protegen al fruto durante el traslado. Los frutos deben colocarse en las cajas inmediatamente después de ser cosechados, sin sobresaturarlas a fin de evitar impactos entre ellos (Hernández et al., 2017). El uso empaques de poliestireno resulta efectivo por sus propiedades aislantes debido a su composición de más de 95 % de aire. Se recomienda empaquetar la guanábana individualmente en bandejas de poliestireno y revestirlas con una película de polietileno flexible. A una temperatura de entre 12 y 14 °C esta práctica mantiene la calidad de los frutos hasta por 22 días (Jiménez et al., 2017; Silva et al., 2001). Para usar estos empaques se requiere capital para adquirirlos y capacitar al personal en contacto con los frutos. Este tipo de tecnologías para el manejo poscosecha es redituable y su implementación podría realizarse en un plazo de seis meses a un año.

## Conclusiones

La CPG genera una derrama económica cercana a los 250 millones de pesos anuales en Compostela. Con la mayor producción de guanábana en el mundo y tiene potencial de colocarse como el principal exportador a nivel internacional. La supervisión disciplinada de PCC de carácter preventivo podría solucionar problemas desde su origen y detectar situaciones adversas a tiempo para administrar PCC de tipo correctivo. Futuros esfuerzos de investigación de frontera deben enfocarse en el desarrollar tecnologías que den solución a riesgos múltiples, como el análisis de la cutícula del fruto. La base de datos generada puede servir como punto de partida para otros proyectos de investigación dirigidos a diferentes cultivos y frutas tropicales, así como en la elaboración de manuales específicos para diferentes actividades o eslabones de la CPG.

Un cálculo conservador indica que de implementarse el OI con los PCC sugeridos, la CPG aumentaría sus ganancias al menos 175 % en un corto a mediano plazo. Para el municipio de Compostela, esto implica una derrama económica de alrededor de 1,062.00 millones de pesos anuales con posibilidad de incrementar aún más mediante la mejora continua de la CPG, lo cual contribuiría positivamente al desarrollo económico de la región.

Notas al pie:

<sup>1</sup> PCC es cualquier fase en la que puede aplicarse un control y que es esencial para prevenir o eliminar un peligro relacionado con la inocuidad de los alimentos o para reducirlo a un nivel aceptable (FAO, 2002). En este escrito, este concepto se amplía a cualquier fase en los eslabones de la cadena productiva (CP) en la que puede aplicarse un control y que es esencial para prevenir o eliminar un peligro que obstaculice la comercialización del producto.

<sup>2</sup> Fuentes indirectas: bases de datos, artículos, tesis, revistas, noticias, casos de éxito, manuales de manejo y control fitosanitario, instrumentos para analizar cadenas productivas y propuestas de innovación comercial. Fuentes directas: entrevistas y observaciones realizadas durante visitas a huertos y puntos de venta.

<sup>3</sup> Instrumento que registra los diferentes puntos débiles que presenta la CPG en cada etapa. Clasifica los riesgos según su origen (biológico, físico, químico o cultural) e identifica las condiciones que los propician, la etapa donde se presentan por primera vez, etapas directamente afectadas, actores involucrados y posibles soluciones.

<sup>4</sup> La probabilidad de incidencia se evaluó con la siguiente escala: nulo (1), poco probable (2), ocasional (3), probable (4) y frecuente (5); y la severidad o grado de impacto a la calidad como: negligible (1), bajo (2), mediano (3), alto (4) y crítico (5). Para determinar la significancia (Sig) de cada riesgo se multiplicó el valor de la probabilidad de ocurrencia (P) por su grado de severidad (S) [Sig=S\*P]. Los riesgos con valores superiores a 10 se categorizaron como riesgos con alta capacidad para provocar efectos negativos y los valores menores a 10 como riesgos poco significativos.

<sup>5</sup> Instrumento compuesto de seis preguntas secuenciales que permiten un examen objetivo de la oferta tecnológica para precisar cuáles soluciones deben implementarse en una CP. Siguiendo esta secuencia lógica se descartan soluciones para riesgos que permiten que el producto llegue al consumidor o no son efectivas para prevenir la contaminación del producto.

<sup>6</sup> Efectividad (C1), potencial de desarrollo (C2), plazo (C3) y dificultad de implementación (C4)

<sup>7</sup>  $[R = (C_1 + C_2 + C_3 + C_4) * ]$

<sup>8</sup>  $(R_{max}) [ \%R = (R * 100) / R_{max} ]$

<sup>9</sup> Productores, intermediarios, transportistas y proveedores de insumos, tecnología, asesoría técnica o apoyo económico.

<sup>10</sup> Temperatura media anual de 22.9°C que solo varía 5.8°C durante el año (Inafed, 2020; climate-data.org,2020).

<sup>11</sup> El 79 % del territorio presenta un relieve accidentado o semiaccidentado (Ayuntamiento Compostela, 2017)

<sup>12</sup> En el 70 % de los suelos de la región predomina una mezcla de feozem háplico y regosol éutrico. El feozem forma una cubierta superficial rica en humus, mientras que los depósitos de regosol aportan roca, arena y sedimentos

<sup>13</sup> La densidad de siembra y el sistema de riego afectan el comportamiento y rendimiento del cultivo, así como la incidencia de plagas y enfermedades (Hernández, Gómez, López y Castañeda 2013).

<sup>14</sup> Como pendiente, calidad del suelo y disponibilidad de agua.

<sup>15</sup> Las flores de guanábana son hermafroditas y se distribuyen principalmente en el tronco y axilas de ramas gruesas. En árboles jóvenes se presentan en forma solitaria y en árboles mayores a seis años se agrupan en cojines florales.

<sup>16</sup> De forma oval cónica, parecida a un corazón.

<sup>17</sup> Los frutos alcanzan su tamaño máximo y se encuentran maduros fisiológicamente alrededor de 160 días después de la antesis. El cambio en la tonalidad de la epidermis, de verde oscuro a verde más claro (mate), y la pérdida de rigidez de los rudimentos estilares son indicadores de que se encuentran aptos para la cosecha (Worrell, Carrington y Huber 1994). Otro índice de madurez es un contenido de sólidos solubles totales mayor a 7° Brix en el jugo extraído de la pulpa (Jiménez et al., 2016).

<sup>18</sup> El 48 % de los productores venden los frutos sin aplicar ningún proceso de transformación (Cayeros et al., 2017). Buena parte de la guanábana cosechada en Compostela se envía al centro de acopio y empaque del municipio Las Varas, donde pasa por un proceso de clasificación manual en el que se retira la fruta defectuosa, tierna o en mal estado, se seleccionan según su grado de madurez y se empacan en cajas que se envían al mercado (Piedragil, 2017).

<sup>19</sup> En diciembre del 2019, un kilo de guanábana fresca costaba 15 pesos (Véase Figura suplemental 6).

<sup>20</sup> Jalisco, Ciudad de México, Puebla y Michoacán (Solís, 2019).

<sup>21</sup> Gran parte de los datos disponibles no se enfocan específicamente en este cultivo, provienen de otros países o requieren actualizarse.

<sup>22</sup> El desarrollo a profundidad de las particularidades específicas de cada plaga o enfermedad va más allá del objetivo de este trabajo, pero el lector interesado podrá encontrar más información al respecto en la revisión de Hernández et al. (2014).

<sup>23</sup> El agente causal de esta infección es el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* Penz.

<sup>24</sup> Los frutos que se infectan durante etapas de desarrollo tempranas se secan y permanecen adheridos al árbol, convirtiéndose en fuentes de propagación del patógeno. En frutos maduros, la infección se manifiesta como pequeñas manchas de color negro en el exocarpo que eventualmente se unen formando áreas necróticas agrietadas. Al podrirse la pulpa subyacente se torna oscura y se seca, adquiriendo una consistencia corchosa.

<sup>25</sup> Las salpicaduras diseminan sus conidios y la humedad relativa alta facilita la infección.

<sup>26</sup> (*Bephratelloides cubensis*, *Cerconota anonella*, *Oenomaus ortygnus*, *Optatus palmaris*, *Talponia batesi* Heinrich). La infestación de estos insectos puede afectar hasta el 90 % de la producción (Hernández, Gómez y Orozco, 2014).

<sup>27</sup> Las hembras de esta especie ovipositan sobre frutos jóvenes en fase de “cepillo”, insertando sus huevos en semillas inmaduras. Las larvas se desarrollan dentro de la semilla, alimentándose de su endospermo hasta formar pupas. Después de la metamorfosis, *B. cubensis* adulto eclosiona de su pupa y barrena la semilla, la pulpa y el exocarpo del fruto para llegar al exterior. Aunque los orificios de uno a dos milímetros de diámetro resultantes en la piel del fruto no representan un daño físico significativo, repercuten directamente al rendimiento del fruto. Al perder sus barreras naturales se expone a una mayor pérdida de agua y partes de la pulpa se oxidan debido a la interacción directa con el medio ambiente. Estos agujeros facilitan el acceso de hongos patógenos e insectos como hormigas o coleópteros pequeños (Hernández et al., 2014). Los daños ocasionados por *B. cubensis* comprometen la calidad del fruto y aceleran su descomposición.

<sup>28</sup> En 2010, se encontraron árboles con muerte descendente en el 15 % de los huertos de guanábana del ejido Altavista en Compostela. En huertos afectados se registraron daños entre el 40 a 100 % de los árboles muestreados. Los árboles infestados presentan lesiones hasta en el 60 % de sus ramas (Hernández, Gómez, López y Castañeda, 2018).

<sup>29</sup> *M. hirsutus* succiona la savia de tejidos vasculares provocando deformaciones en hojas, tallos, ramas, flores y frutos.

<sup>30</sup> Presente con un alto índice de ejemplares en ocho huertos de guanábana del municipio según el inventario de insectos asociados a guanábana publicado recientemente por Cham et al. (2019).

<sup>31</sup> El riego por temporal predomina en la mayoría de los huertos del municipio. El 70 % de los productores no tiene interés en el uso de sistemas de riego tecnificado, como el riego por goteo. Consideran que, en parcelas con características como las suyas, el alto costo de implementación sería poco redituable (Cayeros et al., 2017).

<sup>32</sup> Algunos productores suelen aplicar fertilizantes dos veces al año durante épocas de lluvia (Piedragil, 2017), pero raramente realizan análisis foliar o de suelo para identificar las necesidades del cultivo. Es común que los productores realicen podas de formación en árboles jóvenes, pero una vez que comienzan a producir, regularmente los dejan crecer libremente. Las podas de saneamiento, diseñadas para evitar la propagación de enfermedades como la muerte descendente, solo se realizan esporádicamente.

<sup>33</sup> La cantarofilia es un síndrome floral biótico que se manifiesta en el tono amarillo de los pétalos de guanábana, detectable por el sentido visual poco desarrollado de escarabajos; y por los compuestos atrayentes rastreables a través de distancias largas que liberan.

<sup>34</sup> La problemática se agudiza por insecticidas y herbicidas aplicados para combatir plagas que también merman poblaciones de insectos polinizadores.

<sup>35</sup> Estas plantas son heterogéneas en cuanto a su crecimiento, floración, producción y susceptibilidad a plagas y enfermedades (Pinto et al., 2005). Este método de propagación impide conocer las características de sanidad y productividad de los progenitores, facilitando el desarrollo de características fenotípicas que no convienen al agronegocio.

<sup>36</sup> Fitohormona que acelera el proceso de maduración de frutos (Jiménez et al., 2017)

<sup>37</sup> La guanábana es un fruto frágil, de gran tamaño y forma irregular (Castillo, Varela, Pérez y Pelayo, 2005). Se lesionan fácilmente cuando se golpean, manifestando manchas marrones que estropean su estética.

<sup>38</sup> Experimentos más recientes reportan un retraso de tres días en la maduración cuando se almacenaron a 15°C (Silva et al., 2001; Jiménez et al., 2017).

<sup>39</sup> El daño por frío se manifiesta en el endurecimiento de la fruta y el desarrollo de un color café parduzco o negro en su corazón que se extiende gradualmente de la pulpa hacia la cáscara (Castillo et al., 2005). En casos de daño interno severo, las manchas pueden apreciarse como hundimientos distribuidos irregularmente en la piel del fruto. Temperaturas consideradas óptimas entre 12 y 14°C provocan síntomas de daño por frío en solo seis días de almacenamiento (Alves, 1997; Silva et al., 2001).

<sup>40</sup> Semanalmente, Florida recibe entre 1.8 y 5.5 toneladas de guanábana fresca proveniente de Granada, una pequeña isla del Caribe (Sever, 2018). Paralelamente, en Europa se reciben semanalmente cargamentos de guanábana ecuatoriana. Compañías productoras y procesadoras de guanábana ecuatorianas participan en ferias agrícolas europeas, donde divulgan eficazmente las bondades de sus productos, posicionando a Ecuador como el principal proveedor de guanábana en la Unión Europea (Den Herder, 2018).

<sup>41</sup> Cerca de la mitad de los productores desconoce las propiedades medicinales de la guanábana, e ignoran que la comercialización de otras partes del árbol es rentable (Cayeros et al., 2017, p. 34).

<sup>42</sup> En diciembre de 2019, el kilo de guanábana en cadenas comerciales del país se vendía a un precio 4.5 veces más alto que el ofertado en Compostela (Walmart, 2019).

<sup>43</sup> La heterogeneidad fenotípica de guanábana es el resultado de la interacción genotipo ambiente que se manifiesta notablemente en la variedad en tamaño y forma de los frutos y en la asincronía observada en la floración de árboles y maduración de frutos. A pesar de ser un problema prevalente, el impacto sobre la calidad del fruto no es grave. La heterogeneidad fenotípica se debe a su vez a malas prácticas de manejo y otros problemas naturales.

<sup>44</sup> La eliminación de insectos benéficos por el uso de plaguicidas es un problema medianamente severo que ocurre regularmente. La pérdida de insectos polinizadores resulta del uso de plaguicidas, por tanto, es posible disminuir este riesgo implementando métodos de control alternativos.

<sup>45</sup> Frutos menores a 3.1 cm de diámetro.

<sup>46</sup> Quemaduras y frutos de menor tamaño cuando se embolsan en plástico o infestaciones leves por piojo harinoso en frutos cubiertos con tela (Hernández-Fuentes et al., 2008).

<sup>47</sup> Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Nayarit e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

<sup>48</sup> Mejor adaptados al ambiente de la región, resistentes a plagas y enfermedades, mejores parámetros de calidad y larga vida de anaquel. La información disponible respecto a la variabilidad genética de variedades comerciales es escasa ya que el estudio de frutos a nivel molecular requiere de insumos e instalaciones muy costosas.

<sup>49</sup> La cutícula es la cubierta exterior del fruto; funciona como barrera protectora contra los efectos negativos de la radiación solar, reduce la pérdida de agua, protege contra el ataque de hongos, provee soporte mecánico, regula los cambios de temperatura y participa en la interacción con insectos (Tafolla et al., 2013).

<sup>50</sup> En el grupo de trabajo del Laboratorio de Fisiología y Biología Molecular del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. se realizó la secuenciación masiva del exocarpo del fruto de guanábana. Actualmente están terminando la anotación del transcriptoma del exocarpo de guanábana y el análisis de expresión diferencial de los genes participando en la biosíntesis de los componentes cuticulares. Se espera que este recurso genético se convierta en la plataforma que propicie el diseño de protocolos para la creación de variedades de guanábana con características organolépticas, nutricionales, medicinales y fisiológicas mejoradas.

<sup>51</sup> En el colegio de Postgraduados Campus Campeche, un manejo tecnificado del cultivo que incluye prácticas como la siembra en alta densidad, podas de formación, programas de fertilización y riego por goteo logra rendimientos de 28 t/ha después del octavo año. Con una producción cinco veces mayor a la de métodos de cultivo convencionales se generó hasta 663,873 pesos de utilidad por hectárea (Reyes et al., 2018).

<sup>52</sup> Los granos de polen se depositan directamente sobre el estigma utilizando un pincel. Se realiza durante las primeras horas del día, cuando la humedad relativa es alta, para prevenir la deshidratación del polen (Cavalcante, 2000).

<sup>53</sup> La polinización artificial incrementa de dos a cuatro veces el número de frutas por planta. Permite la formación adecuada de frutos, bien llenados y con un peso mayor que los polinizados naturalmente (Cavalcante, 2000; Queiroz y Medrado, 1994; Queiroz y Medrado, 1995; de Lemos, 2014).

<sup>54</sup> Sin embargo, existen reportes de daño por frío a temperaturas de entre 4 y 18°C (Jiménez et al., 2017).

<sup>55</sup> La temperatura ideal de almacenamiento para guanábanas de tono verde oscuro está entre los 20 y los 26°C. Por otro lado, las cosechadas con tono verde claro deben almacenarse de 16 a 18°C, y ajustar la temperatura a 12 y 14°C una vez adquirida una textura firme cambiante (Castillo et al., 2005).

<sup>56</sup> El despulpado consiste en la extracción manual de la pulpa y su congelación inmediata.

<sup>57</sup> Actualmente, el 52 % de los productores del municipio realiza el despulpado (Cayeros, 2017).

<sup>58</sup> Sus hojas se utilizan para elaborar medicinas, suplementos alimenticios, aceites esenciales e infusiones y a partir de sus semillas se elaboran insecticidas alternativos.

<sup>59</sup> Un paquete con cien semillas alcanza precios de hasta 13 dólares en portales de internet como eBay (eBay, 2020).

<sup>60</sup> En Estados Unidos el precio de la guanábana frecuentemente rebasa los 1,000 pesos por kilo (eBay, 2020). En este país no existe la producción comercial de guanábana, pero si la importan desde Granada, las Islas Mariana, Guam, Micronesia y Palau (APHIS, 2020b).



<sup>61</sup> Consideran que, con ese volumen de importación, la población de Estados Unidos se beneficiaría del consumo de guanábana mexicana sin impactar negativamente la economía del país.

<sup>62</sup> Primera, la guanábana fresca se importaría únicamente en envíos comerciales. Segunda, previo a su importación, los frutos tendrían que someterse a inspecciones por parte de la organización de protección fitosanitaria mexicana y recibir tratamientos fitosanitarios. Tercera, se requieren inspecciones en el puerto donde la fruta de guanábana ingresa a los Estados Unidos continentales. Cuarta, México tendría que emitir un certificado fitosanitario que establezca que el envío fue inspeccionado y encontrado libre de plagas cuarentenarias antes de la importación. Quinta, México debe entrar en un plan de trabajo operativo con APHIS detallando los procedimientos diarios que tomará el país para implementar medidas de protección (APHIS, 2020a).

<sup>63</sup> Los injertos se componen de una parte inferior denominada patrón, con un sistema radicular que debe estar bien adaptado al tipo de suelo y condiciones climáticas de la zona de cultivo, y la copa o parte superior que produce frutos con características deseables (Sánchez y Escobar, 2000).

<sup>64</sup> Cuando las infestaciones de cochinilla son altas, usualmente se utiliza el depredador *Cryptolaemus montrouzieri*, y cuando la población es baja se recomienda la liberación de *Anagyrus kamali*, un parasitoide con predilección por la cochinilla rosada (Hernández et al., 2013)

<sup>65</sup> En ambiente de laboratorio, *B. cubensis* se controló al 100 % con el hongo *Paecilomyces lilacinus* pero no se ha probado *in situ* (Hernández et al., 2014).

<sup>66</sup> El tratamiento con quitosano disminuye la pérdida de peso, mantiene la firmeza de los frutos e induce las defensas contra patógenos reduciendo hasta 85 % la infección por antracnosis (Ramos, González, Montalvo, Miranda y Gutiérrez, 2020).

<sup>67</sup> El programa de precios de garantía permite a los productores recibir un precio adecuado a cambio de sus productos frescos además de garantizar la disponibilidad de alimentos para la canasta básica. Bajo este esquema, los centros de acopio designados reciben y pagan el precio de garantía vigente, asumiendo los gastos de almacenaje, conservación, flete y venta de la guanábana y son responsables de vender a precio de mercado sin afectar al consumidor final, absorbiendo solo el diferencial entre el precio de garantía y el precio de mercado para sufragar gastos logísticos y administrativos. Este modelo sostiene que el pequeño y mediano productor tendrán una garantía de precio que les ayudará a incrementar su ingreso y la producción contribuyendo a la seguridad alimentaria y el desarrollo regional.

<sup>68</sup> Organismo dependiente de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

<sup>69</sup> Generalmente administrado desde centros de investigación, donde se estudia el comportamiento de los pesticidas desde la perspectiva agrícola, ambiental y de salud.

<sup>70</sup> En Compostela se aplicaba regularmente malatión activo debido al estudio de Peña y Nagel (1998), que registró un control del 99.6 % de *B. cubensis* y 50 % menos semillas infestadas respecto al testigo. Sin embargo, 26 años más tarde se observó que provoca síntomas de toxicidad en guanábana no reportados anteriormente (Hernández et al., 2014).

LA CADENA PRODUCTIVA DE GUANÁBANA:  
UNA OPCIÓN PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO EN COMPOSTELA, NAYARIT  
ANAYA-DYCK, HERNÁNDEZ-OÑATE, TAFOLLA-ARELLANO, BÁEZ-SAÑUDO, GUTIÉRREZ-MARTÍNEZ, TIZNADO-  
HERNÁNDEZ

---



<sup>71</sup> En la primera aplicación el dimetoato alcanzo un 99.25 % de control del barrenador de la semilla y la cipermetrina 99.2 %. En una segunda aplicación utilizando la misma dosis la efectividad se redujo a 94.1 % y 82.17 % respectivamente (Hernández et al., 2014).

<sup>72</sup> Los mecanismos de resistencia son adaptaciones heredables en la estructura genética de las plagas.

Figuras suplementales

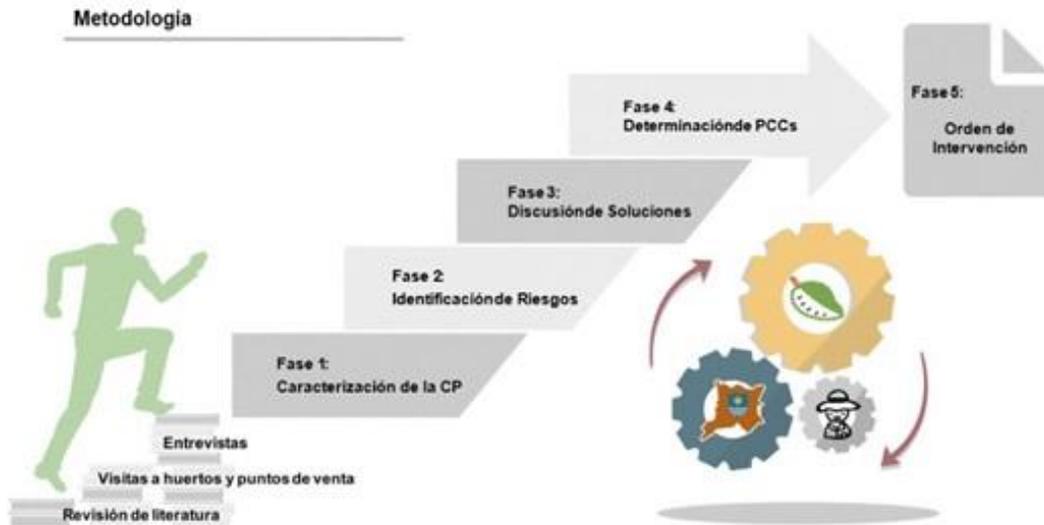


Figura suplemental. 1 Proceso para calcular el orden de intervención óptimo.

**Formato de identificación de Riesgos**

Peligro	Tipo	Primera etapa afectada	Fases directamente afectadas	Causas	severidad	Probabilidad	Sup.	Soluciones	Actores involucrados
Rotación de las canchales	biológico	Sistema Productivo	Sistema Rotativo, Empaque y Almacenamiento, Transporte y Comercialización	Riego, desuido del cultivo	5	4	20	control químico, fitomecánico, cípermetrina	Productores, investigadores, dependencias de gobierno, proveedores de insumos
Anticarsos	biológico	Sistema Productivo	Sistema Productivo, Empaque y Almacenamiento, Transporte y Comercialización	condiciones de humedad, desuido del cultivo, fuentes de inóculo	5	4	20	aplicación de quitosano en paksoche, recolección de hojarasca y frutos caídos	Productores, Proveedores de insumos, Centros de Investigación, dependencias de gobierno
Frutos altamente perecedero	biológico	Empaque y Almacenamiento	Sistema de empaque y almacenamiento	altas temperaturas en zona de recolección y producción de etileno	5	5	25	aplicación de quitosano y 1-NCP en Paksoche, Regular temperatura, equipo de refrigeración adecuado	Productores, Personal que empaqa, almazena, transporta frutos, Centros de Investigación

Fecha: 12/18/2019  
 Nombre: [Redacted]

Figura suplemental 2. Ejemplo de hoja de identificación de riesgos. Adaptado de (Rojas., 2019).

LA CADENA PRODUCTIVA DE GUANÁBANA:  
UNA OPCIÓN PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO EN COMPOSTELA, NAYARIT  
ANAYA-DYCK, HERNÁNDEZ-OÑATE, TAFOLLA-ARELLANO, BÁEZ-SANUDO, GUTIÉRREZ-MARTÍNEZ, TIZNADO-  
HERNÁNDEZ

Cuantificación de Riesgos

Impacto / Severidad del Riesgo	Critico	5	5	10	15	20	25	Rango de significancia: (Exposición)
	Alto	4	4	8	12	16	20	
	Medio	3	3	6	9	12	15	≥ 10 Riesgos Significativos
	Bajo	2	2	4	6	8	10	
	Negligible	1	1	2	3	4	5	≤ 10 Riesgos no Significativos
	Riesgo		1	2	3	4	5	
			Probabilidad casi nula	Poco probable	Ocasional	Probable	Frecuente	
Probabilidad de Ocurrencia del Riesgo								

Figura suplemental 3. Instrumento cuantificador de significancia. Adaptado de (Rojas., 2019).

**Secuencia de decisiones para identificar los Puntos Críticos de Control**

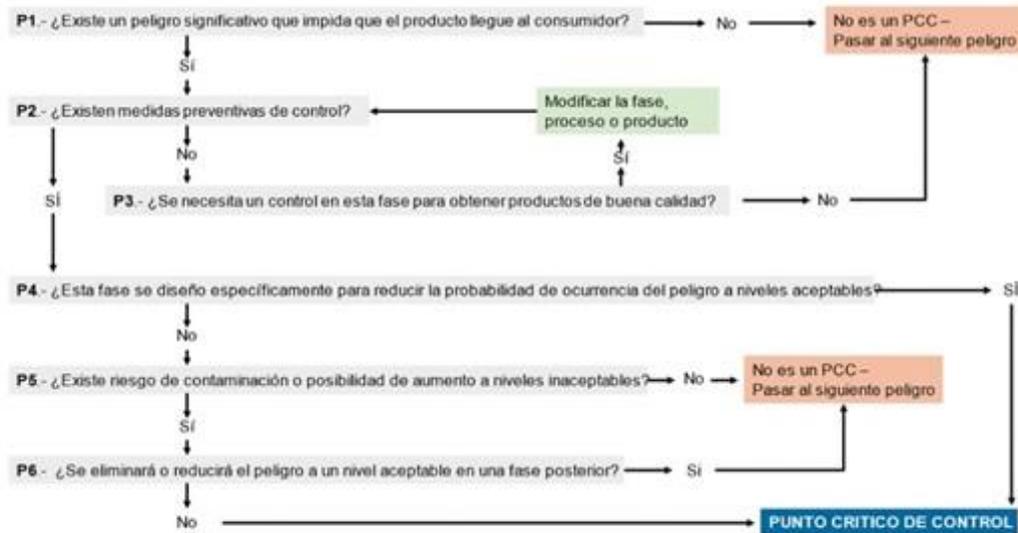


Figura suplemental 4. Árbol de Decisiones. Adaptado de (FAO, 2002).

 <p><b>Dificultad de Implementación</b></p> <p>Rango</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Extremadamente Difícil de Implementar</li> <li>2 Difícil de Implementar</li> <li>3 Posible de Implementar</li> <li>4 Fácil de Implementar</li> <li>5 Extremadamente Fácil de Implementar</li> </ol>	 <p><b>Efectividad</b></p> <p>Rango</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 No Efectivo</li> <li>2 Muy Poco Efectivo</li> <li>3 Poco Efectivo</li> <li>4 Significativamente Efectivo</li> <li>5 Altamente Efectivo</li> </ol>
 <p><b>Potencial de Desarrollo</b></p> <p>Rango</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 No Redituable</li> <li>2 Poco Redituable</li> <li>3 Redituable</li> <li>4 Significativamente Redituable</li> <li>5 Extremadamente Redituable</li> </ol>	 <p><b>Plazo de Implementación</b></p> <p>Rango</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Plazo Muy Largo: Mayor a 5 años</li> <li>2 Largo Plazo: 3 a 5 años</li> <li>3 Mediano Plazo: 1 a 3 años</li> <li>4 Corto Plazo: 6 meses a 1 año</li> <li>5 Plazo Inmediato: 0 a 6 meses</li> </ol>

Figura suplemental 5. Criterios para evaluar PCCs.



Figura suplemental 6. Venta de guanábana fresca en puesto a orilla de la carretera del municipio de Compostela.

LA CADENA PRODUCTIVA DE GUANÁBANA:  
 UNA OPCIÓN PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO EN COMPOSTELA, NAYARIT  
 ANAYA-DYCK, HERNÁNDEZ-OÑATE, TAFOLLA-ARELLANO, BÁEZ-SAÑUDO, GUTIÉRREZ-MARTÍNEZ, TIZNADO-  
 HERNÁNDEZ

Peligro	Primera etapa afectada/ Fases directamente afectadas	Causas	Actores Involucrados	SxP**
<b>Heterogeneidad fenotípica</b> (épocas de floración, frutos, tamaño, maduración, etc.)  	Floración en fase productiva/ Empaque y procesamiento, Transporte y comercialización, Consumidores.	Ausencia de sistemas de selección de cultivos	Productores, proveedores de insumos, capacitación, crédito y financiamiento (públicos y privados), centros de investigación	2x4= 8
<b>Problemas Fitosanitarios</b> (Complejo de Barrenadores, Cochinilla Rosada del Hibisco, Enfermedades Fúngicas, etc.)  	Sistema productivo/ toda la cadena productiva	Condiciones climáticas/ambientales favorables para su desarrollo y propagación. Mantenimiento mínimo en los huertos.	Productores, proveedores de insumos, capacitación, crédito y financiamiento (públicos y privados)	5x4= 20
<b>Eliminación de insectos benéficos por aplicación de plaguicidas</b>   	Sistema productivo	Eliminación plagas	Productores y proveedores de insumos	3x3= 9
<b>Prácticas de Manejo de Cultivo Ineficientes</b> (cultivo en baja densidad de siembra, poca fertilización, poco mantenimiento de los cultivos)  	Sistema productivo/ transporte y comercialización	Desinformación, arraigo a tradiciones	Productores, proveedores de insumos, capacitación, crédito y financiamiento (públicos y privados, gobierno, centros de investigación)	4x5= 20
<b>Dependencia de la Polinización Natural</b>  	Sistema productivo/ Toda la cadena productiva	Desinformación, falta de asesoría técnica, recursos deficientes	Productores, proveedores de insumos, capacitación, crédito y financiamiento (públicos y privados)	3x5= 15
<b>Naturaleza Perecedera del Fruto</b>  	Empaque y procesamiento/ transporte y comercialización	Fruto climatérico, alta tasa de respiración y producción de etileno	Productores, proveedores de insumos, capacitación, crédito y financiamiento (públicos y privados, gobierno, centros de investigación)	4x5= 20
<b>Manejo Deficiente del Fruto Fresco</b> (Golpes, daño por frío)  	Cosecha /Empaque y procesamiento transporte y comercialización	Pocos cuidados en transporte y almacenamiento	Transportistas y comerciantes	3x4= 12
<b>Limitantes en la Exportación de Guanábana fresca</b>   	Transporte y comercialización	Falta de difusión del producto, autorización de aduanas internacionales	Organizaciones y dependencias gubernamentales nacionales e internacionales	3x4= 12
<b>Distribución inequitativa de las ganancias generadas por la venta del producto</b>   	Sistema Productivo/oda la cadena productiva	Visión neoliberalista en el mercado, intermediarismo, Productores desinformados y poco organizados	Gobierno, centros de investigación y desarrollo, productores, proveedores de insumos y tecnología, consumidores, intermediarios, sociedad en general	5x3= 15

Figura suplemental 7. Riesgos en la CPG de Compostela. El logotipo de riesgo biológico hace alusión a un riesgo del tipo biológico. El conjunto de personas representa un riesgo cultural. La balanza simboliza un problema legislativo.

## Referencias

- Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS, 2020a). APHIS Seeks Comment on the Pest Risk Analysis for Fresh Soursop Fruit Imports from Mexico Into the Continental United States. Recuperado de [https://www.aphis.usda.gov/aphis/newsroom/stakeholder-info/sa\\_by\\_date/2019/sa-05/mexico-soursop-fruit](https://www.aphis.usda.gov/aphis/newsroom/stakeholder-info/sa_by_date/2019/sa-05/mexico-soursop-fruit)
- Animal and Plant Health Inspection Service APHIS (2020b). Soursop Commodity Summary: Approved Countries. Recuperado de [https://epermits.aphis.usda.gov/manual/index.cfm?action=commSummCountryP&COMMOD\\_ID=326&dspNavBar=1](https://epermits.aphis.usda.gov/manual/index.cfm?action=commSummCountryP&COMMOD_ID=326&dspNavBar=1)
- Arámbula, V. M. (2020). Acuerdo por el que se dan a conocer las reglas de operación del programa de precios de garantía a productos alimentarios básicos a cargo de seguridad alimentaria mexicana. *Diario Oficial de la Federación* 24/2/2020 SEGALMEX. Recuperado de [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5587270&fecha=24/02/2020](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5587270&fecha=24/02/2020)
- Ayuntamiento Compostela 2017-2021. Plan Municipal de Desarrollo Compostela (2017). Recuperado de <http://e-compostela.gob.mx/pdf/PDMCompostela2017-2021.pdf>
- Benkeblia, N., Tennant, D. P. F., Jawandha, S. K. y Gill, P. S. (2011). Preharvest and Harvest Factors Influencing the Postharvest Quality of Tropical and Subtropical Fruits. *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*, (1) 112-141. doi: <https://doi.org/10.1533/9780857093622.112>
- Berumen-Varela, G., Hernández-Oñate, M. A. y Tiznado-Hernández, M. E. (2019). Utilization of Biotechnological Tools in Soursop (*Annona muricata* L.). *Scientia Horticulturae*, 245 (Octubre, 2018), 269-273. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.028>
- Castillo-Ánimas, D., Varela-Hernández, G., Pérez-Salvador, B. R. y Pelayo-Zaldívar, C. (2005). Daños por frío en guanábana. Índice de corte y tratamientos postcosecha. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(1), 51-57. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/609/60912502008.pdf>
- Cavalcante, T. R. (2000). *Polinização Manual e Natural da Graviroleira (Annona muricata L.)*. (Tesis de Maestría). Brasil, Universidad Federal de Viçosa. doi: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000100002>
- Cayeros, S. E., Robles, F. J. y Jiménez, A. (2017). Guanábana en el municipio de Compostela, Nayarit. *EDUCATECONCIENCIA*, 13(14), 27-36. Recuperado de <https://192.100.162.123:8080/bitstream/123456789/1442/1/GuanabanaenelmunicipiodeCompostelaNayaritpdf>

- Cham, A. K., Luna-Esquivel, G., Robles-Bermúdez, A., Ríos-Velasco, C., Coronado-Blanco, J. M. y Cambero-Campos, O. J. (2019). Insects Associated with the Soursop (*Annona muricata* L.) Crop in Nayarit, Mexico. *Florida Entomologist*, 102(2), 359. doi: <https://doi.org/10.1653/024.102.0211>
- Clima Compostela: Temperatura, Climograma y Tabla climática. (2020). Recuperado de <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/nayarit/compostela-57677/>
- Coelho de Lima, M. A. y Alves, R. E. (2011). Soursop (*Annona muricata* L.). *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*, 4. Cambridge, Woodhead Publishing Limited. doi: <https://doi.org/10.1533/9780857092618.363>
- Den Herder, K. (2018). Buenas expectativas para la exportación de guanábana fresca de Ecuador. Recuperado de <https://www.freshplaza.es/articulo/9041530/buenas-expectativas-para-la-exportacion-de-guanabana-fresca-de-ecuador/>
- eBay. (2020). *Guanabana*. Recuperado de [https://www.ebay.com/sch/i.html\\_from=R40&trksid=p2380057.m570.l1313&\\_nkw=guanabana+&\\_sacat=0](https://www.ebay.com/sch/i.html_from=R40&trksid=p2380057.m570.l1313&_nkw=guanabana+&_sacat=0)
- Estebanez, M. E. (2010). Apropiación social de la ciencia y la tecnología. *Revista de Investigaciones Políticas y Sociológicas* (RIPS), 9(2), 41-54. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/317259398\\_Apropiacion\\_social\\_de\\_la\\_ciencia\\_y\\_la\\_tecnologia](https://www.researchgate.net/publication/317259398_Apropiacion_social_de_la_ciencia_y_la_tecnologia)
- Food and Agricultural Organization (FAO, 2002). *Manual de capacitación sobre higiene de los alimentos y sobre el sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (APPCC)*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/005/w8088s/w8088s00.htm>
- Gomes de Castro, A. M. y Valle, S. M. (2001). Análisis prospectivo de cadenas productivas agropecuarias. México: *INIFAP*. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuarias. Recuperado de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=FAOBO.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=002418>
- Hernández-Fuentes, L. M., Bautista-Martínez, N., Carrillo-Sánchez, J. L., Sánchez-Arroyo, H., Urías-López, M. A. y Salas Araiza, M. D. (2008). Control del barrenador de las semillas, *Bephratelloides cubensis* Ashmead (*Hymenoptera: Eurytomidae*) en guanábana, *Annona muricata* L. (*Annonales: Annonaceae*). *Acta Zoológica Mexicana*, 24(1), 199-206. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0065-17372008000100010&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0065-17372008000100010&script=sci_arttext)
- Hernández-Fuentes, L. M., Gómez-Jaimes, R., López-Martínez, V. y Castañeda-Vildozola, A. (2018). Xylophagous insects associated with soursop (*Annona muricata* L.)1 branches, affected by *Lasiodiplodia theobromae* Pat2. *Southwestern Entomologist*, 43(2), 543-546. <https://doi.org/10.3958/059.043.0228>

- Hernández-Fuentes, L. M., Gómez-Jaimes, R. y Andrés-Agustín, J. (2013). *Importancia, plagas insectiles y enfermedades fungosas del cultivo del guanábano Libro Técnico Núm. 1*. Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. p.p. 87 Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/270452891\\_importancia\\_plagas\\_insectiles\\_y\\_enfermedades\\_fungosas\\_del\\_cultivo\\_de\\_guanabana](https://www.researchgate.net/publication/270452891_importancia_plagas_insectiles_y_enfermedades_fungosas_del_cultivo_de_guanabana)
- Hernández-Fuentes, L. M., Gómez-Jaimes, R., y Orozco-Santos, M. (2014). El barrenador de las semillas *Bephratelloides cubensis* y su manejo en el cultivo de guanábana. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México: *INIFAP*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/270882946\\_El\\_barrenador\\_de\\_las\\_semillas\\_Bephratelloides\\_cubensis\\_y\\_su\\_manejo](https://www.researchgate.net/publication/270882946_El_barrenador_de_las_semillas_Bephratelloides_cubensis_y_su_manejo)
- Hernández-Fuentes, L. M., Nolasco-González, Y. y Cruz-Gutiérrez, J. E. (2017). Selección y caracterización de guanábana y recomendaciones para su manejo agronómico. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México: *INIFAP* doi: <https://10.1149/1.2408913>
- Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED, 2020). *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Compostela-Estado de Nayarit*. Recuperado de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM18nayarit/municipios/18004a.html>
- Jiménez-Zurita, J. O., Balois-Morales, R., Alia-tejacal, I., Juárez-lópez, P. y Sumaya, M. T. (2016). Caracterización de frutos de guanabana (*Annona muricata* L.) en Tepic, Nayarit, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(6), 1261-1270. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342016000601261](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000601261)
- Jiménez-Zurita, J. O., Bello-Lara, J. E., Juárez-López, P., Balois-Morales, R., Jiménez-Ruiz, E. I., Alia-Tejacal, I., ... (2017). Tópicos del manejo poscosecha del fruto de guanábana (*Annona muricata* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1155. doi: <https://10.29312/remexca.v8i5.115>
- López, A. (2003). *Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas Del campo al mercado*. Capítulo 3 (pp. 103-137). Recuperado de <http://www.fao.org/3/y4893s/y4893s06.htm#bm06> doi: <https://10.31819/9783865278012-007>
- Márquez, C. J. (2009). Caracterización fisiológica, fisicoquímica, reológica, nutracéutica, estructural y sensorial de la guanábana (*Annona muricata* L. cv. Elita). Doctorado en Ciencia, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/11052171.pdf>

- Ortiz-López, J. A. (2015). Caracterización agromorfológica e identificación de zonas potenciales de conservación y producción de guanábana (*Annona muricata*) y chirimoya (*Annona cherimola*) en fincas de agricultores y condiciones ex situ en Costa Rica Colombia: Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Recuperado de: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2953E/A2953E.PDF>
- Piedragil, C. G. (2017) "Guanábana, introducción exitosa al mercado de un cultivo no tradicional" en (comp.) *40 casos de éxito*. Ciudad de México, SAGARPA. Recuperado de <https://docplayer.es/60107321-Guanabana-introduccion-exitosa-al-mercado-de-un-cultivo-no-tradicional.html>
- Pinto, A. C., Cordeiro, M. C. R., De Andrade, S. R. M., Ferreira, F. R., De C. Filgueiras, H., Alves, R. E. y Kinpara, D. I. (2005). Fruits for the Future 5: *Annona* species. *University of International Southampton, Centre for Underutilized Crops*. Southampton, UK. Doi: [https://doi.org/ISBN\\_0854327851](https://doi.org/ISBN_0854327851)
- Pinto de Lemos, E. E. (2014). A produção de anonáceas no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36, 86-93. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500009>
- Ramos-Guerrero, A., González-Estrada, R., Romanazzi, G., Landi, L. y Gutiérrez-Martínez, P. (2020). Effects of chitosan in the control of postharvest anthracnose of soursop (*annona muricata*) fruit. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(1), 99-108. Recuperado de <http://rmiq.org/ojs311/index.php/rmiq/article/view/527/222>
- Ramos-Guerrero, A., González-Estrada, R. R., Montalvo-González, E., Miranda-Castro, S. P. y Gutiérrez-Martínez, P. (2018). Effect of the application of inducers on soursop fruit (*Annona muricata* L.): Postharvest disease control, physiological behaviour and activation of defense systems. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 30(12), 1019-1025. doi: <http://10.9755/ejfa.2018.v30.i12.1883>
- Reyes-Montero, J. A., Aceves-Navarro, E., Caamal-Velazquez, J. H. y Alamilla-Magaña, J. C. (2018). Producción de guanábana (*Annona muricata* L.) en alta densidad de plantación, como alternativa para productores con superficies reducidas. *Agroproductividad*, 11(9), 37-42. doi:<https://doi.org/10.32854/agrop.v11i9.1212>
- Rojas, R. (2019). Manual del curso Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP). Saltillo, Coahuila, México: *Universidad Autónoma de Nuevo León* Recuperado de <https://www.facebook.com/UANLAgromonia/photos/a.120851411324810/3271849412891645/>

- Sánchez, L. A., & Escobar Torrez, W. Fruticultura Colombiana Guanábano (2000). *Instituto Colombiano Agropecuario*. Subgerencia de Investigación División Producción Cultivos Sección Nacional de Frutícolas. Recuperado de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=cidab.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000397>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020). Anuario estadístico de la producción agrícola. Recuperado de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sever, D. (2018). Estados Unidos: las importaciones de guanábana siguen avanzando. *Fresh Plaza*. Recuperado de <https://www.freshplaza.es/article/9027433/estados-unidos-las-importaciones-de-guanabana-siguen-avanzando/>
- Sociedad Española de Productos Humicos, S. A. (2010). Cultivo de la guanábana-recomendaciones para solucionar problemas de floración, cuajado y aborto de flores. pp. 1-15. Recuperado de [https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/81972/046---11.05.10---Cultivo-de-la-Guana--769-bana.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/81972/046---11.05.10---Cultivo-de-la-Guana--769-bana.pdf)
- Solís, M. A. (2019). *Colima, segundo lugar nacional en cultivo de guanábana*. Recuperado de <https://www.inforural.com.mx/colima-segundo-lugar-nacional-en-cultivo-de-guanabana/>
- Tafolla-Arellano, J. C., González-León, A., Tiznado-Hernández, M. E., García, L. Z., Báez-Sañudo, R., García, L. Z. y Báez-Sañudo, R. (2013). Composición, fisiología y biosíntesis de la cutícula en Plantas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(1), 3-12. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802013000100001](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802013000100001)
- Tierra Fértil (2014). "Coyotaje" una carga pesada para el campo de México. Recuperado de <https://www.tierrafertil.com.mx/coyotaje-una-carga-pesada-para-el-campo-de-mexico/>
- Vidal-Hernández, L., Moctezuma, H. L., Vidal-Martínez, N. A., Bello, R. R., Castillo-Rocha, D. G. y Chiquito-Contreras, R. G. (2014). La situación de las annonaceae en México: principales plagas, enfermedades y su control. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(1), 44-54. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500005>
- Walmart (2019). *Guanábana por Kilo*. Recuperado de <https://super.walmart.com.mx/frutas/guanabana-por-kilo/00000000003381?gclid=Cj0KCQiA->
- Worrell, D. B., Carrington, C. M.S. y Huber, D. J. (1994). Growth, maturation and ripening of soursop (*Annona muricata* L.) fruit. *Scientia Horticulturae*, 57(1-2), 7-15. doi: [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)90030-2)

### **3. UNRAVELING THE SECRETS OF SOURSOP FRUIT: BIOCHEMICAL, STRUCTURAL, AND PHYSIOLOGICAL TRANSFORMATIONS DURING DEVELOPMENT AND RIPENING**

Anaya Dyck, Jose-María<sup>1</sup>; Jesús M. Robles Parra<sup>1</sup>; Gutiérrez-Martínez, Porfirio<sup>2</sup>; Montalvo-González Efigenia<sup>2</sup>; Nolasco-González, Yolanda<sup>3</sup>; Báez-Sañudo, Reginaldo<sup>1</sup>; Hernández-Oñate, Miguel-Angel<sup>1</sup>; and Tiznado- Hernández, Martin Ernesto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. A. C, Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas NO. 46. Colonia La Victoria. Hermosillo, sonora. cp. 83304. México.

<sup>2</sup>Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos, Posgrado en Ciencias en Alimentos, Instituto Tecnológico de Tepic. Avenida Tecnológico No. 2595. Fracc. Lagos del Country. Tepic, Nayarit. C.P. 63175. México.

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias. Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Santiago Ixcuintla, Nayarit. C.P. 63300. México.

**Revista: Journal of Plant Growth Regulation**

Enviada el 12 de febrero de 2019 con el nombre de "Biochemical, Structural and Physiological Changes During Development and Ripening of *Annona muricata* (Soursop) Fruit"

## **Unraveling the Secrets of Soursop Fruit: Biochemical, Structural, and Physiological Transformations during Development and Ripening**

Anaya Dyck, Jose-María<sup>1</sup>; Jesús M. Robles Parra<sup>1</sup>; Gutiérrez-Martínez, Porfirio<sup>2</sup>; Montalvo-González Efigenia<sup>2</sup>; Nolasco-González, Yolanda<sup>3</sup>; Báez-Sañudo, Reginaldo<sup>1</sup>; Hernández-Oñate, Miguel-Angel<sup>1</sup>; and Tiznado- Hernández, Martín Ernesto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. A. C, Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas NO. 46. Colonia La Victoria. Hermosillo, sonora. cp. 83304. México.

<sup>2</sup>Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos, Posgrado en Ciencias en Alimentos, Instituto Tecnológico de Tepic. Avenida Tecnológico No. 2595. Fracc. Lagos del Country. Tepic, Nayarit. C.P. 63175. México.

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias. Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Santiago Ixcuintla, Nayarit. C.P. 63300. México.

[\\*tiznado@ciad.mx](mailto:tiznado@ciad.mx), Phone: +52-662-2892400

## Journal of Plant Growth Regulation

### Biochemical, Structural and Physiological Changes During Development and Ripening of *Annona muricata* (Soursop) Fruit

--Manuscript Draft--

<b>Manuscript Number:</b>	JPGR-D-19-00082	
<b>Full Title:</b>	Biochemical, Structural and Physiological Changes During Development and Ripening of <i>Annona muricata</i> (Soursop) Fruit	
<b>Article Type:</b>	Original Paper	
<b>Funding Information:</b>	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2015-1-579:)	Professor-Researcher Martín-Ernesto Tiznado-Hernández
<b>Abstract:</b>	<p><i>Annona muricata</i> L., commonly known as soursop, achieved recognition as a medicinal tree, and its fruit is a very important agricultural and biological product. Previous studies mainly focus on the post-harvest development of this fruit; however, data on pre-harvest development is scarce. The aim of this study was to determine soursop's biochemical, biophysical and physiological changes during pre-harvest fruit development and ripening. Soursop flowers were tagged at "El Tonino" orchard located on the south coast of the state of Nayarit, Mexico, and fruit was collected on different days after take-off (DAT) to measure the changes in weight, flesh firmness, respiration rate, pH, titratable acidity (TA) and total soluble solids (TSS). Fruit growth displayed a double sigmoid pattern that can also be observed in its respiratory rate. The significant decrease in firmness and the doubling of pulp TSS values from 90 to 105 DAT suggest that on tree fruit softening begins around 90 DAT; nonetheless, fruit growth continues until 120 DAT when they reach physiologic ripeness. Soursop's ripening phenomena is marked by a sharp TSS and Malic acid accumulation, a significant pH and firmness decrease. Further research on these variables with shorter sampling times during 105–120 DAT soursop fruits could help determine optimal harvest stages.</p>	
<b>Corresponding Author:</b>	Martín-Ernesto Tiznado-Hernández, Ph.D. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo AC Hermosillo, Outside US/Canada MEXICO	
<b>Corresponding Author Secondary Information:</b>		
<b>Corresponding Author's Institution:</b>	Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo AC	
<b>Corresponding Author's Secondary Institution:</b>		
<b>First Author:</b>	Jose-María Anaya-Dick, M.Sc.	
<b>First Author Secondary Information:</b>		
<b>Order of Authors:</b>	Jose-María Anaya-Dick, M.Sc. Miguel-Angel Hernández-Oñate, Ph.D. Julio-César Tafolla-Arellano, Ph.D. Porfirio Gutiérrez-Martínez, Ph.D. Montalvo-González Efigenia, Ph.D. Yolanda Nolasco-González, M.Sc. Reginaldo Báez-Sañudo, Ph.D. Martín-Ernesto Tiznado-Hernández, Ph.D.	
<b>Order of Authors Secondary Information:</b>		
<b>Author Comments:</b>	THE CHANGES IN AUTHORS AFFILIATIONS AS WELL AS IN THE ACKNOWLEDGMENT SECTIONS HAD BEEN CARRIED OUT AS REQUESTED.	

<b>Suggested Reviewers:</b>	Keryl K Jacobi, Ph.D. gjac@powerup.com.au She had been working with postharvest development of tropical fruits.
	Sunil Pareek, Ph.D. Maharana Pratap University of Agriculture & Technology sunil_ciah@yahoo.co.in He published a review in postharvest physiology and technology of Annona fruits
	Christina Fabian, Ph.D. Mkwawa University tina84f@yahoo.com She published a work studying the post harvest physicochemical properties of soursop fruit of Tanzania Country
	Carlos Julio Márquez Cardozo, Ph.D. Associate Professor, Universidad Nacional de Colombia cymarque@unal.edu.co
	He published a work with the goal to study the Physiological and Physico-Chemical Characterization Soursop Fruit
<b>Keywords:</b>	Soursop, pre-harvest, fruit development, physiology, postharvest, ripening

## **Biochemical, Structural and Physiological Changes During Development and Ripening of *Annona muricata* (Soursop) Fruit**

Anaya Dick, Jose-María<sup>1</sup>; Hernández-Oñate, Miguel-Angel<sup>1</sup>; Tafolla-Arellano, Julio-César<sup>2</sup>; Gutiérrez-Martínez, Porfirio<sup>3</sup>; Montalvo-González Efigenia<sup>3</sup>; Nolasco-González, Yolanda<sup>4</sup>; Báez-Sañudo, Reginaldo<sup>1</sup>; and Tiznado-Hernández, Martín Ernesto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas No. 46. Colonia La Victoria. Hermosillo, Sonora. C.P. 83304. México

<sup>2</sup> Programa Docente de Ingeniero en Biotecnología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo C.P. 25315. México.

<sup>3</sup>Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos, Posgrado en Ciencias en Alimentos, Instituto Tecnológico de Tepic. Avenida Tecnológico No. 2595. Fracc. Lagos del Country. Tepic, Nayarit. C.P. 63175. México.

<sup>4</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Santiago Ixcuintla, Nayarit. C.P. 63300. México.

\*[tiznado@ciad.mx](mailto:tiznado@ciad.mx), Phone: +52-662-2892400

## Biochemical, Structural and Physiological Changes During Development and Ripening of *Annona muricata* (Soursop) Fruit

### Abstract

*Annona muricata* L., commonly known as soursop, achieved recognition as a medicinal tree, and its fruit is a very important agricultural and biological product. Previous studies mainly focus on the post-harvest development of this fruit; however, data on pre-harvest development is scarce. The aim of this study was to determine soursop's biochemical, biophysical and physiological changes during pre-harvest fruit development and ripening. Soursop flowers were tagged at "El Tonino" orchard located on the south coast of the state of Nayarit, Mexico, and fruit was collected on different days after take-off (DAT) to measure the changes in weight, flesh firmness, respiration rate, pH, titratable acidity (TA) and total soluble solids (TSS). Fruit growth displayed a double sigmoid pattern that can also be observed in its respiratory rate. The significant decrease in firmness and the doubling of pulp TSS values from 90 to 105 DAT suggest that on tree fruit softening begins around 90 DAT; nonetheless, fruit growth continues until 120 DAT when they reach physiologic ripeness. Soursop's ripening phenomena is marked by a sharp TSS and Malic acid accumulation, a significant pH and firmness decrease. Further research on these variables with shorter sampling times during 105–120 DAT soursop fruits could help determine optimal harvest stages.

**KEYWORDS:** Soursop, pre-harvest, fruit development, physiology, postharvest

### Introduction

Soursop (*Annona muricata* L.) is a very popular but highly perishable tropical fruit that undergoes a drastic size, shape and color transformation during its development, in addition to a substantial increase in sweetness, and aroma during ripening. Research on soursop's pre-harvest physiology is scarce; most studies have focused on its postharvest behavior. A study about the physiological changes during the ontogeny of this fruit has not been done; therefore, the present study was designed to determine soursop's biochemical, biophysical and physiological conditions at specific fruit development and ripening stages. Soursop pulp has a highly appreciated exotic sub acid flavor, pleasant aroma, and juicy texture; it is sold on international markets either fresh, frozen, or processed (Hernández et al. 2014; Sackey et al. 2017). The recent recognition of soursop as a medicinal tree increased its demand (Badrie and Schauss 2010). Pharmacological studies have found anti-cancer, anti-tumor, anti-bacterial, anti-inflammatory, anti-parasitic, anti-malarial, and anti-ulcer activities in soursop; thus, encouraging the creation of various soursop-based food supplements (Degnon et al. 2013; Jiménez et al. 2014; Eggadi et al. 2014; Osathanunkul 2018). Furthermore, soursop fruit has been found to show immunomodulatory potential for the treatment and prevention of Type-1 diabetes mellitus (Cedraz et

al. 2017; Cedraz et al. 2018). Moreover, soursop pulp extract can inhibit key enzymes relevant to type-2 diabetes mellitus. Pericarp shows the highest antioxidant and enzymatic inhibition properties of all soursop tissues (Adefegha et al. 2015). Soursop leaf extract possess therapeutic compounds with significant dose-dependent radical scavenging and DNA protection activities (George et al. 2015), and shows a broad spectrum of antibacterial activity that targets the plasma membranes of both Gram-negative and Gram-positive bacteria (Pinto et al. 2017). (Chia-Hung et al. 2018) (Komansilan et al. 2012; Pulp extract is categorized as a strong antioxidant capable of reducing hypertension *in vitro* (Adefegha et al. 2015) and free radical levels by 50% (Fidyasari et al. 2017).

Every part of the soursop tree is used. For instance, soursop by-products are an inexpensive source of natural antioxidants with nutraceutical potential in the food industry (Lee et al. 2016) and Soursop flower extract is used in the stabilization of palm olein (Womeni et al. 2016). Soursop seeds can be processed into soursop biodiesel (Chia-Hung et al. 2018) or extracts with larvicidal activity on the control of *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* (Komansilan et al. 2012; Agrela et al., 2016).

Soursop fruit's broad quality heterogeneity is an important constraint in successfully meeting the market's increasing demand of product uniformity, quantity, quality and shorter delivering time. There is a significant amount of soursop genotype diversity in Mexico associated with the usage of seed propagated trees and the vast extensions of this crop's plantations. The effect of soursop genotype diversity in the fruit's quality heterogeneity has not been sufficiently researched (Evangelista Lozano et al. 2003; Hernández et al. 2013). Soursop fruits show a large diversity in weight, size, shape, taste and total soluble solids, even within the same tree. The understanding of those heterogeneity causes is fundamental for the design of methodologies that allows the harvest of a more uniform product. Besides, the rational exploitation of this crop requires understanding of the fruit development process and the establishment of objective and quantifiable maturity indices.

As mentioned above, the focus of soursop fruit physiological studies has been placed on the postharvest development (Lam and Zaipun 1986; Pareek et al. 2011; Márquez et al. 2012; Jiménez Zurita et al. 2016), making light of events that take place during stages prior to fruit ripening. Information on the radical changes occurring before soursop's harvest is scarce although some studies had been done. Indeed, some soursop fruit developmental stages have been identified by Worrell et al. (1994) who divided the transition from receptive flower to young fruit into five distinct phases: anthesis, anther shedding, quiescent stage, take-off point (the stage at which growth commenced) and young fruit. Thus, the aim of this study is the determination of soursop's biochemical, biophysical and physiological changes during pre-harvest fruit development and ripening to characterize this fruit's growth pattern.

## Materials and Methods

### Plant material

Soursop on-tree fruit development was studied from March to July of 2017 and 2018 and from August to December 2018. The study was conducted in 600 seed propagated trees of unknown age at "El Tonino" orchard (21 ° 03'26.07 NL and 105 ° 11 '52 .06 WL), located on the south coast of Nayarit, at the Compostela municipality (INEGI, 2005). Each of the three times 1700 open pollinated flowers of the same apparent age were tagged at 'take-off' point, which

is characterized by the cracking of the blossom's distal end (Worrell et al. 1994). A sample consisted of 45 marked homogeneous randomly harvested fruits. The first harvest was made 45 days after flower tagging, when fruits began their expansion. Thereafter, fruit samples were harvested at 15-day intervals, until fruits reached physiological maturity at 120 days after the take-off stage. Both 2018 analyses additionally included 3 phases of soursop's postharvest shelf life. Fruits were carefully placed in plastic boxes for transportation to the Integral Food Research Laboratory (LIIA) at the Technological Institute of Tpic, where they were stored at 25 ° C. Samples were stored at -80 for future gene expression analyzes.

#### **Total Soluble Solids (TSS), pH, Titratable Acidity (TA), and Weight (W) of Soursop fruit**

Undamaged and infection-free fruits with similar color and size were selected at each sampling date. Total soluble solids (TSS) were determined with an Atago refractometer from drops extracted from pulp using a filter cloth and results were reported in degrees Brix (°Bx) following the protocols reported (AOAC 1990). The pH measurements were carried out directly from grounded pulp homogenate with a Hanna Instrument pH 300 potentiometer (AOAC, 1990). Titratable acidity (TA) was determined by volumetric titration on a mixture of 5 g of pulp in 25 mL of water: The solution was titrated with 0.1 N NaOH using phenolphthalein as an indicator and formula 1 was used to calculate the percentage of malic acid (AOAC, 1990).

$$\text{Málic acid \%} = \frac{(\text{NaOH mL.})(\text{NaOH Normality})(\text{Malic acid meq.})}{\text{Fresh pulp weight (g)}} \times 100$$

Fruit weight was measured on 10 fruits in each sampling date, and weight loss data obtained during postharvest results were expressed as percent. All analyses were carried out in triplicate.

#### **Peel color**

The external color (°Hue) and the luminosity were evaluated in the external part and around the whole fruit (region near the peduncle, equatorial and near the apex) with a Minolta colorimeter (CR-300).

#### **Respiration rate**

Fruit respiration rate was determined using the method described by Ortiz Franco et al. (2016). Fruits were placed in airtight glass containers at room temperature (25°C) during 1 h. Three measurements were made per container, taking through a septa 1 mL of gas from the headspace, and analyzed in a gas chromatograph (HP® model 6890, USA) Carbon dioxide production was calculated and expressed as mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

#### **Firmness measurement**

Firmness (N) was measured at three different areas of each fruit using ten fruits per sample using a TA.XT.PLUS texture analyzer, equipped with a 2 mm diameter cylindrical probe, with a penetration speed of 1 mm/s. The resistance force to puncture the exocarp was registered, and results were expressed in (N).

#### **Staining and microscopy of fruit cuticle**

Samples for exocarp microscopy were taken on the March-July 2017 period during for preharvest examination exclusively. Postharvest examination was not possible due to the exocarp's delicate state during this stage. Fixation and incrustation of exocarp tissue was done for the cry section and microscopy of cuticle. Vacuum was applied to infiltrate 3 x 3mm fresh exocarp tissue squares with a medium, consisting of 5% formaldehyde, 5% acetic acid and 90% ethanol, prepared immediately before its use. Formaldehyde crosslinks with proteins inside sample cells helping maintain a good cellular morphology. Samples were then transferred to a solution of 10% saccharose on 100 mM PBS Buffer applying vacuum for 15 minutes, before incubating them at 4°C until they were in balance with the surrounding solution and precipitate, showing the 10% sucrose solution had penetrated the samples tissue. The same procedure was repeated for the 20% sucrose solution. Sucrose incorporation in the sample tissue interfered with water crystallization, preventing cells from exploding during freezing. Samples were transferred to a glass petri dish with a formulation of water-soluble glycols and resins (Tissue-Tek® optimum cutting temperature (OCT) Compound, Sakura® Finetek) and using a spatula each piece of tissue was completely covered with OCT medium eliminating as much sucrose as possible, thus preventing the formation of a sucrose solution layer around the sample capable of destroying its morphology by creating a space between the matrix of the OCT medium and the tissue during cryostat sectioning. The exocarp squares were positioned in Sigma-Aldrich Peel-A-Way™ embedding molds half filled with bubble free OCT medium and attached on its side so that the plane of the cuticle is perpendicular to the bottom of the mold. Molds were frozen with liquid nitrogen and stored at -80°C. Molds were sent to the national institute of ecology (INECOL) in Xalapa, for staining, microscopy and photography procedures

For cryosectioning, the frozen cubes were mounted onto cryomolds with the addition of OCT (optimum cutting temperature) tissue freezing medium (Leica Biosystems) at -20 °C. The cryosections were carried out at 10 µm thick of each sample on a CM1520 cryostat (Leica Biosystems, cat no 14049148055). Cryosections were transferred on slides and stained with a Red Oil solution (Sigma; 0.1% w/v in 1/1 chloroform/ethanol solution) for 10 min and rinsed with different concentrations of isopropanol (50-30-20-10%). The stained tissues were mounted on a slide with distilled H<sub>2</sub>O and covered with a coverslip before microscopy analysis. The micrographs were acquired in an inverted microscope DM6000B (Leica Microsystems, Cat no 11888906 with HC PL APO 63X/1.40 oil objective, 5-megapixel CCD digital camera (DFC450C) and Leica Application Suite X v. 3.4.2.18368 software. Fluorescence micrographs were recorded using a short pass filter (450-490 nm).

### **Image analysis**

A freely available software package ImageJ (version 1.52h) (Schneider et al. 2012) was used to calculate ten images. These were 1024×768 pixels in size, and were randomly selected for each phase and converted to 8-bit images to adjust the threshold in imageJ software. The images were then processed in imageJ to reduce the noise using the Bdespeckle^ function.

### **Statistical analysis**

All the experiments were performed using a completely randomized design. Data was analyzed using the statistical package NCSS 9 by analysis of variance. Mean differences between treatments were determined by least significant difference ( $P \leq 0.05$ ) using Tukey's multiple means comparison test.

## Results and Discussion

### Soursop fruit growth

Soursop on-tree growth pattern was studied on March- July 2017, March-July 2018, and August-December 2018. Each time growth rate showed two phases; fruit carpel expansion began at take-off point, but no significant weight gain was observed until 45 DAT. It is during this slow fruit growth period that according to Worrell et al. (1994) embryo growth and development occur. Most fruits were fully formed by 45 DAT, development stage known as 'cepillo' for its resemblance to a brush. ed less than 15g (March-July 2017 13.61, March July 2018 10.3, and August –December 7.4) Soursop on-tree weight gain behavior from 45-120 DAT for the aforementioned periods is shown on (Fig. 1). It reveals a continuous weight gain pattern until fruit reached (Moreno-Velázquez et al. 2008)(Pal and Kumar 1995) opening on-tree.

March-July 2017 exocarp microscopy samples allowed the observation of gradual changes that occur in the cuticle during the fruit development (Fig. 8). The epidermal cells are well defined and are small in the early stages of development, showing a progressive cellular expansion and loss of its structure during development. A large amount of lipids can be observed extending through the apoplast of multiple layers of epidermal cells at 45 DAT. After that, lipids can only be observed on the layer of epidermal cells facing the cuticle. Changes in the thickness of the cuticle were also detected (Fig. 9). The cuticle showed an average thickness of 6  $\mu\text{m}$  at 45 DAT, and it decreased to 4.1  $\mu\text{m}$  once the fruits entered the stage of physiological maturity

Soursop fruit developmental respiratory intensity is shown in (Fig. 4). The respiration rate of soursop showed a double sigmoid behavior divisible in three distinct phases similar to what was observed by Moreno Velázquez et al., 2008 on ilama. Respiratory intensity during phase I of the March-July 2017 sample (45 to 60 DAT) increased from 7 to 17  $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . During phase II (60 to 90 DAT) there is a sudden decline to 11  $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  at (75 DAT) that was also reported on *Annona diversifolia* Saff. by Moreno Velázquez et al., 2008. A slight respiratory increase followed 19  $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  at (90 DAT). During phase III (90 to 120 DAT) respiration intensified increasing to 41  $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  at (105 DAT), and 47  $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  at (120 DAT) a value significantly lower to that found in *Annona squamosa* at the same stage (100  $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) by Pal and Kumar (1995) but similar to those found in *Annona muricata* by Worrell et al. (1994).

On the other hand, the August-December 2018 sample did not experience a decline on phase II (60-90 DAT), but reached almost 20  $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  at 90 DAT which is the same value presented on the March-July 2017 sample. Comparing both samples, the August-December 2018 sample followed a similar increase pattern from almost 20  $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  at 90 DAT reaching 40  $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  at 105. It was observed that the August-December 2018 sample reported a minimal rise in its respiration rate from 40  $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  at 105 DAT to 41  $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  at 120 DAT.

These results contrast the March-July 2017 sample which experienced an increment from 41 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> to 46 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> towards the end of phase III (105-120 DAT).

### **Total Soluble Solids (TSS), pH and Titratable Acidity (TA)**

Soursop on-tree pulp TSS accumulation of years 2017 (March-July) and 2018 (March July and August- December) is shown in (Fig. 5). Both years showed a slow increase in sugars between 45 and 75 DAT that coincides with the fruit's slow respiratory rate (Fig. 4), and probably associated pericarp's strong competition for assimilates with the seed throughout fruit development. It is during this stage that the accumulation of structural type sugars is reserved for seed development (Chalmers and Van Den Ende 1977). Both years TSS accumulation accelerated after 75 DAT. In 2017, the March- July sample reached 10% by 90 DAT, and in 2018, the March-July and August December samples presented 7% TSS. The greatest accumulation of TSS occurred during the last growth stage. By 120 DAT the March-July 2017 fruits reached 17% of TSS; the March-July 2018 fruits gained 11% of TSS; and the August-December 2018 sample revealed an acquisition of 10% TSS. Physiologically mature 2018 soursop fruits were not as sweet as 2017 (17.8%); a significantly higher values than those found in commercially ripe colombian soursop of 13.4% (Márquez et al., 2012).

Soursop pulp malic acid accumulation relative to its pH descent during on-tree and postharvest fruit development is described in (Fig. 6). There is a slow and steady but not statistically significant increase in Malic acid % from 45 to 120 DAT. From 45 to 75 DAT pH significantly decreased from 6.5 to 6.1. The decent in pH observed from 75 (6.1) to 105 (5.7) DAT was not found significant.

Soursop on-tree pulp firmness (N) changes of years 2017 and 2018 is shown in (Fig. 3). In 2018, measurements were also made during fruit postharvest. Both years Soursop on-tree pulp firmness manifested a very similar behavior. At 45 DAT roughly 20 N were needed to rupture soursops exocarp. A significant increase in fruit firmness was detected at 60 DAT ≈ 25 N. Soursop firmness kept its significant increase until 75 DAT, when firmness reached a maximum exocarp rupture force and then remained constant in a plateau that lasted until 90 DAT with ≈ 35 N. After which soursop firmness significantly plummeted reaching at 105 DAT, and kept decreasing when fruit approached physiological maturity at 120 DAT with ≈ 5 N

### **Postharvest**

Most soursop fruits required 110 to 130 DAT to reach physiological maturity, when growth stopped and some fruit started softening on-tree. After harvest, physiologically mature soursop needed 1-3 days to reach mature ripe stage at room temperature (25± 3°C). Other authors have reported 160 DAT for soursop to reach physiological maturity (Jiménez Zurita et al. 2016) as well as different fruit max size. In this regard, Evangelista Lozano et al., 2003 found soursop fruits with weight values between 408 and 513 g and Do Sacramento et al., 2003 reported fruits with weights between 2.39 and 3.21 kg.

As regards to weight loss, (Fig. 8) the sampled soursop fruits revealed a gradual increase in weight loss at its postharvest phase. It can be observed that the March-July 2018 sample experienced a slightly higher weight reduction from days 4-6 postharvest. This could be a result of the changes in temperature. Montalvo-González et al (2014) presented similar results in soursop's weight loss postharvest behavior which reached 10% on the sixth day. Unlike the present study whose sample soursop fruits were analyzed until day 6, Montalvo-González's (2014) soursop sample fruit analysis lasted until day 8 postharvest reporting 12% weight loss.

In order to measure soursop's postharvest respiration rate, the August-December 2018 sample was considered. The results revealed a compelling rise of  $100 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  the third day after harvest. This sample reached its peak on day 5 ( $200 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) then dropped to 130 on the sixth day postharvest. In contrast, Montalvo's 2014 study presented a gradual increase from days 2-5 from 40 to  $80 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  reaching its peak ( $130 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) on day 6 postharvest. The drop in respiration rate occurred until day 8, and was less drastic compared to the August-December 2018 data collected from  $130 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  to  $110 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . (see fig. 9)

Regarding ethylene production measurements in respiration, the present study reported a steady rise from days 2-5 postharvest reaching  $18 \mu\text{L}$  on day 5, followed by a minimal drop to  $17 \mu\text{L}$  ethylene/kg-h on day 6 (Fig. 10). This differs Montalvo's 2014 reports which presented no significant increase on days 1-4. There is a barely perceptible increase to  $2 \mu\text{L}$  ethylene/kg-h on day 5, but a sudden increase to  $17 \mu\text{L}$  ethylene/kg-h on day 6, and later drop to  $14 \mu\text{L}$  ethylene/kg-h on day 8. Nevertheless, both studies reveal a production of almost  $20 \mu\text{L}$  ethylene/kg-h at their peak.

In 2018, TSS measurements were also made during fruit postharvest (Fig. 5). Max TSS values were found on the March-July 2018 sample on the 126 DAT ripe soursop (19.7 %). This TSS value is significantly higher than the 16 °Brix reported by (Paull 1982), but similar to the 18.65 °Brix present in (Montalvo et al. 2014). The August-December sample reported 17% TSS on the 6<sup>th</sup> day postharvest. Ilima and sugar-apple displayed a similar behavior in which TSS were initially low, but substantially increased as the fruits matured (Moreno-Velázquez et al. 2008; Pal and Kumar 1995).

Malic acid content rises approximately 10 times during postharvest reaching 0.9% at 123 DAT. Pulp pH steadily decreased (Fig. 6) throughout the analysis. A remarkable drop in pH (5.1) was observed once fruits were harvested at 120 DAT, and sustained its descent through its postharvest reaching a pH of 3.8 when fully ripe at 126 DAT, a value slightly higher than the 3.6 pH reported by Paull (1982). The pH drops during soursop postharvest correlates with the significant increase in malic acid content recorded at the same stage of fruit development (Fig. 4).

During 2018 soursop postharvest firmness plummeted 30-fold, with the maximum rate of firmness reduction registered between 120 and 123 DAT (3 days after harvest). Fruits at day 6 of postharvest were extremely soft showing 0.8 N of firmness in average. Knowledge of a vegetable changes in firmness can help in the design of protocols for storage, transport, packing and commercialization, preventing the physical deterioration of the fruits. Montalvo's 2014 study

reported a final firmness of 9.41 N on the eighth day after harvest. The overall results reveal a decrease from days 2 (150 N) to 4 (100 N). On day 6, firmness was of 50 N which dropped on the eighth day postharvest to 9.41 N, which is significantly higher than the present study. It could be suggested that the use of different instruments to measure firmness could have influenced the results. As it was mentioned earlier in materials and methods a TA.XT PLUS texture analyzer, equipped with a 2 mm diameter cylindrical probe, with a penetration speed of 1 mm/s was the tool used to collect data on soursop firmness in the present study, whereas Montalvo's 2014 study used a Shimpo penetrometer with a flat 5 mm strut.

## Conclusion

The data collected for this research revealed that soursop fruits have a double sigmoid growth pattern with an average duration of 120 DAT. Peaks in size and respiration rate at 60 and 105 DAT point match. The on tree softening process initiated at 105 DAT, matching the significant increase of TSS and Total acids and a marked pH decrease. Nonetheless, fruits continue growing until 120 DAT. Further investigation that focuses on the changes that occur between the 105–120 DAT interval could help determine optimal harvest stages, by balancing the loss in fruit weight with the gain in fruit postharvest time. There were important differences in weight loss, respiration intensity, and TSS experienced by the August-December 2018 soursop fruit samples which should be considered for further analysis.

## Acknowledgments.

The authors declare that there is not conflicts of interests in relation to the publication of this manuscript.

## References.

- Adefegha SA, Oyeleye SI, Oboh G (2015) Distribution of Phenolic Contents, Antidiabetic Potentials, Antihypertensive Properties, and Antioxidative Effects of Soursop (*Annona muricata* L.) Fruit Parts in Vitro. *Biochem Res Int* 2015:1–8. doi: 10.1155/2015/347673
- Badrie N, Schauss AG (2010) Soursop (*Annona muricata* L.): Composition, nutritional value, medicinal uses, and toxicology. *Bioact Foods Promot Heal* 621–643. doi: 10.1016/B978-0-12-374628-3.00039-6
- Chalmers DJ, Van Den Ende B (1977) The Relation Between Seed and Fruit Development in the Peach (*Prunus persica* L.). *Ann Bot* 41:707–714
- Chia-Hung S, Hoang Chinh N, Uyen Khanh P, et al (2018) Biodiesel Production from a Novel Nonedible. *Energies* 11.10:1–11. doi: 10.3390/en11102562
- Degnon RG, Adjou ES, Noudogbessi JP, et al (2013) Investigation on nutritional potential of soursop (*Annona muricata* L.) from Benin for its use as food supplement against protein-energy deficiency. *Int J Biosci* 3:135–144. doi: <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/3.6.135-144>
- Do Sacramento CK, Faria JC, Da Cruz FL, et al (2003) Caracterização física e química de frutos de três tipos de gravioleira (*Annona muricata* L.). *Rev Bras Frutic* 25:329–331. doi: 10.1590/S0100-29452003000200037

- Eggadi V, Gundamedi S, Sheshagiri SBB, et al (2014) Evaluation of anticancer activity of *Annona muricata* in 1, 2-dimethyl hydrazine induced Colon Cancer. *World Appl Sci J* 32:444–450. doi: 10.5829/idosi.wasj.2014.32.03.85109
- Evangelista Lozano S, Cruz Castillo J, Pérez González S, et al (2003) Production and fruit quality of guanabanos (*Annona muricata* L.) from Jiutepec seed, Morelos, Mexico. *Chapingo Horti Ser* 9:69–79
- Fidyasari A, Wulandari S, Indonesia M (2017) SECONDARY METABOLITE AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF SOURSOP ( *ANNONA MONTANA* ) FRUIT EXTRACT. 1:10–15
- George VC, Kumar DRN, Suresh PK, Kumar RA (2015) Antioxidant, DNA protective efficacy and HPLC analysis of *Annona muricata* (soursop) extracts. *J Food Sci Technol* 52:2328–2335. doi: 10.1007/s13197-014-1289-7
- Hernández LM, Gómez Jaimes R, Andrés Agustín J (2013) Importancia, plagas insectiles y enfermedades fungosas del cultivo del guanábano, 1st edn. *Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Nayarit. México*
- Hernández LV, Moctezuma HL, Martínez NAV, et al (2014) La situación de las annonaceae en México: principales plagas, enfermedades y su control. *Rev Bras Frutic* 36:44–54. doi: 10.1590/S0100-29452014000500005
- Jiménez VM, Gruschwitz M, Schweiggert RM, et al (2014) Identification of phenolic compounds in soursop (*Annona muricata*) pulp by high-performance liquid chromatography with diode array and electrospray ionization mass spectrometric detection. *Food Res Int* 65:42–46. doi: 10.1016/j.foodres.2014.05.051
- Jiménez Zurita JO, Balois Morales R, Alia Tejacal I, et al (2016) Caracterización de frutos de guanabana (*Annona muricata* L.) en Tepic, Nayarit, México\* Characterization of soursop fruit (*Annona muricata* L.) in Tepic, Nayarit, Mexico. *Rev Mex Ciencias Agrícolas* 7:1261–1270
- Komansilan A, Abadi AL, Yanuwadi B, Kaligis DA (2012) Isolation and Identification of Biolarvicide from Soursop ( *Annona muricata* Linn ) Seeds to Mosquito ( *Aedes aegypti* ) Larvae. *Int J Eng Technol* 12:28–32
- L.C. P, A.T. C, S. DSS, et al (2017) Effects of *Annona muricata* L. (soursop) seeds oil improves in model in vivo and in vitro of type 1 diabetes mellitus. *J Allergy Clin Immunol* 139:AB15-AB15
- Lam PF, Zaipun MZ (1986) Respiration rates, ethylene productions and chemical compositions of different maturity of soursop (*Annona muricata* L.) at various temperatures. 1:231–235
- Lee WZ, Chang SK, Khoo HE, et al (2016) Influence of different extraction conditions on antioxidant properties of soursop peel. *Acta Sci Pol Technol Aliment* 15:419–428. doi: 10.17306/J.AFS.2016.4.40
- Márquez C, Villacorta V, Yepes D, et al (2012) Physiological and Physico-Chemical Characterization of the Soursop. *Rev Fac Nal Agr Medellin* 65:6477–6486

- Moreno-Velázquez D, Saucedo-Veloz C, Arévalo-Galarza L, et al (2008) Cambios bioquímicos, biofísicos y fisiológicos durante el crecimiento y maduración del fruto de ilama (*Annona diversifolia* saff.). *Agrociencia* 42:407–414. doi: 10.1016/j.psc.2016.04.008
- Ortiz Franco LZ, Ramírez Villa AZ, Cervantes Mojica LJ, et al (2016) Efecto del 1-metilciclopropano en la maduración de mango ataulfo en condición simulada para exportación a Europa. *Rev Fitotec Mex* 39:305–316
- Osathanunkul M (2018) Bar-HRM for authenticating soursop (*Annona muricata*) tea. *Sci Rep* 8:1–7. doi: 10.1038/s41598-018-31127-9
- Pal DK, Kumar PS (1995) Changes in the physico-chemical and biochemical compositions of custard apple (*Annona squamosa* L.) fruits during growth, development and ripening. *J Hortic Sci* 70:569–572. doi: 10.1080/14620316.1995.11515328
- Pareek S, Yahia EM, Pareek OP, Kaushik RA (2011) Postharvest physiology and technology of *Annona* fruits. *Food Res Int* 44:1741–1751. doi: 10.1016/j.foodres.2011.02.016
- Paul RE (1982) "Postharvest variation in composition of soursop (*Annona muricata* L.) fruit in relation to respiration and ethylene production [Indigenous to tropical America, Hawaii]." *J Am Soc Hortic Sci* 582–585
- Pinto LC, Cerqueira-Lima AT, Suzarth S dos S, et al (2018) *Annona muricata* L. (soursop) seed oil improves type 1 diabetes parameters in vivo and in vitro. *PharmaNutrition* 6:1–8. doi: 10.1016/j.phanu.2017.11.002
- Pinto N de CC, Campos LM, Evangelista ACS, et al (2017) Antimicrobial *Annona muricata* L. (soursop) extract targets the cell membranes of Gram-positive and Gram-negative bacteria. *Ind Crops Prod* 107:332–340. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.05.054
- Sackey AS, Kwaw E, Tchabo W, Apaliya MT (2017) Effects of blending ratios on the physicochemical, sensory and quality rating of soursop and pineapple fruit juice. *African J Food Integr Agric* 1:15–21. doi: 10.25218/ajfia.2017.01.001.03
- Womani HM, Tonfack Djikeng F, Iruku NSSP, et al (2016) Valorization of soursop flowers (*Annona muricata* L.) as potent source of natural antioxidants for stabilization of palm olein during accelerated storage. *Food Sci Nutr* 4:802–810. doi: 10.1002/fsn3.349
- Worrell DB, Sean Carrington CM, Huber DJ (1994) Growth, maturation and ripening of soursop (*Annona muricata* L.) fruit. *Sci Hortic (Amsterdam)* 57:7–15. doi: 10.1016/0304-4238(94)90030-2

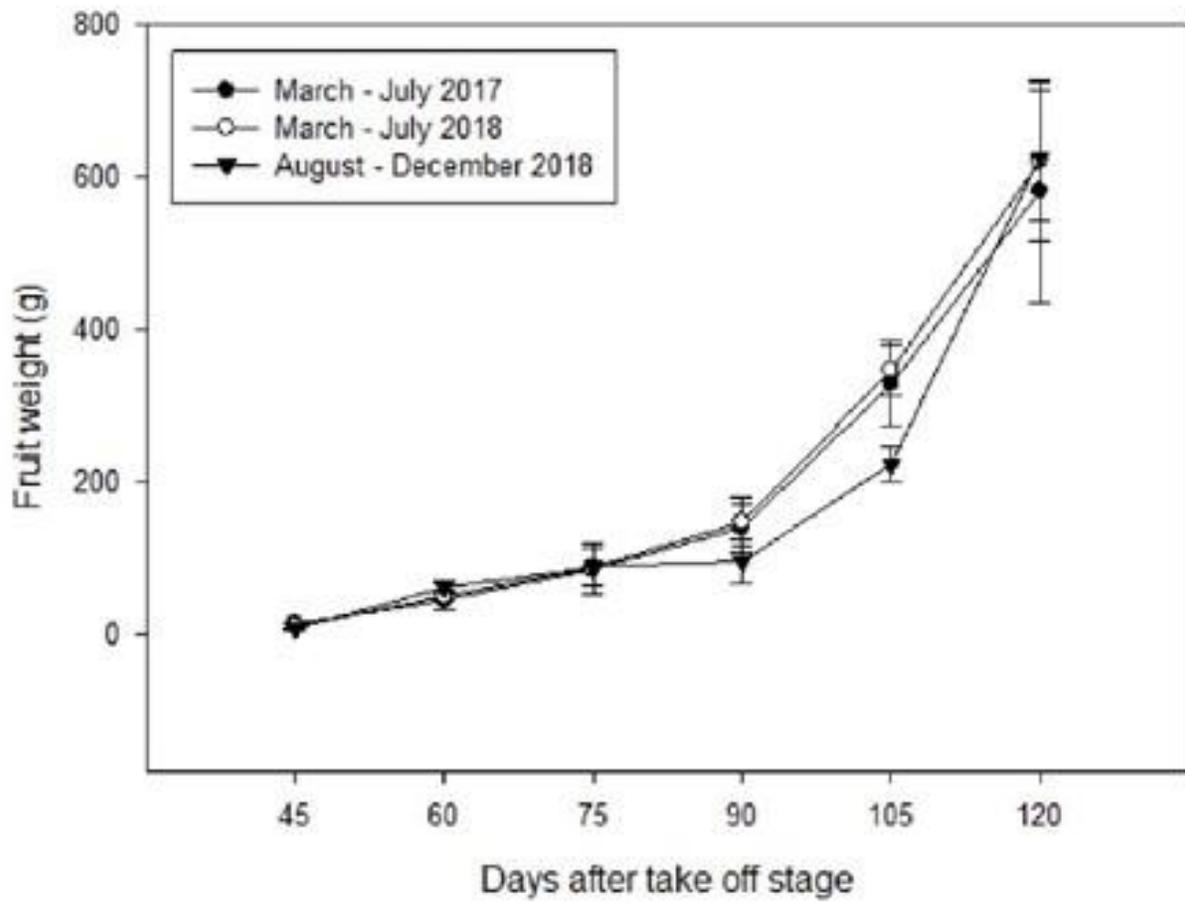


Figure 1. Changes in soursop fruit weight stored at 25 °C and 65% of relative humidity at different days after take-off

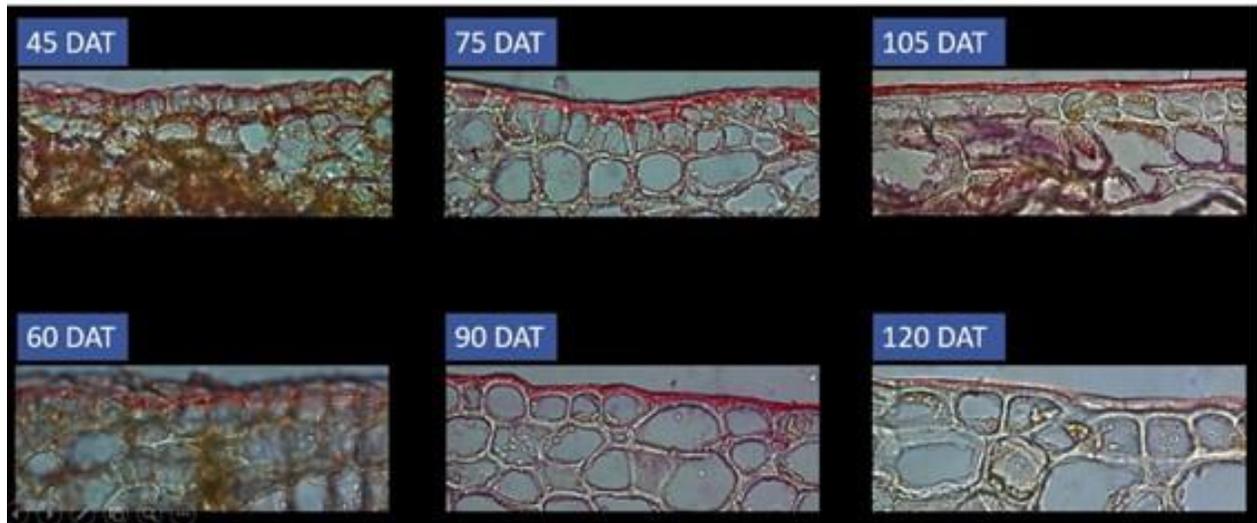


Fig. 2. Exocarp microscopy of soursop fruits stored at 25 °C and 65% of relative humidity. Staining of cuticle component was carried out with Red Oil Solution as described in the main text. DAT: days after take off.

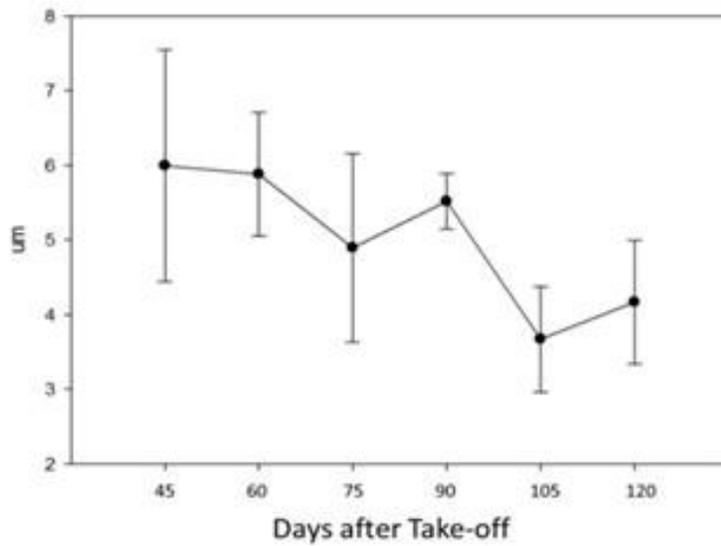


Figure 3. Changes in cuticle thickness of soursop fruits stored at 25 °C and 65% of relative humidity. The symbols show the mean of ten fruits, and the vertical bars represent the standard deviation.

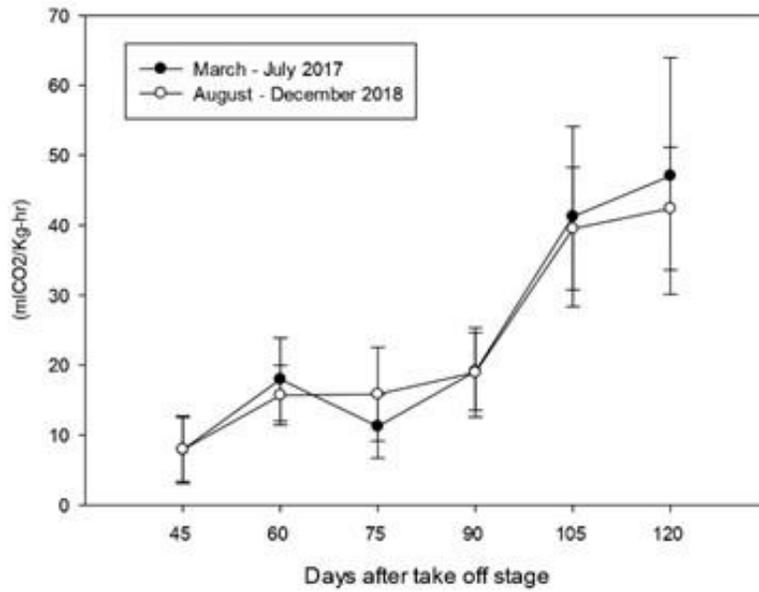


Figure 4. Respiratory rate of soursop fruits stored at 25 °C and 65% of relative humidity. The symbols show the mean of 12 fruits and vertical bars the standard deviation.

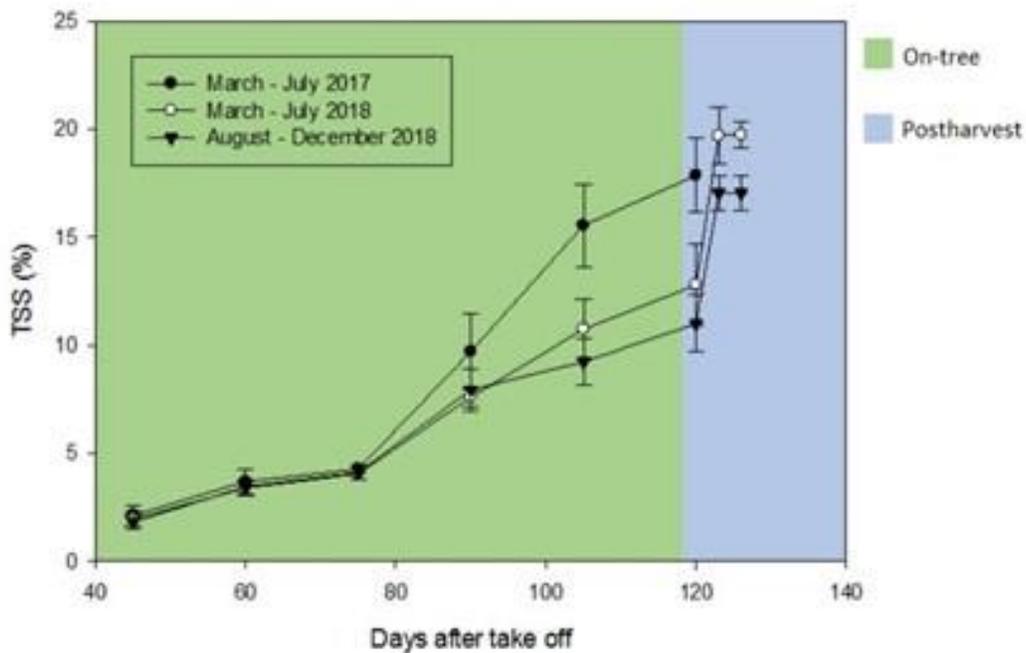


Figure 5. Changes of total soluble solids of soursop fruits during different days after take off and different days after harvest. During postharvest, fruits were stored at 25 °C and 65% of relative humidity. Symbols represent the mean, and vertical bars the standard deviation.

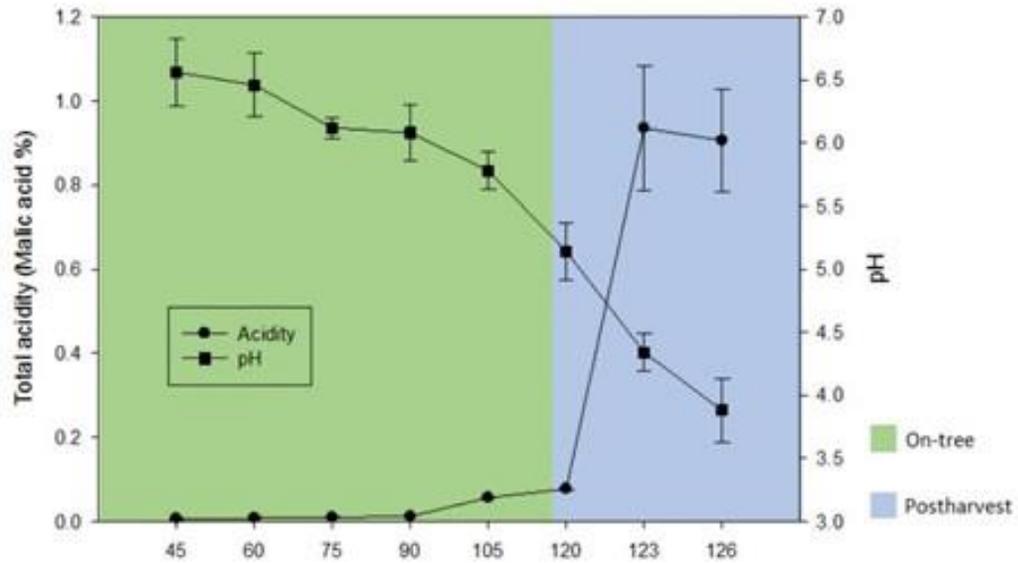


Figure 6. Changes in total acidity and pH of soursop fruit at different days after take off and during different days after harvest. During postharvest, fruits were stored at 25 °C and 65% of relative humidity. Symbols represent the mean, and vertical bars the standard deviation.

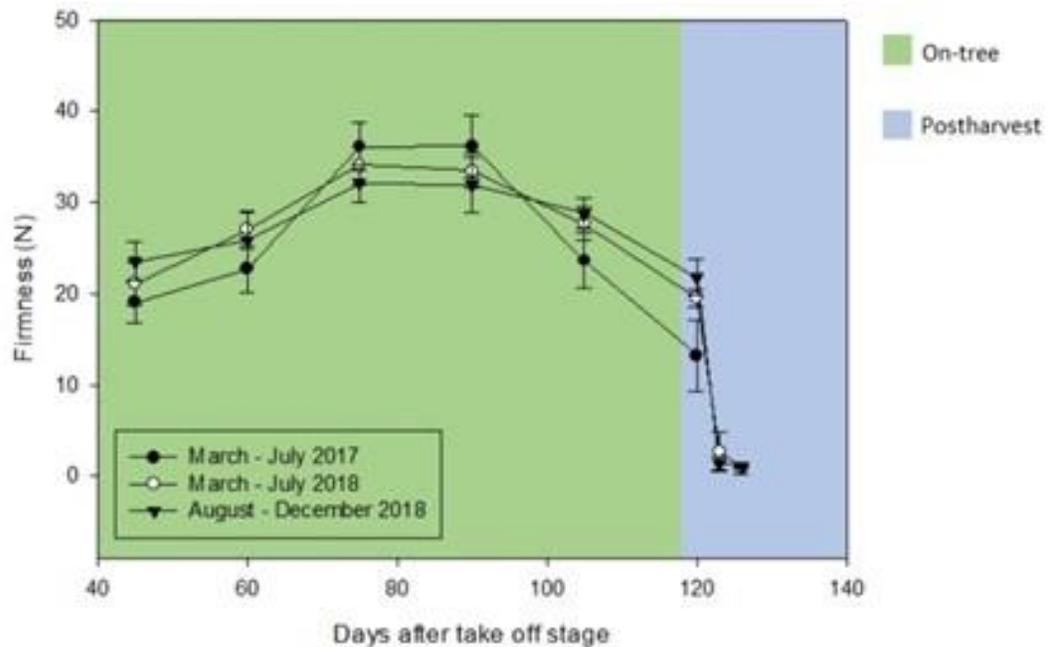


Figure 7. Changes in firmness of soursop fruit at different days after take off and during different days after harvest. During postharvest, fruits were stored at 25 °C and 65% of relative humidity. Symbols represent the mean, and vertical bars the standard deviation.

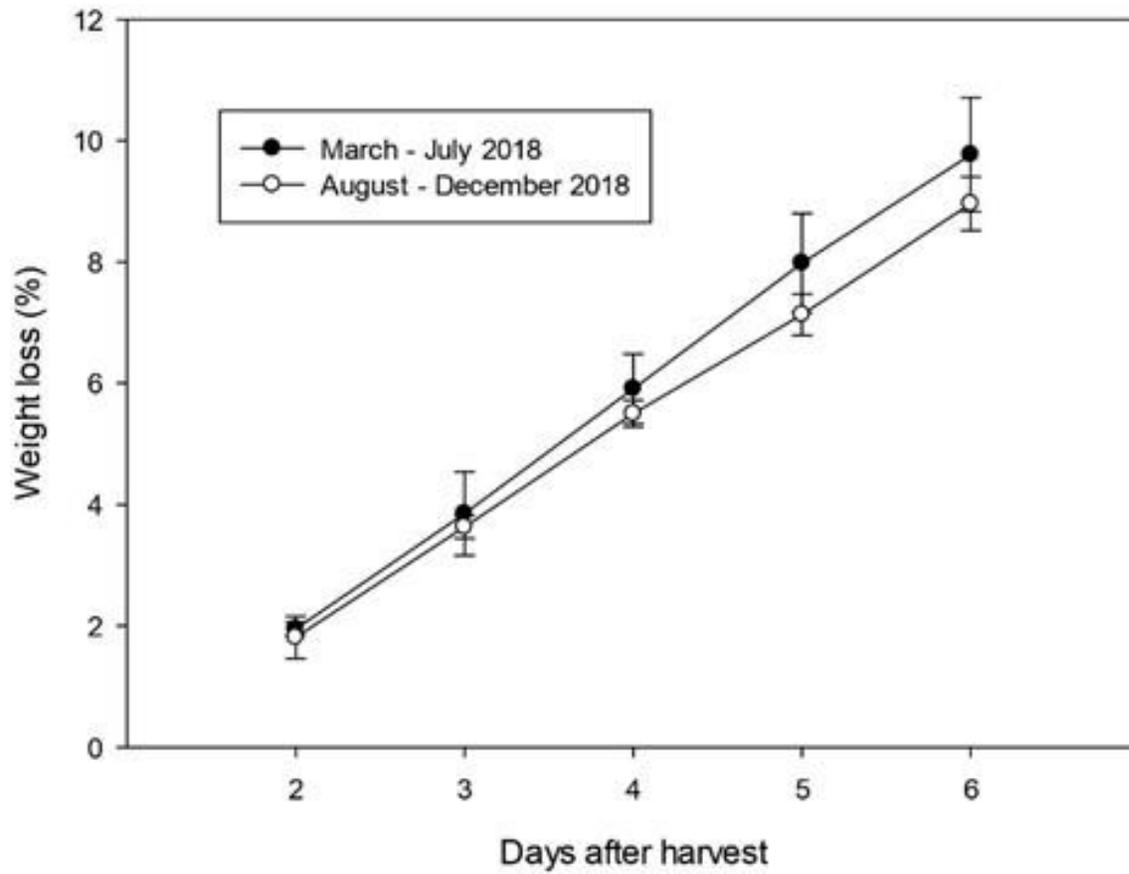


Figure 8. Changes in weight loss percentage of soursop fruit during different days after harvest. During postharvest, fruits were stored at 25 °C and 65% of relative humidity. Symbols represent the mean, and vertical bars the standard deviation.

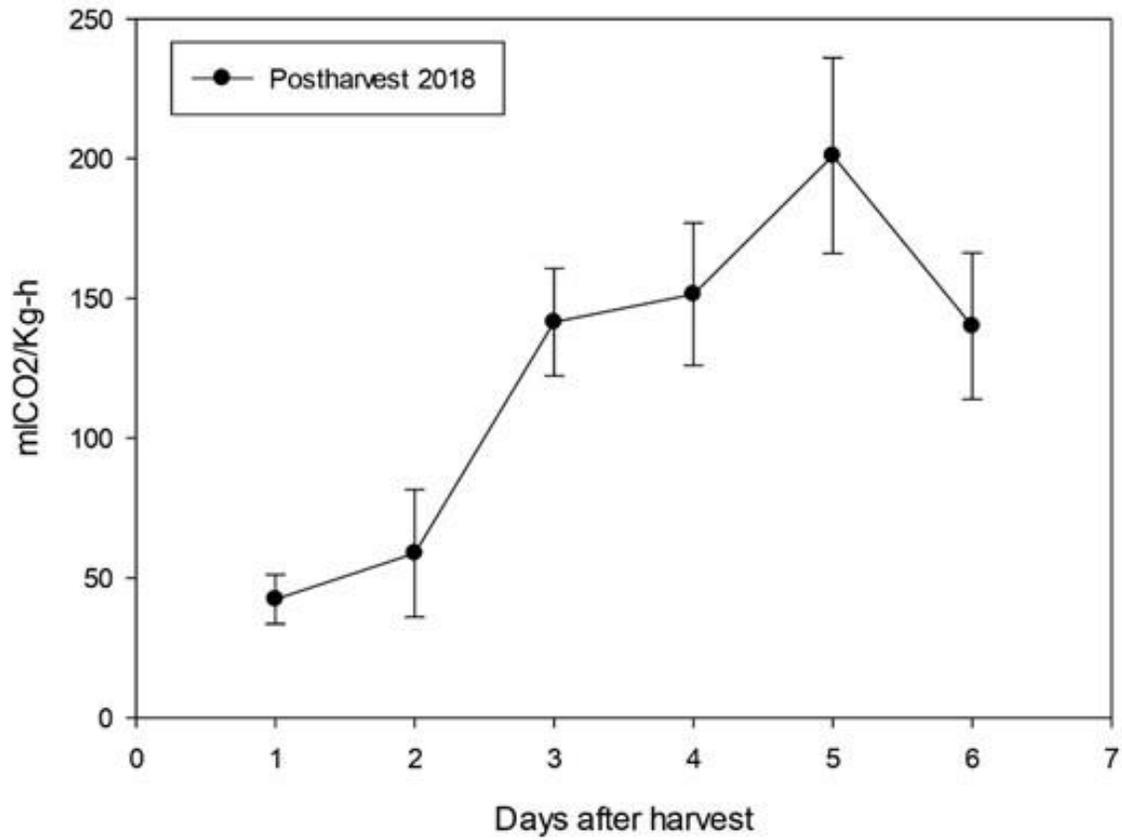


Figure 9. Changes in postharvest respiration rate of soursop fruits harvest during the period between August-December of 2018. Fruits were stored at 25 °C and 65% of relative humidity.

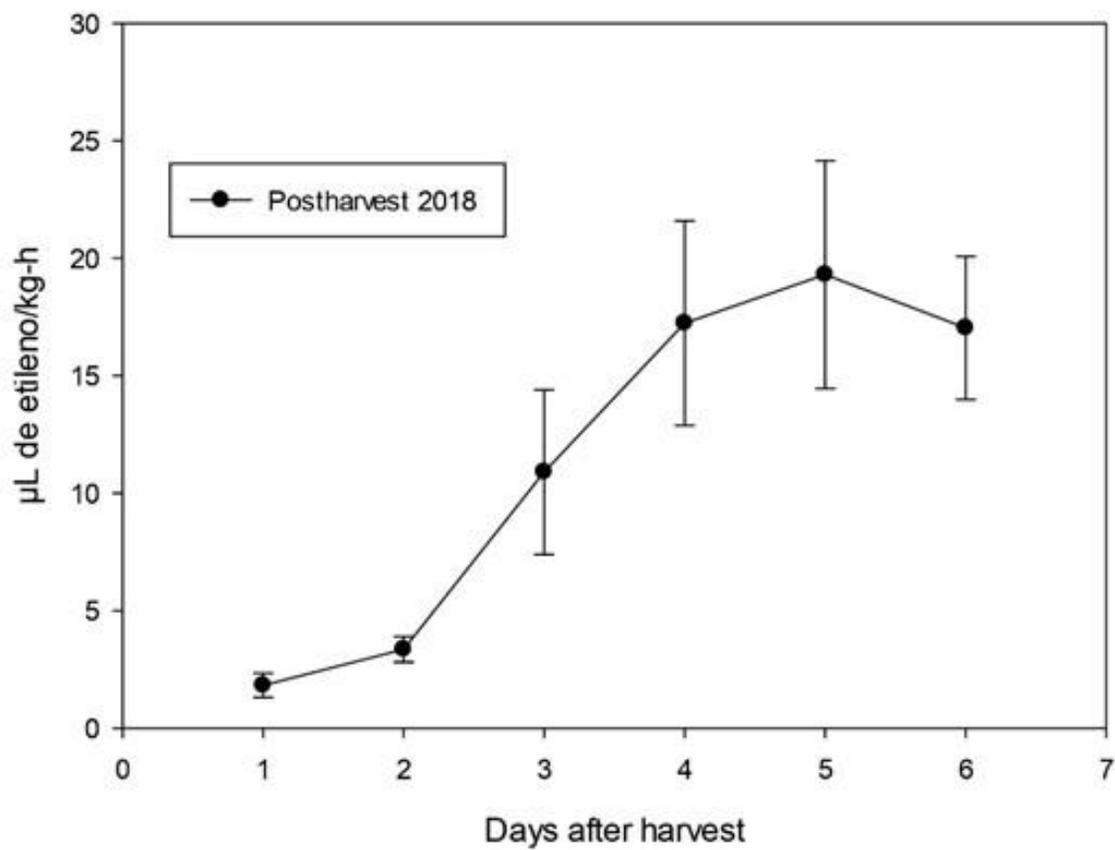


Figure 10. Changes in ethylene production during postharvest of soursop fruits harvested during the period between August-December of 2018. Fruits were stored at 25 °C and 65% of relative humidity

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERAL**

### **4.1. Importancia del Cultivo de Guanábana Para el Desarrollo Regional de Compostela.**

El cultivo de guanábana es una actividad económica de gran importancia en Compostela, Nayarit. El desempeño de la cadena productiva de guanábana es uno de los indicadores más importantes de su desarrollo económico. En 2018, el municipio cosechó 21,130 toneladas de guanábana, lo que representó el 81% del valor total de la producción nacional de esta fruta, generando una derrama económica anual superior a los \$244 millones de pesos. Esta cifra es equiparable a la del cultivo con el valor de producción más alto del municipio (mango). Impulsar la comercialización de la guanábana mexicana en el mercado internacional es una alternativa viable para el desarrollo económico de la región. En esta investigación, se llevaron a cabo dos estudios complementarios que analizan la cadena productiva de la guanábana en Compostela, Nayarit, desde perspectivas diferentes.

### **4.2. Contexto Cultural, Socioeconómico y Ambiental.**

En el primer estudio, se analizó el contexto socioeconómico y ambiental del municipio de Compostela, identificando factores que afectan la rentabilidad y productividad de la cadena, como la falta de infraestructura adecuada para el transporte y almacenamiento de los frutos, y la falta de capacitación técnica para los productores. Se identificaron limitantes para la exportación de guanábana a mercados de alto valor, áreas de oportunidad y riesgos. En el análisis del eslabón primario de producción de guanábana, se encontraron limitantes culturales que afectan el progreso de la cadena productiva. En particular, los productores de Compostela sufren pérdidas significativas de guanábana debido a su arraigo a métodos de cultivo tradicionales y la falta de intercambio de información. Se estima que pierden alrededor de tres toneladas por hectárea cada año debido a estos factores culturales. Además, se identificaron otros factores críticos como la aplicación inadecuada de riego y fertilización, así como el uso excesivo o inapropiado de pesticidas,

que también afectan la calidad y cantidad de los frutos que se producen. Estos resultados son relevantes porque muestran que mejorar la rentabilidad y productividad de la cadena productiva no solo depende de factores técnicos, sino también socioeconómicos.

#### 4.3. Eslabones Primarios y Limitantes de la Cadena Productiva.

Se analizaron minuciosamente los eslabones primarios de producción, procesamiento y comercialización de la cadena productiva de guanábana. En cada eslabón, se identificaron varios problemas que afectan la calidad, cantidad, poscosecha y comercialización de los frutos, y por tanto la productividad y rentabilidad de la cadena. El análisis holístico permitió la identificación de nueve categorías de limitantes, de las cuales ocho requieren atención especializada e inmediata. Entre los principales desafíos, destacan la naturaleza perecedera del fruto, riesgos fitosanitarios, falta de coordinación entre eslabones, técnicas de manejo obsoletas e infraestructura inadecuada para almacenamiento y transporte.

#### 4.4. Etapas y Desafíos en la Producción de Guanábana.

El eslabón primario de producción de guanábana consta de cuatro etapas: preparación del terreno, selección del material vegetativo, establecimiento del cultivo y fase productiva. El establecimiento del cultivo incluye procesos de mantenimiento como la fertilización, el control de plagas, enfermedades y malezas, que deben realizarse de manera adecuada, oportuna y periódica hasta el cierre del cultivo. Durante los primeros años de desarrollo, los árboles experimentan un crecimiento vegetativo rápido, sin embargo, la fructificación es limitada o nula debido a que su metabolismo se enfoca principalmente en el crecimiento del tallo, raíces y sección transversal. En Compostela, la fase no productiva dura alrededor de cuatro años utilizando métodos de labranza tradicionales. Durante esta etapa, es crucial prestar atención al mantenimiento y cuidado de los árboles, así como a las condiciones edafoclimáticas, ya que estos factores determinan tanto el inicio como el comportamiento de la fase productiva y, por tanto, el nivel de producción alcanzado. El cultivo

entra en fase productiva cuando se logra el objetivo de producir suficientes frutos de calidad para que su cosecha sea rentable en el mercado. Se ha observado que, en Compostela, Nayarit, los cultivos de guanábana requieren poco mantenimiento, debido a que las condiciones edafoclimáticas lo favorecen. No obstante, es necesario prestar mayor atención, ya que estas mismas condiciones también son propicias para la propagación de plagas y enfermedades.

#### 4.5. Problemas y Soluciones en el Eslabón de Empaque y Procesamiento.

En el segundo eslabón primario, empaque y procesamiento, se identificaron problemas como el manejo inadecuado durante el transporte y almacenamiento, así como la falta de capacitación técnica para el manejo poscosecha. Una solución a corto plazo y rentable para contrarrestar los riesgos derivados de la naturaleza perecedera del fruto es la implementación de tecnologías para el manejo poscosecha, como la tecnología de recubrimientos para extender la vida de anaquel y prevenir infecciones fúngicas. Aunque se conocen las condiciones óptimas de almacenamiento para guanábana capaces de mantener la calidad de los frutos hasta veintidós días, su implementación requiere una inversión en la adquisición de equipos y capacitación del personal que manipula los frutos. Uno de los principales puntos débiles de la cadena es que un porcentaje significativo de productores de guanábana se enfoca únicamente en la venta de frutas frescas. La falta de diversificación en los productos ofrecidos y la escasez de subproductos a base de guanábana limita el comercio y reduce la rentabilidad de la cadena productiva. Por otro lado, la industrialización de la guanábana a través del despulpado es una alternativa que permite no solo el almacenamiento y extensión significativa de su plazo de venta sino también la diversificación de productos a base de guanábana.

#### 4.6. Desafíos y Soluciones en el Eslabón Primario de Comercialización.

En el eslabón primario de comercialización, se identificaron limitantes como la falta de canales comerciales adecuados y capacitación técnica para transportistas y comercializadores, lo que

dificulta la expansión de la cadena productiva de guanábana. La dependencia del mercado local y la falta de acceso a mercados internacionales hacen que la cadena productiva sea altamente vulnerable a la volatilidad de precios. Se observó que el intermediarismo tiene efectos nocivos en la cadena productiva, generando un mayor margen de ganancia para los intermediarios y ganancias no equitativas para los productores. La falta de precios de garantía también genera incertidumbre en los ingresos que recibirán los productores por su cosecha. Todo esto resulta en una cadena productiva desarticulada, en la que la coordinación y cooperación entre los actores es limitada, afectando su rentabilidad y productividad. Para agilizar la comercialización de guanábana, es necesaria una intervención integral que aborde múltiples factores, tales como el fortalecimiento de los canales comerciales, la capacitación técnica y la diversificación de productos y mercados.

#### 4.7. Plan de Acción Para Mejorar la Cadena Productiva De Guanábana.

Con base en estos hallazgos, se elaboró un plan de acción que prioriza la intervención en los desafíos más relevantes de la cadena productiva, buscando superar de manera efectiva las limitaciones que obstaculizan su comercialización. Se elaboró un orden de intervención para la cadena productiva de guanábana, que incluye quince medidas específicas (1. Podas de saneamiento, 2. Embolsado de frutos, 3. Asesoría, apoyo técnico y apropiación social de la ciencia, 4. Eliminación de frutos no viables, 5. Remoción de hojarasca y maleza, 6. Polinización artificial, 7. Control estricto de temperatura en poscosecha, 8. Elaboración de subproductos, 9. Certificaciones, 10. Injertos, 11. Control biológico, 12. Recubrimientos, 13. Incorporación al programa de precios de garantía, 14. Control químico, 15. Uso de tecnologías de empaque para mejorar su rentabilidad y productividad, basado en un análisis de relevancia de sus puntos críticos de control.

A continuación, se enlista una breve descripción de algunos pasos del plan de acción generado a partir del Análisis de Riesgos.

- El uso de injertos para la propagación de guanábana es efectivo y permite replicar características deseables, pero los beneficios económicos son difíciles de calcular y solo se perciben a largo plazo.

- Implementación de podas de saneamiento: Las podas de saneamiento ocupan el primer lugar en el orden de intervención debido a su fácil implementación y al impacto positivo en mantener un ambiente inocuo alrededor del cultivo.
- Implementación de programas de polinización artificial: La polinización artificial de la guanábana evita la dependencia en insectos polinizadores que pueden ser ineficientes. Aumenta significativamente la productividad, permitiendo la formación adecuada de frutos con buen peso e incrementa de dos a cuatro veces el número de frutas por planta.
- Retorno de prácticas culturales tradicionales: Existen prácticas culturales tradicionales efectivas para el control de plagas y enfermedades que han sido discontinuadas y deberían ser retomadas, como la eliminación periódica de material orgánico (frutos no viables, hojarasca, maleza, etc.).
- Uso de plásticos para proteger los frutos durante el desarrollo: El embolsado de frutos es el método más efectivo para controlar al barrenador de la semilla y prevenir enfermedades fúngicas. Esta práctica económica, rápida y sencilla logra un control del 98 al 100% del barrenador de la semilla cuando se realiza durante etapas tempranas de desarrollo, aumentando la producción hasta 70%.
- Investigación e implementación de métodos de control biológico: El control biológico, consiste en liberar enemigos naturales para eliminar plagas de manera efectiva sin los efectos perjudiciales de los métodos químicos.
- Control estricto de temperatura: Realizar un control estricto de la temperatura puede preservar la calidad de los frutos de guanábana en poscosecha.
- Certificaciones: La certificación fitosanitaria es esencial para exportar guanábana mexicana fresca a mercados de alto valor, pero el proceso requiere la validación de múltiples autoridades fitosanitarias nacionales e internacionales.
- Comunicación y ciencia en producción: Se destaca la importancia de la comunicación eficiente entre los eslabones y actores de la cadena productiva y la implementación de programas de apropiación social de la ciencia para su desarrollo.
- Apoyo integral para la industria de guanábana: Se propone fomentar la industria de la guanábana mediante apoyos económicos, asesoría técnica y difusión de información, incluyendo programas de capacitación para mejorar el rendimiento y calidad del producto.

Este Orden de Intervención es una herramienta útil para implementar medidas que aborden los desafíos identificados y mejoren significativamente la rentabilidad y productividad de la cadena productiva de guanábana.

#### 4.8. Relevancia y Aplicación en Investigaciones Futuras.

Los resultados y hallazgos relevantes del estudio incluyen la identificación y análisis detallado de los eslabones primarios y puntos críticos en la cadena productiva, así como un orden de intervención propuesto para mejorar su rentabilidad y productividad. La metodología diseñada y los hallazgos obtenidos pueden servir como punto de partida para investigaciones y proyectos enfocados en la cadena productiva de guanábana y otros frutos tropicales. Pueden ser valiosos tanto para actores involucrados en la cadena como para futuras investigaciones y mejoras en la gestión de la misma, permitiendo mejorar prácticas y aumentar la competitividad en el mercado internacional.

#### 4.9. Cambios Fisiológicos y Estructurales Durante el Desarrollo y Maduración de la Guanábana.

El segundo estudio se centró en el análisis de los cambios bioquímicos, biológicos y fisiológicos que ocurren durante el desarrollo y maduración del fruto de la guanábana. Este es el primer estudio que considera tanto el periodo anterior a la cosecha como la poscosecha. Se llevó a cabo un registro detallado de los cambios a nivel fisiológico y estructural en el exocarpo de los frutos en diferentes etapas de desarrollo.

#### 4.10. Caracterización del Crecimiento y Maduración de la Guanábana.

Los resultados obtenidos en este estudio proporcionan información valiosa sobre el patrón de crecimiento y maduración de la guanábana, lo cual es crucial para la optimización de las prácticas de manejo y cosecha. Muestran que la guanábana sigue un patrón de crecimiento sigmoideal doble y que la maduración se caracteriza por una acumulación de TSS y ácido málico, junto con una disminución marcada del pH y la firmeza. Se incluyen microscopías de exocarpo de frutos en varias etapas de desarrollo que ilustran los cambios en la deposición de la cutícula. Durante la postcosecha, el exocarpo de guanábana no resistió el proceso de criosección necesario para realizar las microscopías por lo que sólo se muestran micrografías de la precosecha.

#### 4.11. Aplicación al Manejo y Conservación de la Guanábana.

El artículo sugiere que investigaciones adicionales, enfocadas en estos parámetros y con intervalos de muestreo más frecuentes, pueden contribuir a la identificación de los períodos ideales de cosecha. En general, el artículo es una contribución valiosa para la comprensión de los procesos de desarrollo y maduración de la guanábana y puede ser útil para productores y científicos interesados en este cultivo. Además, estos hallazgos podrían ser útiles para desarrollar estrategias de almacenamiento y transporte que mejoren la calidad y vida útil del fruto, abordando así uno de los principales desafíos identificados en el primer estudio.

#### 4.12. Complementariedad de los Estudios en Beneficio para la Cadena Productiva de Guanábana.

En conjunto, los resultados de ambos estudios proporcionan una visión completa y detallada de la cadena productiva de la guanábana en Compostela, Nayarit, y de los procesos que ocurren durante el desarrollo y maduración del fruto. Ambos estudios pueden complementarse mutuamente, ya que los resultados obtenidos del análisis de la fisiología del fruto pueden ser útiles para mejorar los

procesos identificados como puntos críticos de control en el estudio de la cadena productiva y contribuir al desarrollo sostenible de la producción y comercialización de guanábana en México. Estos hallazgos pueden ser de gran utilidad para productores y científicos interesados en mejorar la producción, calidad y comercialización de la guanábana.

## 5. CONCLUSIONES GENERALES

La cadena productiva de guanábana en Compostela, Nayarit, es un importante indicador de desarrollo económico en la región. Sin embargo, como cualquier cadena productiva, presenta puntos débiles que pueden afectar su eficiencia y rentabilidad. La presente tesis abordó el estudio de esta cadena productiva a través de dos enfoques: el análisis de la cadena productiva y el estudio de la fisiología y desarrollo del fruto. La hipótesis planteada, "Inconsistencias en la cadena productiva, junto con una comprensión limitada de la fisiología del fruto, restringen la calidad del sistema productivo de guanábana en Nayarit", se ha demostrado en los resultados obtenidos a lo largo de esta investigación. El primer estudio permitió caracterizar la cadena productiva y proponer estrategias para superar las limitaciones que impiden su desarrollo. El segundo estudio analizó los cambios fisiológicos y estructurales en el fruto durante su desarrollo y maduración. Ambos trabajos proporcionan información que puede ser utilizada para mejorar la producción, calidad y comercialización de la guanábana, contribuyendo al crecimiento sostenible de este cultivo tropical en la región.

En primer lugar, se diseñó una metodología de intervención sistemática en cadenas productivas de frutos tropicales, fundamentada en el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC), adaptada específicamente al contexto de la guanábana Nayarita. Esta metodología permitió mapear y describir los eslabones clave de la cadena productiva de guanábana en Compostela, proporcionando un esquema detallado y comprensivo.

La dinámica de las interacciones entre los distintos actores que participan en la cadena productiva de guanábana en Compostela, Nayarit, fue estudiada y representada visualmente, lo cual reveló las áreas de oportunidad para mejorar la colaboración y comunicación entre ellos. Los componentes que permiten delimitar el sistema guanábana incluyen los actores involucrados en la producción, procesamiento, distribución y comercialización, así como los procesos biológicos y fisiológicos que ocurren en el fruto. Los actores interactúan en distintos niveles y áreas de la cadena productiva, con una comunicación y colaboración que puede mejorarse.

Los principales puntos críticos que limitan el avance del sistema a una mejor calidad incluyen factores como inconsistencias en la cadena productiva y la falta de conocimiento en la fisiología del fruto. A partir de esta información, se elaboró un plan de acción enfocado en abordar, por orden

de prioridad, los desafíos más relevantes de la cadena productiva de guanábana en Compostela. Este plan de acción busca remover las limitaciones que afectan su comercio a gran escala de manera efectiva. Para intervenir el sistema de manera efectiva, se deben priorizar los desafíos identificados en el plan de acción y trabajar en conjunto con los actores involucrados.

El análisis de los cambios fisiológicos durante el desarrollo precosecha y poscosecha de los frutos de guanábana y su exocarpo es fundamental para optimizar el manejo, almacenamiento y transporte de esta fruta, con el objetivo de mejorar su calidad y vida útil. Estos cambios se han estudiado en términos bioquímicos, biológicos y fisiológicos, y siguen un comportamiento similar al que se ha encontrado en otras frutas de tipo climatérico. La comprensión de estos procesos podría usarse para identificar las mejores prácticas para optimizar el manejo, almacenamiento y transporte. Ese potencial, expresado en frutos con mayor calidad y vida de anaquel, puede coadyuvar a ampliar su mercado de comercialización y lograr precios más atractivos, además de mejorar la calidad de vida de los campesinos al mejorar sus ingresos. De igual manera, los resultados obtenidos aportan elementos para impulsar acciones de apropiación del conocimiento en grupos de productores y campesinos interesados en este fruto y, específicamente, en identificar los puntos críticos de control de la cadena productiva. Se confirma la necesidad de reforzar la investigación científica sobre el comportamiento fisiológico de la fruta y la de emprender acciones específicas de intervención que el análisis de la cadena productiva de guanábana sugiere.

En conclusión, el análisis de la cadena productiva y la comprensión del desarrollo fisiológico de la guanábana son fundamentales para mejorar la calidad del sistema en su conjunto y potenciar la producción, calidad y comercialización de la fruta en México. La tesis muestra que mejorar la rentabilidad y productividad de la cadena productiva de guanábana en Compostela, Nayarit requiere una intervención integral que aborde factores socioeconómicos, técnicos y ambientales. Esta investigación es útil para productores, científicos y otros actores interesados en optimizar la cadena productiva. La información generada sirve para diseñar estrategias de planeación bajo ejes clave de mejoramiento social, económico y ambiental, y puede emplearse en manuales específicos y futuros proyectos de investigación. Los resultados destacan la importancia de abordar desafíos y puntos críticos presentes en cada eslabón para mejorar el sistema en su conjunto y sugieren la necesidad de considerar investigaciones científicas sobre el comportamiento fisiológico de la guanábana y otros frutos tropicales para emprender futuras acciones específicas de intervención.

## 6. RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, además del orden de intervención propuesto, se proponen las siguientes recomendaciones para mejorar la cadena productiva de la guanábana en Compostela, Nayarit y potenciar su producción, calidad y comercialización:

1. Capacitación y concientización: Capacitar a los actores involucrados en buenas prácticas agrícolas y manejo integrado de plagas, además de concientizar sobre la importancia del control constante en cada eslabón de la cadena.
2. Implementación del APPCC: Implementar y certificarse en esta metodología en la cadena productiva de la guanábana para abordar eficientemente los puntos críticos de control.
3. Mejora en infraestructura y tecnología: Invertir en infraestructura adecuada y tecnologías para optimizar el manejo y conservación del fruto en transporte y almacenamiento.
4. Desarrollo de estrategias de comercialización: Ampliar los mercados, tanto nacional como internacional, y mejorar la competitividad de la guanábana.
5. Inclusión en el programa de precios de garantía: Incluir a la guanábana en este programa del gobierno federal, estableciendo un valor mínimo de adquisición que garantice la rentabilidad para los productores.
6. Fomento de investigación y colaboración: Establecer alianzas entre actores interesados en el cultivo de la guanábana para impulsar investigación y desarrollo de tecnologías y prácticas que mejoren la producción y calidad del fruto.
7. Enfoque en la sostenibilidad: Abordar los desafíos identificados en la cadena productiva bajo un enfoque de sostenibilidad social, económica y ambiental.

Estas recomendaciones buscan impulsar el mejoramiento integral de la cadena productiva de la guanábana en Compostela, Nayarit, favoreciendo la producción, calidad y comercialización del fruto en México. La adopción de estas acciones mejorará la rentabilidad y productividad, beneficiando a todos los actores involucrados y contribuyendo al desarrollo sostenible de la producción y comercialización de guanábana en la región.

## REFERENCIAS

- Adefegha, S. A., Oyeleye, S. I., & Oboh, G. (2015). Distribution of phenolic contents, antidiabetic potentials, antihypertensive properties, and antioxidative effects of soursop (*Annona muricata* L.) fruit parts in vitro. *Biochemistry Research International*, 2015, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2015/347673>
- Altendorf, S. (2017). Global Prospects for Major Tropical Fruits. *Food Outlook*, 68–81. [http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM\\_MARKETS\\_MONITORING/Tropical\\_Fruits/Documents/Tropical\\_Fruits\\_Special\\_Feature.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Tropical_Fruits/Documents/Tropical_Fruits_Special_Feature.pdf)
- Asrey, R., Patel, V. B., Barman, K., & Pal, R. K. (2013). Pruning affects fruit yield and postharvest quality in mango (*Mangifera indica* L.) cv. Amrapali. *Fruits*, 68(5), 367–380. <https://doi.org/10.1051/FRUITS/2013082>
- Ayuntamiento Compostela. (2017). *Plan municipal de desarrollo Compostela 2017-2021*.
- Badrie, N., & Schauss, A. G. (2010). Soursop (*Annona muricata* L.): Composition, nutritional value, medicinal uses, and toxicology. In *Bioactive Foods in Promoting Health* (Issue June, pp. 621–643). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374628-3.00039-6>
- Baltes, N. J., Hummel, A. W., Konecna, E., Cegan, R., Bruns, A. N., Bisaro, D. M., & Voytas, D. F. (2015). Conferring resistance to geminiviruses with the CRISPR-Cas prokaryotic immune system. *Nature Plants*, 1(10), 1–9. <https://doi.org/10.1038/NPLANTS.2015.145>
- Bapat, V. A., Jagtap, U. B., Ghag, S. B., & Ganapathi, T. R. (2020). Molecular Approaches for the Improvement of Under-Researched Tropical Fruit Trees: Jackfruit, Guava, and Custard Apple. *International Journal of Fruit Science*, 20(3), 233–281. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1621236>
- Barbosa-Cánovas, G. V., Fernández-Molina, J. J., Alzamora, S. M., Tapia, M. S., López-Malo, A., & Chanes Welti, J. (2003). Handling and Preservation of Fruits and Vegetables by Combined Methods for Rural Areas Chapter 2 Basic Harvest and Post-Harvest Handling Considerations for Fresh Fruits and. In *FAO Agricultural Services Bulletin* (Vol. 149, pp. 19–37). FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. <https://www.fao.org/3/y4358e/y4358e05.htm>
- Benkeblia, N. (2021). Physiological and Biochemical Response of Tropical Fruits to Hypoxia/Anoxia. *Frontiers in Plant Science*, 12(July), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.670803>
- BlaxtarEssentials. (2022). *The Business Of Soursop Farming*. <https://www.blaxtar.net/learn/the-business-of-soursop-farming>
- Bohra, A., Chand Jha, U., Godwin, I. D., & Kumar Varshney, R. (2020). Genomic interventions for sustainable agriculture. *Plant Biotechnology Journal*, 18(12), 2388–2405. <https://doi.org/10.1111/pbi.13472>
- Borrero, F. V., Hernández, E., Jiménez, R., & Roa, A. (1995). Determinación de índices de madurez de cosecha en gunabana (*Annona muricata*) en dos regiones de Colombia. *IV*

*Simposio Internacional de Manejo, Calidad u Fisiología Postcosecha de Frutas.*, 42, 25–43.

- Bovi, G. G., & Herppich, W. B. (2021). Keeping Fruits and Vegetables Fresh By Limiting Respiration and Transpiration. *Frontiers for Young Minds*, 9(576906). <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/frym.2021.576906>
- Bower, J. P., & Cutting, J. G. (2011). Avocado Fruit Development and Ripening Physiology. *Horticultural Reviews*, 10(1982), 229–271. <https://doi.org/10.1002/9781118060834.ch7>
- Brewer, S. E., & Chambers, A. H. (2022). CRISPR/Cas9-mediated genome editing of phytoene desaturase in *Carica papaya* L. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 97(5), 580–592. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/14620316.2022.2038699>
- Brizzolara, S., Manganaris, G. A., Fotopoulos, V., Watkins, C. B., & Tonutti, P. (2020). Primary Metabolism in Fresh Fruits During Storage. *Frontiers in Plant Science*, 11(February), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00080>
- Bruhn, C. M. (2007). Aspectos de calidad y seguridad alimentaria de interés para el consumidor. *Tecnología Postcosecha de Productos Hortofrutícolas*, 3, 37–44.
- Burg, S. P., & Burg, E. A. (1965). Ethylene action and the ripening of fruits. *Science*, 148(3674), 1190–1196. <https://doi.org/10.1126/science.148.3674.1190>
- Cádiz-Gurrea, M. de la L., Villegas-Aguilar, M. del C., Leyva-Jiménez, F. J., Pimentel-Moral, S., Fernández-Ochoa, Á., Alañón, M. E., & Segura-Carretero, A. (2020). Revalorization of bioactive compounds from tropical fruit by-products and industrial applications by means of sustainable approaches. *Food Research International*, 138(October). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109786>
- Campi, R., Amparore, D., Checcucci, E., Claps, F., Teoh, J. Y. C., Serni, S., Scarpa, R. M., Porpiglia, F., Carrion, D. M., Rivas, J. G., Loeb, S., Cacciamani, G. E., Esperto, F., Lemos Almeida, J., Fiori, C., Hampson, L. A., Mantica, G., Minervini, A., Olivero, A., ... Zhuang, J. (1997). Enhanced Reader.pdf. In *Nature* (Vol. 388, pp. 539–547).
- Caprile, A., & Rossi, R. (2021). 2021 International year of fruits and vegetables. *Servicio de Investigación Del Parlamento Europeo*. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182021000100005>
- Castillo-Ánimas, D., Varela-Hernández, G., Pérez-Salvador, B. R., & Pelayo-Zaldívar, C. (2005). Daños por frío en guanábana, Índice de corte y tratamientos postcosecha. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11((1), 51–57. <http://www.redalyc.org/BusquedasAvanzadas.oa>
- Cayeros Altamirano, S. E. E., Francisco Javier, R. Z., Jiménez González, A., Robles Zepeda, F. J., & Jiménez González, A. (2017). Guanábana en el Municipio de Compostela Nayarit. *EDUATEOCONCIENCIA*, 13(14), 27–36. [http://192.100.162.123:8080/bitstream/123456789/1442/1/Guanabana en el municipio de Compostela Nayarit.pdf](http://192.100.162.123:8080/bitstream/123456789/1442/1/Guanabana%20en%20el%20municipio%20de%20Compostela%20Nayarit.pdf)
- Cerón-Souza, I., Galeano, C. H., Tehelen, K., Jiménez, H. R., & González, C. (2021). Opportunities and challenges to improve a public research program in plant breeding and enhance underutilized plant genetic resources in the tropics. *Genes*, 12(10), 1–21. <https://doi.org/10.3390/genes12101584>
- Chaikiattiyos, S., Menzel, C. M., & Rasmussen, T. S. (1994). Floral induction in tropical fruit trees:

Effects of temperature and water supply. *Journal of Horticultural Science*, 69(3), 397–415. <https://doi.org/10.1080/14620316.1994.11516469>

Chavarría-Perez, L. M., Giordani, W., Dias, K. O. G., Costa, Z. P., Ribeiro, C. A. M., Benedetti, A. R., Cauz-Santos, L. A., Pereira, G. S., Rosa, J. R. B. F., Garcia, A. A. F., & Vieira, M. L. C. (2020). Improving yield and fruit quality traits in sweet passion fruit: Evidence for genotype by environment interaction and selection of promising genotypes. *PLoS ONE*, 15(5), 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232818>

Chen, K., Wang, Y., Zhang, R., Zhang, H., & Gao, C. (2019). CRISPR/Cas Genome Editing and Precision Plant Breeding in Agriculture. *Annual Review of Plant Biology*, 70, 667–697. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100049>

Cipollini, M. L., & Levey, D. J. (1991). Why some fruits are green when they are ripe: carbon balance in fleshy fruits. *Oecologia*, 88(3), 371–377. <https://doi.org/10.1007/BF00317581>

Coêlho de Lima, M. A., & Alves, R. E. (2011). Soursop (*Annona muricata* L.). In *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (Vol. 4). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857092618.363>

Coombe, B. G. (1976). *The Development of Fleshy Fruits*.

Corpas, F. J., Freschi, L., & Palma, J. M. (2023). CHAPTER Seven - ROS metabolism and ripening of fleshy fruits. In *Advances in Botanical Research* (pp. 205–238). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.abr.2022.08.024>.

Correa, J., Ortíz, D., Larrahondo, J., Sánchez, M., & Pachón, H. (2012). Actividad antioxidante en guanábana (*Annona muricata* L.): una revisión bibliográfica. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 11(2), 111–126. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85622734002>

Díaz Rodríguez, L. B., & Avila de-Hernández, R. M. (2021). Tecnologías postcosecha para promover la vida de anaquel de frutos pequeños. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 22(1), 29–49. <https://www.redalyc.org/journal/813/81367929004/81367929004.pdf>

eBay. (2020). *guanabana*. [https://www.ebay.com/sch/i.html?\\_from=R40&\\_trksid=p2380057.m570.11313&\\_nkw=guanabana+&\\_sacat=0](https://www.ebay.com/sch/i.html?_from=R40&_trksid=p2380057.m570.11313&_nkw=guanabana+&_sacat=0)

eBay. (2022). *Fruta guanábana* / *eBay*. <https://www.ebay.com/itm/304201215737?hash=item46d3ce2ef9:g:HRIAAOSwil1heHol>

Eckerstorfer, M. F., Engelhard, M., Heissenberger, A., Simon, S., & Teichmann, H. (2019). Plants developed by new genetic modification techniques-Comparison of existing regulatory frameworks in the EU and Non-EU countries. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7(FEB). <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00026>

El-Mir, M., Gerasopoulos, D., Metzidakis, I., & Kanellis, A. K. (2001). Hypoxic acclimation prevents avocado mesocarp injury caused by subsequent exposure to extreme low oxygen atmospheres. *Postharvest Biology and Technology*, 23(3), 215–226. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(01\)00124-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00124-7)

Esmaili, Y., Paidari, S., Baghbaderani, S. A., Nateghi, L., Al-Hassan, A. A., & Ariffin, F. (2022).

- Essential oils as natural antimicrobial agents in postharvest treatments of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(1), 507–522. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01178-0>
- Etienne, A., Génard, M., Lobit, P., Mbeguié-A-Mbéguié, D., & Bugaud, C. (2013). What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells. *Journal of Experimental Botany*, 64(6), 1451–1469. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert035>
- Evangelista Lozano, S., Cruz Castillo, J., Pérez González, S., Mercado Silva, E., & Dávila Ortiz, G. (2003). Production and fruit quality of guanabanos (*Annona muricata* L.) from Jiutepec seed, Morelos, Mexico. *Chapingo Horticulture Series*, 9(1), 69–79. <http://www.chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchshIX202.pdf>
- Fang, Y., & Tyler, B. M. (2016). Efficient disruption and replacement of an effector gene in the oomycete *Phytophthora sojae* using CRISPR/Cas9. *Molecular Plant Pathology*, 17(1), 127–139. <https://doi.org/10.1111/mpp.12318>
- FAO. (2002). *Manual de capacitación sobre higiene de los alimentos y sobre el sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (APPCC)*. <http://www.fao.org/docrep/005/w8088s/w8088s00.htm>
- FAO. (2020a). Análisis del mercado de las principales frutas tropicales Panorama general de febrero de 2020. *FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 6.
- FAO. (2020b). *Major Tropical Fruits: Market Review 2019*. <http://www.fao.org/economic/est/est-commodities/tropical-fruits/en/>
- FAO. (2021a). Major Tropical Fruits: Market Review 2020. In *Statistical Compendium Rome FAO* (Vol. 01).
- FAO. (2021b). Major Tropical Fruits: Preliminary results 2020. *Statistical Compendium Rome FAO*, 01.
- FAO, (Food and Agriculture Organization). (2019). *Market Review Food and Agricultural Organization\_2019 Malaysia.pdf*. 19.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (n.d.). *Prevention of post-harvest food losses fruits, vegetables and root crops a training manual - Pre-harvest factors in produce marketing-Perishability and produce losses*. <https://www.fao.org/3/T0073E/T0073E02.htm>
- Fernandes, T. J., Pereira, A. A., & Muniz, J. A. (2017). Double sigmoidal models describing the growth of coffee berries. *Ciência Rural*, 47(8), 1–7. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160646>
- Ghosh, S. N., Tarai, R. K., & Ahlawat, T. R. (2022). *Plant Growth Regulators in Tropical and Sub-tropical Fruit Crops* (S. N. Ghosh, R. K. Tarai, & T. R. Ahlawat (Eds.); 1st ed.). CRC Press. <https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.1201/9781003300342/plant-growth-regulators-tropical-sub-tropical-fruit-crops-ghosh-tarai-ahlawat>
- Glover, J. D., Cox, C. M., & Reganold, J. P. (2007). Future Farming: A Return to Roots? *Scientific American*, 297(2), 82–89. [https://www.researchgate.net/profile/John\\_Reganold/publication/5950852\\_Future\\_Farming\\_A\\_Return\\_to\\_Roots/links/02e7e52896e46c9e0b000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/John_Reganold/publication/5950852_Future_Farming_A_Return_to_Roots/links/02e7e52896e46c9e0b000000.pdf)

- Gómez-Ollé, A., Bullones, A., Hormaza, J. I., Mueller, L. A., & Fernandez-Pozo, N. (2023). MangoBase: A Genomics Portal and Gene Expression Atlas for *Mangifera indica*. *Plants*, *12*(6), 1273. <https://doi.org/10.3390/plants12061273>
- Gonçalves, B., Moutinho-Pereira, J., Santos, A., Silva, A. P., Bacelar, E., Correia, C., & Rosa, E. (2006). Scion-rootstock interaction affects the physiology and fruit quality of sweet cherry. *Tree Physiology*, *26*(1), 93–104. <https://doi.org/10.1093/treephys/26.1.93>
- Gonsalves, D., Suzuki, J. Y., Tripathi, S., & Ferreira, S. A. (2010). Papaya Ringspot Virus. *Encyclopedia of Virology*, 1–8. <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2010-1004-01>
- Goulao, L. F., & Oliveira, C. M. (2008). Cell wall modifications during fruit ripening: when a fruit is not the fruit. *Trends in Food Science and Technology*, *19*(1), 4–25. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.07.002>
- Haque, E., Taniguchi, H., Hassan, M. M., Bhowmik, P., Karim, M. R., Śmiech, M., Zhao, K., Rahman, M., & Islam, T. (2018). Application of CRISPR/Cas9 genome editing technology for the improvement of crops cultivated in tropical climates: Recent progress, prospects, and challenges. *Frontiers in Plant Science*, *9*(May), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00617>
- Harsimrat, K. B., & Kaur, M. (2020). Role of plant growth regulators in improving fruit set, quality and yield of fruit crops: a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *95*(2), 137–146. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1660591>
- Hellmann, E., & Campos, M. L. (2022). It's a model and it's looking good: A multi-organ metabolic model predicts developmental responses in tomato. *Plant Physiology*, *188*(3), 1417–1418. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab597>
- Heredia, A. (2003). Biophysical and biochemical characteristics of cutin, a plant barrier biopolymer. *Biochimica et Biophysica Acta - General Subjects*, *1620*(1–3), 1–7. [https://doi.org/10.1016/S0304-4165\(02\)00510-X](https://doi.org/10.1016/S0304-4165(02)00510-X)
- Hernández-Sánchez, M. (2021). CRISPR/Cas9: herramienta de edición genómica. *Atlas of Genetics and Cytogenetics in Oncology and Haematology*. <https://atlasgeneticsoncology.org/teachin>
- Hernández, L. M., Gómez, R., & Agustín, J. A. (2013). *Importancia, Plagas Insectiles Y Enfermedades Fungosas Del Cultivo Del Guanábano*. January 2015, 87.
- Hernández, M. S., Barrera, J., & Melgarejo, L. M. (2010). IX. Fisiología poscosecha. In L. M. Melgarejo (Ed.), *Experimentos en Fisiología Vegetal* (pp. 167–186). [http://www.bdigital.unal.edu.co/8545/24/11\\_Cap09.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/8545/24/11_Cap09.pdf)
- Hernández Oñate, M.-A., Trillo-Hernández, E.-A., & Tiznado-Hernández, M.-E. (2023). The first Signal to Initiate Fruit Ripening is Generated in the Cuticle: An Hypothesis. No publicado. *Frontiers in Plant Science*.
- Hofman, P. J. (1996). *Pre-harvest effects on postharvest quality of subtropical and tropical fruit*. Malaysia Agricultural Research and Development Institute. <http://www.agris.upm.edu.my:8080/dspace/handle/0/12644>
- Iberdrola. (n.d.). *La importancia de la seguridad alimentaria: ¿Que factores la ponen en peligro?* <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/que-es-seguridad-alimentaria>

- Indiarto, R. (2020). Post-Harvest Handling Technologies of Tropical Fruits: A Review. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(7), 3951–3957. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/165872020>
- Infoagro. (2023). *EL MERCADO DE LAS FRUTAS TROPICALES EN LA UNIÓN EUROPEA*. [https://www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tropicales/tropical\\_fruits.htm](https://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/tropical_fruits.htm)
- Ingram, G., & Nawrath, C. (2017). The roles of the cuticle in plant development: organ adhesions and beyond. *Journal of Experimental Botany*, 68(19), 5307–5321. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx313>
- Jain, S. M., & Häggman, H. (2007). *Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits*. Springer. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6352-7\\_40](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6352-7_40)
- Jamnadass, R., Lowe, A., & Dawson, I. K. (2009). Molecular markers and the management of tropical trees: The case of indigenous fruits. *Tropical Plant Biology*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12042-008-9027-9>
- Jiménez-Zurita, J. O., Alia-Tejacal, I., Balois-Morales, R., Villarreal-Fuentes, J. M., Núñez-Colín, C. A., & Berumen-Varela, G. (2022). Phenological growth stages of soursop trees (*Annona muricata* L.) based on the extended BBCH-scale. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 29(1), 5–18. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2022.03.006>
- Jiménez-Zurita, J. O., Balois-Morales, R., Alia-Tejaca, I., Sánchez Herrera, L. M., Jiménez-Ruiz, E. I., Bello-Lara, J. E., García-Paredes, J. D., & Juárez-López, P. (2017). Cold storage of two selections of soursop (*Annona muricata* L.) in Nayarit, Mexico. *Journal of Food Quality*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/4517469>
- Jiménez-Zurita, J. O., Balois-Morales, R., Alia-tejacal, I., Juárez-López, P., Jiménez-Ruiz, E. I., Sumaya-Martínez, M. T., & Bello-Lara, J. E. (2017). Tópicos del manejo poscosecha del fruto de guanábana (*Annona muricata* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1155. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.115>
- Jiménez-Zurita, J. O., Balois-morales, R., Alia-tejacal, I., Juárez-lópez, P., & Sumaya-, M. T. (2016). Caracterización de frutos de guanabana ( *Annona muricata* L .) en Tepic , Nayarit , México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(6), 1261–1270.
- Kader, A. A., & Yahia, E. M. (2011). Postharvest biology of tropical and subtropical fruits. In *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (Vol. 1). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857093622.79>
- Kallio, H., Nieminen, R., Tuomasjukka, S., & Hakala, M. (2006). Cutin composition of five finnish berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(2), 457–462. <https://doi.org/10.1021/jf0522659>
- Kannan, K., Jawaharlal, M., & Prabhu, M. (2009). *Effect of Plant Growth Regulators on Paprik- a Review*. 30(3), 229–232.
- Karlova, R., Chapman, N., David, K., Angenent, G. C., Seymour, G. B., & de Maagd, R. A. (2014). Transcriptional control of fleshy fruit development and ripening. *Journal of Experimental Botany*, 65(16), 4527–4541. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru316>
- Katel, S., Mandal, H. R., Kattel, S., Yadav, S. P. S., & Lamshal, B. S. (2022). Impacts of plant growth regulators in strawberry plant: A review. *Heliyon*, 8(12), e11959.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11959>

- Kaur, N., Awasthi, P., & Tiwari, S. (2020). Fruit crops improvement using CRISPR/Cas9 system. In *Genome Engineering via CRISPR-Cas9 System*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818140-9.00012-x>
- Khadivi-Khub, A. (2015). Physiological and genetic factors influencing fruit cracking. In *Acta Physiologiae Plantarum* (Vol. 37, Issue 1). <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1718-2>
- Kitinoja, L., & Kader, A. A. (2015). Measuring postharvest losses of fresh fruits and vegetables in developing countries. *The Postharvest Education Foundation, February*, 1–26. [http://www.postharvest.org/PEF\\_White\\_Paper\\_15-02\\_PHFVmeasurement.pdf%0Ahttps://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=12&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiH8-P2gvbjAhVTi1wKHd3gDBUQFjALegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Fpostharvest.org%2FPEF\\_White\\_Paper\\_15-](http://www.postharvest.org/PEF_White_Paper_15-02_PHFVmeasurement.pdf%0Ahttps://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=12&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiH8-P2gvbjAhVTi1wKHd3gDBUQFjALegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Fpostharvest.org%2FPEF_White_Paper_15-)
- Komaljeet, G., Pankaj, K., Shivanti, N., Rajnish, S., Ajay, K. J., Ivan, I. S., & Ekaterina, A. A.-N. (2023). Physiological perspective of plant growth regulators in flowering, fruit setting and ripening process in citrus. *Scientia Horticulturae*, 309(111628). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111628>.
- Kosma, D. K., Parsons, E. P., Isaacson, T., Lü, S., Rose, J. K. C., & Jenks, M. A. (2010). Fruit cuticle lipid composition during development in tomato ripening mutants. *Physiologia Plantarum*, 139(1), 107–117. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2009.01342.x>
- Kunst, L., & Samuels, A. L. (2003). Biosynthesis and secretion of plant cuticular wax. *Progress in Lipid Research*, 42(1), 51–80. [https://doi.org/10.1016/S0163-7827\(02\)00045-0](https://doi.org/10.1016/S0163-7827(02)00045-0)
- Kusumaningrum, D., Lee, S.-H., Lee, W.-H., Mo, C., & Cho, B.-K. (2015). A Review of Technologies to Prolong the Shelf Life of Fresh Tropical Fruits in Southeast Asia. *Journal of Biosystems Engineering*, 40(4), 345–358. <https://doi.org/10.5307/jbe.2015.40.4.345>
- Lara, I., Heredia, A., & Domínguez, E. (2019). Shelf life potential and the fruit cuticle: The unexpected player. *Frontiers in Plant Science*, 10(June). <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00770>
- Lee, J. M., Joung, J., Mcquinn, R., Chung, M., Fei, Z., Tieman, D., Klee, H., & Giovannoni, J. (2012). Combined transcriptome, genetic diversity and metabolite profiling in tomato fruit reveals that the ethylene response factor *SlERF6* plays an important role in ripening and carotenoid accumulation. 191–204. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2011.04863.x>
- Lee, S. K., & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20(3), 207–220. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2)
- Lira-Ortiz, R., Cortés-Cruz, M. A., López-Guzmán, G. G., Palomino-Hermosillo, Y. A., Sandoval-Padilla, I., Ochoa-Jiménez, V. A., Sánchez-Herrera, L. M., Balois-Morales, R., & Berumen-Varela, G. (2022). Genetic diversity of soursop populations (*Annona muricata* L.) in Nayarit, Mexico using SSR and SRAP markers. *Acta Biologica Colombiana*, 27(1), 104–112. <https://doi.org/10.15446/abc.v27n1.88241>
- Litz, R. E., & Jaiswal, V. S. (1991). Micropropagation of tropical and subtropical fruits.

*Micropropagation*, 247–263. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-2075-0\\_18](https://doi.org/10.1007/978-94-009-2075-0_18)

- Liu, H., Song, L., Jiang, Y., Joyce, D. C., Zhao, M., You, Y., & Wang, Y. (2007). Short-term anoxia treatment maintains tissue energy levels and membrane integrity and inhibits browning of harvested litchi fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(9), 1767–1771. <https://doi.org/DOI: 10.1002/jsfa.2920>
- Liu, M., Pirrello, J., Chervin, C., Roustan, J., Bouzayen, M., National, I., Recherche, D., & Génomique, U. M. R. (2015). *Ethylene Control of Fruit Ripening : Revisiting the Complex Network of Transcriptional Regulation I*. 169(December), 2380–2390. <https://doi.org/10.1104/pp.15.01361>
- Malarvizhi, M., Sridevi, P., Sunil, G. C., Doddahajjaji, S., Murugan, D. R., & Makki, R. V. K. (2022). Chapter 19 - Omics of mango: A tropical fruit tree,. In R. R. Gyana & P. K.V. (Eds.), *Omics in Horticultural Crops* (pp. 427–448). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89905-5.00013-6>.
- Márquez, C., Villacorta, V., Yepes, D., Ciro, H., & Cartagena, J. (2012). Physiological and Physico-Chemical Characterization of the Soursop. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellin*, 65(1), 6477–6486.
- Márquez Cardoso, C. (2009). *Caracterización fisiológica, físico-química, reológica, nutraceútica, estructural y sensorial de la guanábana (annona muricata L. cv. elita)*. universidad nacional de colombia, sede medellín, facultad de ciencias agropecuarias, Colombia.
- Martin, L. B. B., & Rose, J. K. C. (2014). There's more than one way to skin a fruit: Formation and functions of fruit cuticles. *Journal of Experimental Botany*, 65(16), 4639–4651. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru301>
- Mathiazhagan, M., Chidambara, B., Hunashikatti, L. R., & Ravishankar, K. V. (2021). Genomic approaches for improvement of tropical fruits: Fruit quality, shelf life and nutrient content. *Genes*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/genes12121881>
- Mcartney, S. J. (2019). *Use of Plant Growth Regulators to Improve Apple Quality and Orchard Productivity*. 1–5.
- Melendez-Zajgla, J., Rueda-Zarazúa, B., Garcia-Venzor, A., & Maldonado, V. (2021). CRISPR-Cas: la nueva herramienta para diagnosticar enfermedades infecciosas. *Revista Digital Universitaria*, 22(5). <https://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2021.22.5.8>
- Mendoza, D., & Hernández, P. (2022, June 9). Destaca Gobierno federal la importancia de la guanábana. *Meridiano.Mx*. <https://meridiano.mx/2022/06/09/destaca-gobierno-federal-la-importancia-de-la-guanabana/>
- Min, T., Fang, F., Ge, H., Shi, Y. N., Luo, Z. R., Yao, Y. C., Grierson, D., Yin, X. R., & Chen, K. S. (2014). Two novel anoxia-induced ethylene response factors that interact with promoters of deastringency-related genes from persimmon. *PLoS ONE*, 9(5), 3–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097043>
- Mirás-Avalos, J. M., Alcobendas, R., Alarcón, J. J., Valsesia, P., Génard, M., & Nicolás, E. (2013). Assessment of the water stress effects on peach fruit quality and size using a fruit tree model, QualiTree. *Agricultural Water Management*, 128, 1–12. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2013.06.008>

- Moghadamtousi, S. Z., Fadaeinasab, M., Nikzad, S., Mohan, G., Ali, H. M., & Kadir, H. A. (2015). *Annona muricata* (Annonaceae): A review of its traditional uses, isolated acetogenins and biological activities. *International Journal of Molecular Sciences*, *16*(7), 15625–15658. <https://doi.org/10.3390/ijms160715625>
- Montalvo González, E., Fernández, A. E. L., Paez, H. R., Oca, M. M. M. de, & Gómez, B. T. (2014). Uso combinado de 1-Meticiclopropeno y emulsiones de cera en la conservación de guanábana (*Annona muricata*). *Revista Brasileira de Fruticultura*, *36*(spe1), 296–304. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500035>
- Mou, W., Li, D., Bu, J., Jiang, Y., Khan, Z. U., Luo, Z., Mao, L., & Ying, T. (2016). Comprehensive analysis of ABA effects on ethylene biosynthesis and signaling during tomato fruit ripening. *PLoS ONE*, *11*(4), 1–30. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154072>
- Mubarok, S., Maulida Rahman, I., Nuraniya Kamaluddin, N., & Solihin, E. (2022). Impact of 1-Methylcyclopropene combined with chitosan on postharvest quality of tropical banana ‘Lady Finger.’ *International Journal of Food Properties*, *25*(1), 1171–1185. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2074028>
- Nolasco-González, Y., Hernández-Fuentes, L. M., & Montalvo González, E. (2019). Caracterización morfológica y fisicoquímica de frutos de accesiones de guanábanas seleccionadas en Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *23*, 223–237. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2023>
- OEC. (n.d.). The Observatory of Economic Complexity. [https://oec.world/es/profile/hs/tropical-fruits#:~:text=Frutas tropicales es el producto número 225 más,Perú %28%241%2C15MM%29%2C Costa Rica %28%241%2C03MM%29%2C y España %28%24626M%29.](https://oec.world/es/profile/hs/tropical-fruits#:~:text=Frutas tropicales es el producto número 225 más,Perú%28%241%2C15MM%29%2C Costa Rica %28%241%2C03MM%29%2C y España %28%24626M%29.)
- OEC - The Observatory of Economic Complexity. (2023). *Frutas tropicales*. <https://oec.world/es/profile/hs/tropical-fruits>
- Ogata, T., Yamanaka, S., Shoda, M., Urasaki, N., & Yamamoto, T. (2016). Current status of tropical fruit breeding and genetics for three tropical fruit species cultivated in Japan: Pineapple, mango, and papaya. *Breeding Science*, *66*(1), 69–81. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.66.69>
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2017). *Irradiación de alimentos: beneficios, usos, normas* / OIEA. <https://www.iaea.org/es/temas/irradiacion-de-alimentos>
- Organizacion Mundial de la Salud. (2020). *Alimentación sana*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>
- Ortiz López, J. A., Hernández Fuentes, L. M., Manzanilla Ramírez, M. A., & Molina Ochoa, Á. (2015). Caracterización Morfométrica de Germoplasma de Guanábana Cultivada en Tecmán Colima Mexico. In *Anonáceas Plantas Antiguas. Estudios Recientes* (pp. 131–139).
- Othman, A. S., Thottathil, G., & Jayasekaran, K. (2016). Sequencing Crop Genomes: A Gateway to Improve Tropical Agriculture 1Gincy. *Tropical Life Sciences Research*, *27*(1), 93–114.
- Palma, T., Stanley, D. W., Aguilera, J. M., & Zoffoli, J. P. (1993). Respiratory Behavior of Cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) under Controlled Atmospheres. *HortScience*, *28*(6), 647–649. <https://doi.org/10.21273/hortsci.28.6.647>

- Paul, V., Pandey, R., & Srivastava, G. C. (2012). The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene-An overview. *Journal of Food Science and Technology*, 49(1), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0293-4>
- Paull, R. E., & Duarte, O. (2011). *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits* (Vol. 1.). CABI. [https://books.google.com.mx/books?hl=en&lr=&id=BYi\\_AOteP6wC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Paull+RE,+Duarte+O.+2011&ots=AP-3SjUmeT&sig=SWd1ChBKABZv3PEMHFBT\\_fbwJRM&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Paull+RE%2C+Duarte+O.+2011&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=en&lr=&id=BYi_AOteP6wC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Paull+RE,+Duarte+O.+2011&ots=AP-3SjUmeT&sig=SWd1ChBKABZv3PEMHFBT_fbwJRM&redir_esc=y#v=onepage&q=Paull+RE%2C+Duarte+O.+2011&f=false)
- Pei, M. S., Cao, S. H., Wu, L., Wang, G. M., Xie, Z. H., Gu, C., & Zhang, S. L. (2020). Comparative transcriptome analyses of fruit development among pears, peaches, and strawberries provide new insights into single sigmoid patterns. *BMC Plant Biology*, 20(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-2317-6>
- Penna, S., & Jain, S. M. (2023). Fruit Crop Improvement with Genome Editing, In Vitro and Transgenic Approaches. *Horticulturae*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010058>
- Pereira-Netto, A. B. (2018). Tropical Fruits as Natural, Exceptionally Rich, Sources of Bioactive Compounds. *International Journal of Fruit Science*, 18(3), 231–242. <https://doi.org/10.1080/15538362.2018.1444532>
- Petit-Jimenez, D., Gonzalez-Leon, A., Gonzalez-Aguilar, G., Sotelo-Mundo, R., & Baez-Sanudo, R. (2007). Cuticular changes during the ontogeny of *Mangifera indica* L. fruits. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(1), 51–60. <http://revistafitotecniamexicana.org/documentos/30-1/7a.pdf%5Cnhttp://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/HomRevRed.jsp?iCveEntRev=610>
- Petit-Jiménez, D., González-León, A., González-Aguilar, G., Sotelo-Mundo, R., & Báez-Sañudo, R. (2007). CAMBIOS DE LA CUTÍCULA DURANTE LA ONTOGENIA DEL FRUTO DE *Mangifera indica* L. *Fitotecnia Mexicana*, 30(1), 51–60. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/30-1/4r.pdf>
- Petit Jiménez, D., Bringas Taddei, E., González León, A., García Robles, J. M., & Báez Sañudo, R. (2009). Efecto del tratamiento hidrotérmico sobre la ultraestructura de la cutícula del fruto de mango. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(1), 96–102.
- Piedragil Ayala, C. G. (2017). Guanábana , introducción exitosa al mercado de un cultivo no tradicional. *SAGARPA*.
- Pimentel, D. (2011). Food for thought: A review of the role of energy in current and evolving agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(1–2), 35–44. <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.554349>
- Piranan, K., Safitri, A. A., & Sutthiwal, S. (2016). Pre-storage anoxia treatment affects fruit quality, antioxidant properties, and shelf life of mango. *Journal of Food Science and Agricultural Technology*.
- Plencovich, M. C. (2012). The Impact of Genetically Engineered Crops on Farm Sustainability in the United States. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 18(5), 543–546. <https://doi.org/10.1080/1389224x.2012.707068>

- Pua, E. C., & Davey, M. R. (2010). Plant developmental biology. *Plant Developmental Biology*, *1*, 1–497. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-02301-9>
- Rahmadhanni, D. S. D., Reswandha, R., Rahayoe, S., Bintoro, N., Prasetyatama, Y. D., & Karyadi, J. N. W. (2020). The effect of cold storage temperatures on respiration rate and physical quality of crownless pineapple (*Ananas comosus* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *542*(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/542/1/012006>
- Rajapaksha, L., Gunathilake, D. C., Pathirana, S., & Fernando, T. (2021). Reducing post-harvest losses in fruits and vegetables for ensuring food security – Case of Sri Lanka. *MOJ Food Processing & Technology*, *9*(1), 7–16. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2021.09.00255>
- Ramos-Guerrero, A., González-Estrada, R., Romanazzi, G., Landi, L., & Gutiérrez-Martínez, P. (2020). Effects of chitosan in the control of postharvest anthracnose of soursop (*annona muricata*) fruit. *Revista Mexicana de Ingeniería Química EFFECTS*, *Vol. 19*(1), 99–108.
- Ramos-Guerrero, Anelsy, González-Estrada, R. R., Montalvo-González, E., Miranda-Castro, S. P., & Gutiérrez-Martínez, P. (2018). Effect of the application of inducers on soursop fruit (*Annona muricata* L.): Postharvest disease control, physiological behaviour and activation of defense systems. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, *30*(12), 1019–1025. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i12.1883>
- Reina G., C. E. (2013). Manejo postcosecha y evaluación de calidad para la guanábana. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ritenour, M. A., Wardowski, W. F., & Tucker, D. P. (2003). Effects of Water and Nutrients on the Postharvest Quality and Shelf Life of Citrus. *EDIS*. <https://doi.org/10.32473/edis-ch158-2003>
- Rojas Molina, R. (2019). *Manual del curso - Hazard analysis and critical control points (HACCP)*.
- Rose, T. H. Y. and J. K. C., Yeats, T. H., & Rose, J. K. C. (2013). The Formation and Function of Plant Cuticles. *Plant Physiology*, *163*(1), 5–20. <https://doi.org/10.1104/pp.113.222737>
- Samanta, M. K., Dey, A., & Gayen, S. (2016). CRISPR/Cas9: an advanced tool for editing plant genomes. *Transgenic Research*, *25*(5), 561–573. <https://doi.org/10.1007/s11248-016-9953-5>
- Sayago-Ayerdi, S., García-Martínez, D. L., Ramírez-Castillo, A. C., Ramírez-Concepción, H. R., & Viuda-Martos, M. (2021). Tropical fruits and their co-products as bioactive compounds and their health effects: A review. *Foods*, *10*(8), 1–26. <https://doi.org/10.3390/foods10081952>
- Schaller, A. (2012). INDUCED PLANT RESISTANCE TO HERBIVORY. In *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* (Vol. 53, Issue 95). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Schreiber, L. (2010). Transport barriers made of cutin, suberin and associated waxes. *Trends in Plant Science*, *15*(10), 546–553. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.06.004>
- Segado, P., Domínguez, E., & Heredia, A. (2016). Ultrastructure of the Epidermal Cell Wall and Cuticle of Tomato Fruit (*Solanum lycopersicum* L.) during Development. *Plant Physiology*, *170*(2), 935–946. <https://doi.org/10.1104/pp.15.01725>
- Shahab, M., Roberto, S. R., Ahmed, S., Colombo, R. C., Silvestre, J. P., Koyama, R., & De Souza, R. T. (2019). Anthocyanin accumulation and color development of ‘Benitaka’ table grape

subjected to exogenous abscisic acid application at different timings of ripening. *Agronomy*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy9040164>

- SIAP. (2020). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Siddiq, M., Jasim, A., Maria Gloria, L., & Ferhan, O. (2012). *Tropical and Subtropical Fruits Postharvest Physiology, Processing and Packaging* (1st ed.). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.2212/spr.2009.5.5>
- Siriphanich, J. (2002). Postharvest physiology of tropical fruit. *Acta Horticulturae*, 575, 623–633. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.575.73>
- Song, W., Yi, J., Kurniadinata, O. F., Wang, H., & Huang, X. (2018). Linking fruit Ca uptake capacity to fruit growth and pedicel anatomy, a cross-species study. *Frontiers in Plant Science*, 9(May), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00575>
- STDF. (n.d.). *Mejora de la capacidad sanitaria y fitosanitaria de las exportaciones de guanábana en Granada*. <https://standardsfacility.org/es/PG-880>
- Sthapit, S. R., & Scherr, S. J. (2012). Tropical Fruit Tree Species and Climate Change. In *Tropical Fruit Tree Species and Climate Change* (Issue September 2014). [http://ecoagriculture.org/documents/files/doc\\_420.pdf](http://ecoagriculture.org/documents/files/doc_420.pdf)
- Stockdale, E. A., Lampkin, N. H., Hovi, M., Keatinge, R., Lennartsson, E. K. M., Macdonald, D. W., Padel, S., Tattersall, F. H., Wolfe, M. S., & Watson, C. A. (2001). Agronomic and environmental implications of organic farming systems. *Advances in Agronomy*, 70(February 2021). [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(01\)70007-7](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(01)70007-7)
- Suthanthiram, B., Subbaraya, U., Chelliah, A., & Arumugam, C. (2022). Chapter 9 - Application of “omics” in banana improvement. In G. Ranjan Rout & P. K.V. (Eds.), *Omics in Horticultural Crops* (pp. 165–191). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89905-5.00006-9>
- Tafolla-Arellano, J. C., Báez-Sañudo, R., & Tiznado-Hernández, M. E. (2018). The cuticle as a key factor in the quality of horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 232(January), 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.005>
- Tafolla-Arellano, J. C., Zheng, Y., Sun, H., Jiao, C., Ruiz-May, E., Hernández-Oñate, M. A., González-León, A., Báez-Sañudo, R., Fei, Z., Domozych, D., Rose, J. K. C., & Tiznado-Hernández, M. E. (2017). Transcriptome Analysis of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruit Epidermal Peel to Identify Putative Cuticle-Associated Genes. *Scientific Reports*, 7(November 2016), 46163. <https://doi.org/10.1038/srep46163>
- Taiti, C., Costa, C., Menesatti, P., Caparrotta, S., Bazihizina, N., Azzarello, E., Petrucci, W. A., Masi, E., & Giordani, E. (2015). Use of volatile organic compounds and physicochemical parameters for monitoring the post-harvest ripening of imported tropical fruits. *European Food Research and Technology*, 241(1), 91–102. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2438-6>
- Talamantes-Sandoval, C. A., Cortés-Cruz, M., Balois-Morales, R., López-Guzmán, G. G., & Palomino-Hermosillo, Y. A. (2019). ANÁLISIS MOLECULAR DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA EN GUANÁBANA (*Annona muricata* L.) MEDIANTE MARCADORES SRAP. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(3), 209–214.

<https://doi.org/10.35196/rfm.2019.3.209-214>

- Tamura, K., Stecher, G., & Kumar, S. (2021). MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 11. *Molecular Biology and Evolution*, 38(7), 3022–3027. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>
- Tanmay Sarkar, Molla Salauddin, Arpita Roy, Nikita Sharma, Apoorva Sharma, Saanya Yadav, Vaishnavi Jha, Maksim Rebezov, Mars Khayrullin, Muthu Thiruvengadam, Ill-Min Chung, M. A. S. & J. S.-G. (2022). Minor tropical fruits as a potential source of bioactive and functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2033953>
- Terán Erazo, B., Alia Tejacal, I., Balois-Morales, R., Juárez López, P., López Guzmán, G. G., Pérez Arias, G. A., & Núñez Colín, C. A. (2019). Caracterización física, química y morfológica de frutos de guanábana (*Annona muricata* L.). *Agrociencia, ISSN-e 1405-3195, Vol. 53, N° 7, 2019, Págs. 1013-1027, 53(7)*, 1013–1027.
- The Food Tech. (2023). *Se dispara consumo de frutas tropicales*. <https://thefoodtech.com/historico/se-dispara-consumo->
- Tisné, S., Denis, M., Domonhého, H., Pallas, B., Cazemajor, M., Tranbarger, T. J., & Morcillo, F. (2020). Environmental and trophic determinism of fruit abscission and outlook with climate change in tropical regions. In *Plant-Environment Interactions* (Vol. 1, Issue 1, pp. 17–28). <https://doi.org/10.1002/pei3.10011>
- Torres, R., Montes, E. J., Pérez, O. A., & Andrade, R. D. (2013). Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Informacion Tecnologica*, 24(3), 51–56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000300007>
- Tyagi, S., Sahay, S., Imran, M., Rashmi, K., & Mahesh, S. (2017). Pre-harvest Factors Influencing the Postharvest Quality of Fruits: A Review. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 23(4), 1–12. <https://doi.org/10.9734/cjast/2017/32909>
- Van der Veen, M. (2016). *Factors that influence the respiration of fruits and vegetables*. FoodCrumbles. <https://foodcrumbles.com/respiration-fruits-vegetables/>
- Venkatram, A., Bhagwan, A., Pratap, M., & Reddy, D. V. V. (2016). Effect of modified atmosphere package on physicochemical characteristics of “Balanagar” custard apple (*Annona squamosa* L.) fruits stored at 15 ±1°C. *International Journal of Science and Nature*, 7(2), 332–338.
- Vidal Hernández, L., Moctezuma, H. L., Vidal Martínez, N. A., Ruiz Bello, R., Castillo Rocha, D. G., & Chiquito Contreras, R. G. (2014). La situación de las annonaceae en México: principales plagas, enfermedades y su control. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(edição especial 1), 44–54. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452014000500005>
- Villarreal-Fuentes, J. M., Alia-Tejacal, I., Hernández-Salvador, M. A., Hernández-Ortiz, E., Marroquín-Agreda, F. J., Núñez-Colín, C. A., & Campos-Rojas, E. (2020). In situ characterization of soursop (*Annona muricata* L.) in the Soconusco region, Chiapas, Mexico. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 26(3), 189–205. <https://doi.org/10.5154/R.RCHSH.2020.05.008>
- Wan Zaliha, W. S., Hamzah, Y., & Nor Atiqah, L. (2016). EFFECT OF PLANT GROWTH REGULATORS ON POSTHARVEST QUALITY OF BANANA (*Musa* sp. AAA

BERANGAN). *J. Trop Plant Physiol*, 8(1), 52–60.

- Wargovich, M.J., Morris, J., Moseley, V., Weber, R., Byrne, D. H. (2012). Developing Fruit Cultivars with Enhanced Health Properties. In *Fruit Breeding. Handbook of Plant Breeding* (pp. 37–68).
- Winkler, A., Fiedler, B., & Knoche, M. (2020). Calcium physiology of sweet cherry fruits. *Trees - Structure and Function*, 34(5), 1157–1167. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-01986-9>
- Woodward, A. W., & Bartel, B. (2018). Biology in bloom: A primer on the arabidopsis thaliana model system. In *Genetics* (Vol. 208, Issue 4, pp. 1337–1349). <https://doi.org/10.1534/genetics.118.300755>
- Woolf, A. B., Ferguson, ; I B, Requejo-Tapia, ; L C, Boyd, ; L, Laing, W. A., & White, ; A. (1999). Impact of Sun Exposure on Harvest Quality of “Hass” Avocado Fruit. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 353–358.
- Worrell, D. B., Sean Carrington, C. M., & Huber, D. J. (1994). Growth, maturation and ripening of soursop (*Annona muricata* L.) fruit. *Scientia Horticulturae*, 57(1–2), 7–15. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)90030-2)
- Wurr, D. C. E., Fellows, J. R., & Phelps, K. (1996). Investigating trends in vegetable crop response to increasing temperature associated with climate change. *Scientia Horticulturae*, 66(3–4), 255–263. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(96\)00925-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(96)00925-9)
- Zaidi, S. S. e. A., Mahas, A., Vanderschuren, H., & Mahfouz, M. M. (2020). Engineering crops of the future: CRISPR approaches to develop climate-resilient and disease-resistant plants. *Genome Biology*, 21(1), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s13059-020-02204-y>
- Zainal-Abidin, R. A., Ruhaizat-Ooi, I. H., & Harun, S. (2021). A review of omics technologies and bioinformatics to accelerate improvement of papaya traits. *Agronomy*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/agronomy11071356>
- Zhang, J., Cheng, D., Wang, B., Khan, I., & Ni, Y. (2017). Ethylene Control Technologies in Extending Postharvest Shelf Life of Climacteric Fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(34), 7308–7319. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02616>
- Zhang, S., Wu, S., Hu, C., Yang, Q., Dong, T., Sheng, O., Deng, G., He, W., Dou, T., Li, C., Sun, C., Yi, G., & Bi, F. (2022). Increased mutation efficiency of CRISPR/Cas9 genome editing in banana by optimized construct. *PeerJ*, 9, 1–16. <https://doi.org/10.7717/peerj.12664>
- Zhu, L. sha, Shan, W., Wu, C. jie, Wei, W., Xu, H., Lu, W. jin, Chen, J. ye, Su, X. guo, & Kuang, J. fei. (2021). Ethylene-induced banana starch degradation mediated by an ethylene signaling component MaEIL2. *Postharvest Biology and Technology*, 181(April), 111648. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111648>.