

La Pitahaya en el Siglo XXI Cultivo, Tecnología, Procesamiento y Desarrollo de Mercados

Ahmed El Salous
Maritza Aguirre-Munizaga
Rossana Castro Herrera



La Pitahaya en el Siglo XXI Cultivo, Tecnología, Procesamiento y Desarrollo de Mercados

Ahmed El Salous
Maritza Aguirre-Munizaga
Rossana Castro Herrera

ISBN: 978-9942-53-194-0
Primera edición, 2026



© **Autor**

Ahmed El Salous

Universidad Agraria del Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-7395-5420>

Maritza Aguirre-Munizaga

Universidad Agraria del Ecuador

<https://orcid.org/0000-0003-0708-1811>

Rossana Castro Herrera

Universidad Agraria del Ecuador

<https://orcid.org/0009-0005-5613-4221>

ISBN: 978-9942-53-194-0

DOI: 10.31876/9789942531940

Distribución online

Acceso abierto



Cita

El Salous, A., Aguirre-Munizaga, M., Castro, R. (2026). *La Pitahaya en el Siglo XXI Cultivo, Tecnología, Procesamiento y Desarrollo de Mercados*. Editorial Grupo Compás.

© **Editorial Grupo Compás, 2026**

Guayaquil, Ecuador

www.grupocompas.com

<http://repositorio.grupocompas.com>

Primera edición, 2026

Esta obra ha sido sometida a un proceso de evaluación bajo el sistema de arbitraje doble ciego (double-blind peer review), garantizando el anonimato tanto de los autores como de los evaluadores externos. El dictamen favorable certifica que el contenido cumple con los más altos estándares de rigor científico, calidad editorial y originalidad exigidos por la comunidad académica internacional para su indexación y reconocimiento científico.

Índice

Introducción	1
Metodología del estudio de caso	3
Tema 1	4
Importancia de la pitahaya y contexto productivo	4
1.1 Origen y evolución histórica	5
1.2 Importancia económica, social y alimentaria	6
1.3 Principales países productores y exportadores	7
1.4 La pitahaya en América Latina y Ecuador	8
1.5 Variedades comerciales	10
1.5.1 Pitahaya Amarilla <i>Selenicereus megalanthus</i> (K. Schum. ex Vaupel) Moran, Cactaceae	10
1.5.2 Pitahaya Roja <i>Hylocereus purpusii</i> (Weing.) Britton & Rose, Cactaceae.....	13
1.5.3 Pitahaya Blanca <i>Hylocereus undatus</i> (Haworth) Britton & Rose, Cactaceae.....	15
1.6 Tendencias: sostenibilidad y certificaciones	15
Tema 2.....	18
Producción agrícola de la pitahaya	18
2.1 Requerimientos agroecológicos	19
2.2 Selección de variedades y material vegetal	22
2.3 Sistemas de siembra	24
2.4 Manejo agronómico.....	26

2.5 Buenas Prácticas Agrícolas (BPA).....	30
2.6 Cosecha y manejo en campo	31
Tema 3.....	34
Atrópodos plagas en el cultivo de pitahaya	34
3.1 Ácaros (Acari: Tetranychidae y Eriophyidae)	35
3.2 Trips (Thysanoptera: Thripidae)	37
3.3 Cochinillas y escamas (Hemiptera: Pseudococcidae y Diaspididae)	40
3.4 Pulgones (Hemiptera: Aphididae).....	43
3.5 Chinchas fitófagas (Hemiptera: Pentatomidae y Coreidae).....	45
3.6 Barrenadores del tallo y cladodios (Coleoptera: Curculionidae y Cerambycidae).....	47
3.7 Mosca del fruto (Diptera: Tephritidae).....	50
3.8 Larvas defoliadoras y perforadoras de fruto (Lepidoptera)	53
3.9 Estrategias integradas de MIP	56
3.9.1 Principios del MIP en pitahaya ecuatoriana:	56
Tema 4.....	58
Postcosecha y calidad	58
4.1 Fisiología del fruto	59
4.2 Procesos de postcosecha	60
4.3 Clasificación y empaque	61
4.4 Control de maduración.....	62
4.5 Normas de calidad e inocuidad.....	63
4.6 Requisitos de exportación	64
4.7 Innovaciones tecnológicas en postcosecha.....	65

4.7.1. La inteligencia artificial y la automatización en la gestión poscosecha	65
4.7.2. Tecnologías y técnicas emergentes	66
4.7.3. Soluciones específicas.....	68
 Tema 5.....	70
Procesamiento agroindustrial y valor agregado	70
5.1 Industrialización de la pitahaya	71
5.2 Productos derivados	73
5.3 Tecnologías y equipos	76
5.4 Control de calidad en la industria.....	79
5.5 Economía circular y sostenibilidad.....	81
5.6 Oportunidades de mercado	84
 Discusión	88
Conclusiones	90
Recomendaciones	92
Referencias bibliográficas.....	94

Resumen

Este libro analiza la cadena de valor de la pitahaya en Ecuador desde una perspectiva integradora, articulando el contexto productivo, la producción agrícola, la gestión postcosecha y el procesamiento agroindustrial bajo un enfoque de sostenibilidad y competitividad. El análisis se construye a partir de evidencia científica reciente (2021–2026), documentos técnicos oficiales y estudios de caso territoriales en las principales zonas productoras del país: Morona Santiago (Palora), Manabí, Guayas, Los Ríos, Santa Elena y Orellana. Se examinan los requerimientos agroecológicos del cultivo, los criterios de selección de material vegetal, los sistemas de tutorado y las decisiones de fertilización, riego y sanidad en el marco de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y los esquemas de certificación nacional e internacional. Se dedica especial atención al manejo integrado de artrópodos plaga ácaros, trips, cochinillas, barrenadores, moscas de la fruta y lepidópteros como componente crítico de la inocuidad y calidad exportable. En postcosecha, se sintetizan tecnologías de conservación, control de senescencia, clasificación, empaque e innovaciones basadas en inteligencia artificial e IoT. Finalmente, se evalúan las rutas de valor agregado pulpa, deshidratados, ingredientes funcionales y valorización de subproductos y las oportunidades de mercado bajo enfoques de economía circular. El libro está dirigido a investigadores, técnicos, productores y tomadores de decisiones del sector agropecuario ecuatoriano interesados en el desarrollo competitivo y sostenible del cultivo de pitahaya.

Introducción

La pitahaya, conocida internacionalmente como dragon fruit o pitaya, pertenece a la familia Cactaceae y comprende principalmente las especies *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran pitahaya amarilla, *Hylocereus purpusii* (Weing.) Britton & Rose; pitahaya roja *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton & Rose pitahaya blanca. Esta planta hemiepipítica, originaria de América Central y partes de Sudamérica, ha experimentado en las últimas dos décadas una transformación radical en su posicionamiento económico global, pasando de ser un cultivo de recolección silvestre a consolidarse como uno de los productos tropicales de mayor dinamismo en los mercados internacionales de frutas exóticas (Mondol et al., 2025; Luu et al., 2021). En Ecuador, la pitahaya constituye un producto estratégico de exportación no tradicional, con una concentración productiva significativa en el cantón Palora, provincia de Morona Santiago, donde se concentra aproximadamente el 70% de la producción nacional en una superficie estimada de 2.400 hectáreas, beneficiada además por la Denominación de Origen "Pitahaya Amazónica de Palora" que otorga a sus frutos un reconocimiento de calidad diferenciada en los mercados internacionales (Loaiza Ramírez, 2024; Caiza et al., 2025). Las condiciones agroecológicas de la región amazónica ecuatoriana temperaturas entre 18 y 25°C, precipitaciones de 1.200 a 2.500 mm anuales, humedad relativa del 70 al 80% y altitudes de 500 a 1.900 msnm configuran un entorno particularmente favorable para el desarrollo óptimo de la pitahaya amarilla, cuyas características organolépticas superiores dulzor pronunciado, bajo índice de acidez y presentación visual atractiva le han permitido posicionarse como una fruta premium en mercados de Asia, Europa y América del Norte (INIAP, 2020; Valero et al., 2025).

El contexto global del mercado de la pitahaya refleja un crecimiento sostenido y acelerado: el mercado mundial fue valorado en USD 14.73 billones en 2024 y se proyecta alcanzar USD 18.27 billones para 2029, con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 4.40% (Mondol et al., 2025). Este dinamismo está impulsado por el auge del consumo de alimentos funcionales y nutraceuticos, la creciente demanda de frutas tropicales exóticas en mercados asiáticos especialmente Hong Kong, China continental y Japón, y la valorización de los compuestos bioactivos del fruto, entre los que destacan las betalaínas, los polifenoles, los

carotenoides y la vitamina C, con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antidiabéticas y anticancerígenas documentadas científicamente (Lim et al., 2025; Luu et al., 2021). Ecuador, como principal exportador mundial de pitahaya amarilla, enfrenta al mismo tiempo oportunidades de expansión de mercado y desafíos relacionados con la competitividad, la inocuidad, la sostenibilidad productiva y la adaptación a las exigencias fitosanitarias de los mercados de destino (Lucero y Vallejo, 2024).

La cadena de valor de la pitahaya en Ecuador abarca desde la producción primaria hasta la comercialización internacional, pasando por la postcosecha, el procesamiento agroindustrial y la generación de valor agregado. Sin embargo, esta cadena presenta brechas tecnológicas, organizativas e institucionales que limitan su competitividad sistémica. En el ámbito productivo, los principales desafíos incluyen la gestión eficiente del manejo integrado de plagas y enfermedades con especial atención a nematodos fitoparásitos, artrópodos plaga y patógenos fungosos, la optimización de la fertilización y el riego, y la adopción de sistemas de producción sostenibles que cumplan con los estándares de certificación internacional como GlobalG.A.P. y las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA; INIAP, 2020; Moran Suárez, 2024). En postcosecha, la naturaleza no climatérica del fruto, su alta tasa de respiración y su sensibilidad al daño por frío (chilling injury) determinan ventanas de comercialización estrechas que requieren tecnologías de conservación avanzadas para garantizar la calidad exportable (Wang et al., 2024; Valero et al., 2025).

Frente a estos desafíos, la investigación científica y la innovación tecnológica han generado un cuerpo creciente de conocimiento aplicado que abarca desde el desarrollo de variedades mejoradas y ecotipos locales hasta la aplicación de inteligencia artificial para la clasificación automatizada de frutos, pasando por el uso de elicitores preharvest para el control de la maduración, las tecnologías de atmósfera modificada para la extensión de vida útil, y la valorización de subproductos cáscaras, semillas, mucílago como fuentes de ingredientes funcionales para las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica (Mondol et al., 2025; Romero, 2025). Este corpus de investigación constituye el fundamento científico sobre el cual se construye el presente libro.

El presente libro, titulado *La Pitahaya en el Siglo XXI: Cultivo, Tecnología, Procesamiento y Desarrollo de Mercados*, tiene como objetivo central sintetizar el conocimiento científico y técnico disponible sobre la cadena de valor de la pitahaya en Ecuador, con énfasis en los aspectos productivos, fitosanitarios, postcosecha, agroindustriales y comerciales que determinan la competitividad y sostenibilidad del sector. La obra está estructurada en cinco temas principales: el primero aborda el contexto productivo global y las variedades comerciales, con especial énfasis en la pitahaya amarilla ecuatoriana; el segundo desarrolla los aspectos agronómicos del cultivo; el tercero profundiza en el manejo integrado de artrópodos plaga y nematodos; el cuarto analiza la fisiología postcosecha, las tecnologías de conservación y las innovaciones basadas en inteligencia artificial e IoT; y el quinto examina las rutas de procesamiento agroindustrial, la economía circular y las oportunidades de mercado (Wang et al., 2024; Mondol et al., 2025; Valero et al., 2025).

El libro está dirigido a un público diverso que incluye investigadores, docentes universitarios, técnicos del sector agropecuario, productores organizados, procesadores, exportadores y tomadores de decisiones de política pública. Su enfoque integrador, que articula la dimensión científica con la aplicación práctica en el contexto ecuatoriano, lo posiciona como una herramienta de referencia para el desarrollo competitivo y sostenible del cultivo de pitahaya en Ecuador y en la región latinoamericana.

Metodología del estudio de caso

Se empleó una revisión integradora de literatura científica publicada entre 2021 y 2026, complementada con tesis universitarias y documentos técnicos oficiales de Ecuador sobre BPA y certificaciones. La selección consideró: (i) pertinencia directa con pitahaya (agronomía, postcosecha, cadena de suministro, valor agregado); (ii) calidad científica (revistas académicas, editoriales indexadas o repositorios universitarios); y (iii) actualidad (últimos cinco años). La triangulación se realizó comparando hallazgos entre estudios y contrastando con lineamientos técnicos de certificación (Agrocalidad, 2021, 2024; GlobalG.A.P., 2025).

Tema 1

Importancia de la pitahaya y contexto productivo

1.1 Origen y evolución histórica

La pitahaya es una fruta tropical originaria de América Central y parte de Sudamérica, donde ha sido cultivada y consumida desde tiempos precolombinos (Loaiza Ramírez, 2024). El nombre "pitahaya" proviene de las lenguas indígenas mesoamericanas y significa "fruta escamosa", en alusión a las características brácteas o escamas que recubren la superficie del fruto (Loaiza Ramírez, 2024). Los conquistadores españoles fueron los primeros en documentar esta fruta exótica durante sus expediciones por el continente americano, quedando impresionados por su apariencia llamativa y su sabor refrescante (Loaiza Ramírez, 2024). En la actualidad, la pitahaya se distribuye ampliamente en México, Bolivia, Perú, Colombia, Venezuela, Ecuador, Centroamérica y las Antillas (Loaiza Ramírez, 2024). En Ecuador, los primeros reportes científicos de pitahaya silvestre datan de 1983 en el Río Yasuní, provincia de Orellana, y posteriormente en 1987 en la reserva biológica Jatun Sacha, provincia de Napo (Loaiza Ramírez, 2024). Estos hallazgos confirmaron la presencia natural de especies del género *Selenicereus* y *Hylocereus* en los ecosistemas amazónicos ecuatorianos.

Desde el punto de vista botánico, la pitahaya pertenece a la familia Cactaceae y presenta un hábito de crecimiento hemiepipítico, lo que significa que puede desarrollarse tanto en el suelo como sobre otras plantas utilizándolas como soporte (Caiza et al., 2025). Esta característica es típica de las especies de cactus epífitos y hemiepipítos que habitan en bosques tropicales húmedos. Las plantas de pitahaya desarrollan raíces adventicias a lo largo de sus tallos o pencas, las cuales les permiten absorber agua y nutrientes tanto del suelo como del ambiente, adaptándose eficientemente a las condiciones de alta humedad de su hábitat natural (Lucero y Vallejo, 2024). La evolución del cultivo de pitahaya ha sido notable en las últimas décadas. De ser una fruta de recolección silvestre y consumo local, ha pasado a convertirse en un cultivo comercial de importancia económica internacional. Este cambio se debe principalmente al creciente interés de los consumidores por frutas exóticas, saludables y con propiedades funcionales, así como a los esfuerzos de investigación y desarrollo tecnológico que han permitido mejorar las prácticas de cultivo, postcosecha y comercialización (Mondol et al., 2025).

1.2 Importancia económica, social y alimentaria

La pitahaya ha experimentado un crecimiento exponencial en los mercados internacionales durante la última década, consolidándose como una de las frutas tropicales exóticas de mayor demanda. El mercado mundial de pitahaya alcanzó un valor de USD 14.73 billones en 2024 y se proyecta que llegará a USD 18.27 billones para 2029, con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 4.40% (Caiza et al., 2025). Este dinamismo comercial refleja el cambio en los patrones de consumo global hacia alimentos saludables, funcionales y con alto valor nutricional.

En Ecuador, la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) ha adquirido una relevancia estratégica tanto para la agricultura familiar como para la economía de exportación. El país se ha posicionado como uno de los principales referentes latinoamericanos en la producción y exportación de pitahaya amarilla, compitiendo con países como Perú, Bolivia y Venezuela (INIAP, 2020). La provincia de Morona Santiago, específicamente el cantón Palora, concentra la mayor superficie cultivada del país con aproximadamente 2,400 hectáreas, lo que representa más del 30% del área total nacional (Caiza et al., 2025), (Zambrano-Baquerizo et al., 2025).

Un hito importante en el reconocimiento de la calidad de la pitahaya ecuatoriana fue la obtención de la Denominación de Origen "Pitahaya Amazónica de Palora" en 2018 (Zambrano-Baquerizo et al., 2025), (Luu et al., 2021). Esta certificación geográfica protege y distingue la pitahaya producida en esta zona, reconociendo sus características únicas de sabor, tamaño y calidad, atribuibles a las condiciones agroecológicas específicas de la región amazónica ecuatoriana. La Denominación de Origen no solo agrega valor comercial al producto, sino que también fortalece la identidad territorial y promueve el desarrollo sostenible de las comunidades productoras. Desde el punto de vista social, el cultivo de pitahaya representa una fuente importante de empleo e ingresos para miles de familias rurales ecuatorianas. En el cantón Palora, aproximadamente 672 productores se dedican al cultivo de pitahaya, generando empleo directo e indirecto en actividades de producción, cosecha, postcosecha, transporte y comercialización (Luu et al., 2021). La mayoría de estos productores son pequeños y medianos agricultores que han encontrado en la pitahaya una alternativa rentable y sostenible frente a otros cultivos tradicionales. Desde la perspectiva alimentaria y nutricional, la pitahaya es reconocida como un alimento funcional con múltiples beneficios para la

salud humana. Su pulpa es rica en vitamina C, fibra dietética, antioxidantes naturales (polifenoles, carotenoides, betalaínas), minerales esenciales y compuestos bioactivos con propiedades antiinflamatorias, antidiabéticas y cardioprotectoras (Mondol et al., 2025), (INIAP, 2020). El contenido de agua de la pulpa alcanza aproximadamente el 80%, lo que la convierte en una fruta refrescante e hidratante, ideal para climas tropicales (INIAP, 2020). Las semillas de pitahaya son comestibles y contienen ácidos grasos esenciales, especialmente ácido linoleico, con efectos beneficiosos sobre el sistema cardiovascular (INIAP, 2020).

El consumo regular de pitahaya contribuye al fortalecimiento del sistema inmunológico, la regulación de los niveles de glucosa en sangre, la reducción del colesterol, la mejora del tránsito intestinal y la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles (INIAP, 2020), (INIAP, 2020). Estas propiedades funcionales han impulsado su demanda en mercados internacionales conscientes de la salud, especialmente en Estados Unidos, Europa y Asia.

1.3 Principales países productores y exportadores

A nivel mundial, la producción de pitahaya se concentra en dos grandes regiones geográficas: Asia-Pacífico y América Latina. Cada región se especializa en diferentes especies y variedades, respondiendo a las preferencias de los mercados locales e internacionales. En Asia, los principales productores de pitahaya roja (*Hylocereus* spp.) son Vietnam, Tailandia, Malasia, Indonesia e Israel (INIAP, 2020). Vietnam se ha consolidado como el líder mundial en producción y exportación de pitahaya roja, con más de 50,000 hectáreas cultivadas y volúmenes de exportación que superan las 400,000 toneladas anuales (Loaiza Ramírez, 2024). La pitahaya vietnamita se caracteriza por su piel roja brillante y pulpa blanca o roja, dependiendo de la variedad (*H. undatus* o *H. polyrhizus*). Los principales mercados de destino para la pitahaya asiática son China (especialmente Hong Kong), Japón, Corea del Sur, Estados Unidos y la Unión Europea (Luu et al., 2021).

En América Latina, Ecuador, Perú, Bolivia, Colombia, Venezuela y México son los principales productores de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*; INIAP, 2020). Esta especie es altamente valorada en los mercados internacionales por su sabor dulce intenso, su aroma característico y su mayor contenido de azúcares (°Brix) en comparación con

las variedades rojas (Mondol et al., 2025). Ecuador se destaca como el principal exportador latinoamericano de pitahaya amarilla, con envíos a más de 17 países en 2019, generando ingresos superiores a USD 44 millones (Loaiza Ramírez, 2024).

Los principales mercados de destino para la pitahaya ecuatoriana son Estados Unidos (51% de las exportaciones), Hong Kong (36%), Países Bajos, Francia, Alemania, España y Rusia (Luu et al., 2021), (Loaiza Ramírez, 2024). Estados Unidos representa el mercado más importante debido a su gran población hispana y asiática, que valora las frutas tropicales exóticas, así como a la creciente demanda de consumidores estadounidenses interesados en alimentos saludables y funcionales. Hong Kong funciona como puerta de entrada al mercado chino, donde la pitahaya es altamente apreciada por su simbolismo cultural y sus propiedades nutricionales.

México, por su parte, tiene una larga tradición en el cultivo de pitahaya, tanto amarilla como roja, destinando su producción principalmente al mercado interno y a la exportación hacia Estados Unidos. Israel ha desarrollado tecnologías avanzadas de cultivo en invernadero y sistemas de riego por goteo, logrando altos rendimientos y calidad de fruta para exportación a Europa (INIAP, 2020).

1.4 La pitahaya en América Latina y Ecuador

En Ecuador, el cultivo de pitahaya se ha expandido significativamente en las últimas dos décadas, pasando de ser un cultivo marginal para convertirse en una actividad agrícola estratégica para varias regiones del país. La superficie total cultivada se estima en aproximadamente 7,500 hectáreas, con un rendimiento promedio nacional de 7.6 toneladas por hectárea (Caiza et al., 2025), (Zambrano-Baquerizo et al., 2025). Sin embargo, existen diferencias importantes en los rendimientos según la zona de producción, el nivel tecnológico del cultivo y la edad de las plantaciones.

Las principales zonas productoras de pitahaya en Ecuador se distribuyen en varias regiones agroecológicas:

Región Amazónica: La provincia de Morona Santiago, específicamente el cantón Palora, concentra la mayor superficie cultivada con aproximadamente 2,400 hectáreas (Caiza et al., 2025), (Zambrano-

Baquerizo et al., 2025). Esta zona se caracteriza por condiciones climáticas ideales para el cultivo: alta humedad relativa (>80%), temperaturas entre 18-25°C, precipitaciones abundantes y suelos franco-arenosos ricos en materia orgánica (Valero et al., 2025). El ecotipo 'Palora' producido en esta zona se distingue por frutos de gran tamaño (hasta 350 g) y excelente calidad organoléptica (Zambrano-Baquerizo et al., 2025), (Luu et al., 2021). Otras provincias amazónicas como Orellana, Sucumbíos, Napo, Pastaza y Zamora Chinchipe también han incorporado el cultivo de pitahaya, aprovechando su potencial exportador (Loaiza Ramírez, 2024), (Luu et al., 2021).

Región Sierra: En la provincia de Pichincha, especialmente en las estribaciones del noroccidente, se cultiva el ecotipo 'Pichincha' o 'Nacional', caracterizado por frutos de menor tamaño (hasta 150 g) pero con excelente sabor y aroma (Zambrano-Baquerizo et al., 2025), (Luu et al., 2021). También se reportan cultivos en las provincias de Imbabura y Loja, en zonas con altitudes entre 500 y 1,900 msnm (Valero et al., 2025).

Región Costa: Las provincias de Manabí, Guayas, Los Ríos, Santa Elena y Esmeraldas han incorporado el cultivo de pitahaya en los últimos años, principalmente en sistemas agroforestales y bajo condiciones de riego suplementario (Loaiza Ramírez, 2024), (Luu et al., 2021).

En cuanto a la fenología del cultivo, la pitahaya en Ecuador presenta un comportamiento estacional influenciado por el fotoperíodo y las condiciones climáticas. La emisión de nuevos brotes vegetativos ocurre al final del invierno (febrero-abril), seguida por la floración en ondas durante los meses de mayo a noviembre, cuando los días son más largos que las noches y las temperaturas superan los 18°C (Valero et al., 2025). El período principal de cosecha se concentra entre mayo y septiembre, con 4 a 7 ciclos de floración en un período de 8 meses (Luu et al., 2021). En el cantón Palora, los picos de producción se registran en enero, marzo, abril, noviembre y diciembre (Luu et al., 2021).

Las plantas de pitahaya inician su producción aproximadamente 14 meses después del trasplante, con una primera cosecha de 3 a 5 frutos por planta (Valero et al., 2025). Durante el primer año productivo, los rendimientos oscilan entre 4.5 y 6.5 toneladas por hectárea. A partir del tercer año, las plantaciones alcanzan su producción plena con rendimientos de 11 a 12 toneladas por hectárea (Valero et al., 2025). Plantaciones bien manejadas

y con condiciones agroecológicas óptimas pueden superar las 15 toneladas por hectárea en años de alta producción. Las densidades de siembra más comunes en Ecuador varían entre 833 y 1,250 plantas por hectárea, dependiendo del sistema de tutorado y las distancias de plantación (Mondol et al., 2025). El sistema más utilizado es de 2 a 3 metros entre plantas y 4 metros entre hileras, lo que facilita las labores de manejo agronómico, cosecha y transporte dentro de la plantación (Mondol et al., 2025).

En términos de comercialización, aproximadamente el 77% de la producción del cantón Palora se destina al mercado nacional, mientras que el 23% restante se exporta (Luu et al., 2021). Sin embargo, esta proporción varía según la época del año, la calidad de la fruta y las condiciones del mercado internacional. Durante los picos de producción nacional (febrero-marzo), cuando la oferta es abundante, los precios en el mercado local tienden a disminuir, incentivando la exportación. Por el contrario, en períodos de baja producción (junio-agosto), los precios locales aumentan y una mayor proporción de la fruta se comercializa internamente.

1.5 Variedades comerciales

Las variedades comerciales de pitahaya cultivadas en Ecuador pertenecen principalmente a dos géneros de la familia Cactaceae: *Selenicereus* (pitahaya amarilla) y *Hylocereus* (pitahaya roja y blanca). Cada especie presenta características morfológicas, agronómicas y organolépticas distintivas que determinan su adaptación agroecológica, manejo agronómico y posicionamiento en los mercados.

1.5.1 Pitahaya Amarilla *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran, Cactaceae

Nomenclatura taxonómica completa: **Nombre científico:** *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran; Sinónimo: *Hylocereus megalanthus*; Familia: Cactaceae Juss; Género: *Selenicereus* (A. Berger) Britton & Rose; Clase: Equisetopsida C. Agardh; Orden: Caryophyllales Juss. ex Bercht & J. Presl; Tribu: Hylocereeae (Zambrano-Baquerizo et al., 2025).

Descripción morfológica del fruto: La pitahaya amarilla produce una baya globosa o subglobosa muy jugosa, con una longitud aproximada de 15 cm y un diámetro de 6 a 10 cm (Mondol et al., 2025). El peso del fruto varía

considerablemente según el ecotipo, las condiciones de cultivo y el manejo agronómico, oscilando entre 170 y 450 g, con reportes de frutos excepcionales de hasta 468 g (Mondol et al., 2025), (Loaiza Ramírez, 2024).

La piel del fruto es gruesa y escamosa, de color amarillo brillante en la madurez, cubierta por pequeñas púas o espinas que se desprenden fácilmente durante el proceso de maduración (Loaiza Ramírez, 2024), (INIAP, 2020). Esta característica facilita el manejo postcosecha y reduce el riesgo de lesiones durante la manipulación. Las brácteas o escamas son de forma triangular y se distribuyen uniformemente sobre toda la superficie del fruto, dándole su apariencia característica de "fruta escamosa". La pulpa es de color blanco translúcido, con una textura suave, jugosa y ligeramente fibrosa (INIAP, 2020). Su sabor es dulce e intenso, con un aroma tropical característico que la distingue de otras variedades de pitahaya. El contenido de agua de la pulpa alcanza aproximadamente el 80%, lo que le confiere propiedades refrescantes e hidratantes (INIAP, 2020).

Semillas: Cada fruto contiene aproximadamente 650 semillas pequeñas, de 2 a 4 mm de longitud, de color negro o café oscuro, con una superficie brillante (INIAP, 2020). Las semillas están unidas a la pared interna del fruto mediante un funículo largo y están rodeadas por una sustancia mucilaginosa que facilita su dispersión natural (INIAP, 2020). Las semillas son comestibles y aportan textura crujiente a la pulpa, además de contener ácidos grasos esenciales con propiedades nutricionales beneficiosas.

Ecotipos ecuatorianos: En Ecuador se han identificado dos ecotipos principales de pitahaya amarilla, diferenciados por su origen geográfico, tamaño de fruto y características agronómicas: **Ecotipo 'Pichincha' o 'Nacional':** Cultivado principalmente en las estribaciones del noroccidente de la provincia de Pichincha, produce frutos de menor tamaño con un peso promedio de 150 g (Zambrano-Baquerizo et al., 2025), (Luu et al., 2021). Este ecotipo se caracteriza por su adaptación a condiciones de mayor altitud (1,200-1,900 msnm) y temperaturas ligeramente más frescas.

Ecotipo 'Palora': Originario del cantón Palora en la provincia de Morona Santiago, produce frutos de mayor tamaño con un peso promedio de 350 g, pudiendo alcanzar hasta 450 g en condiciones óptimas (Zambrano-Baquerizo et al., 2025), (Luu et al., 2021). Este ecotipo obtuvo la Denominación de Origen "Pitahaya Amazónica de Palora" en 2018,

reconociendo sus características únicas de calidad (Zambrano-Baquerizo et al., 2025), (Luu et al., 2021). Se cultiva en altitudes entre 800 y 1,200 msnm, en condiciones de alta humedad relativa y temperaturas cálidas.

Parámetros de calidad fisicoquímica: Los sólidos solubles totales (°Brix) de la pitahaya amarilla ecuatoriana varían entre 8.7 y 15.82°Brix, dependiendo del ecotipo, el estado de madurez y las condiciones de cultivo (Loaiza Ramírez, 2024), (Romero, 2025). Estudios realizados en el ecotipo 'Palora' reportan valores consistentes entre 14.76 y 15.82°Brix, sin diferencias significativas entre accesiones, lo que indica una uniformidad deseable para la comercialización (Romero, 2025). Este alto contenido de azúcares naturales es una de las principales características que distingue a la pitahaya amarilla ecuatoriana en los mercados internacionales. La acidez titulable oscila entre 0.15 y 1.47%, expresada como ácido cítrico (Loaiza Ramírez, 2024). Esta baja acidez, combinada con el alto contenido de azúcares, resulta en una relación °Brix/acidez muy favorable, que se traduce en un sabor dulce y agradable al paladar.

Ciclo fenológico y producción: El desarrollo del fruto desde la floración hasta la maduración completa toma aproximadamente 125 días (INIAP, 2020). Este período puede variar según la época del año: 13-14 semanas durante el verano y 20-22 semanas en invierno (Valero et al., 2025). Las plantas de pitahaya amarilla presentan de 4 a 7 ciclos de floración en un período de 8 meses, lo que permite una producción escalonada y una oferta relativamente constante durante la temporada productiva (Luu et al., 2021).

Mercados de exportación y preferencias: La pitahaya amarilla ecuatoriana es altamente valorada en los mercados internacionales por su sabor dulce intenso, su tamaño superior y su excelente vida postcosecha. Los principales destinos de exportación son Estados Unidos, Hong Kong, Países Bajos, Francia, Alemania, España y Rusia (Luu et al., 2021), (Loaiza Ramírez, 2024). Los consumidores de estos mercados prefieren la pitahaya amarilla sobre las variedades rojas debido a su mayor contenido de azúcares y su sabor más pronunciado.

Condiciones de almacenamiento: Para mantener la calidad postcosecha y extender la vida útil, la pitahaya amarilla debe almacenarse a una temperatura de 6°C con una humedad relativa de 85-90% (INIAP, 2020). Estas condiciones permiten conservar la firmeza, el color, el contenido de

sólidos solubles y la calidad organoléptica durante 2 a 3 semanas, facilitando el transporte marítimo a mercados distantes.

1.5.2 Pitahaya Roja *Hylocereus purpusii* (Weing.) Britton & Rose, Cactaceae

Nomenclatura taxonómica:

Nombre científico: *Hylocereus purpusii* (Weing.) Britton & Rose; Familia: Cactaceae (INIAP, 2020).

Otras especies del género *Hylocereus* de importancia comercial: *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton & Rose: piel roja con pulpa blanca (INIAP, 2020); *Hylocereus costaricensis* (F.A.C. Weber) Britton & Rose: piel y pulpa roja (INIAP, 2020); *Hylocereus polyrhizus* (F.A.C. Weber) Britton & Rose: piel y pulpa roja (Loaiza Ramírez, 2024).

Características del fruto: La pitahaya roja presenta frutos de forma ovoide a globosa, con un peso que varía entre 367 y 469 g (Loaiza Ramírez, 2024). La piel es de color rojo intenso o rosado, cubierta por brácteas carnosas de color verde o rojizo, que le dan una apariencia distintiva. A diferencia de la pitahaya amarilla, las brácteas de las especies de *Hylocereus* no presentan espinas, lo que facilita su manipulación.

La pulpa puede ser blanca (*H. undatus*) o roja (*H. costaricensis*, *H. polyrhizus*), dependiendo de la especie. La pulpa roja contiene pigmentos naturales llamados betalaínas, específicamente betacianinas, que le confieren su color característico y propiedades antioxidantes superiores (INIAP, 2020). El sabor de la pitahaya roja es generalmente menos dulce que el de la pitahaya amarilla, con un contenido de sólidos solubles entre 10.5 y 13.7°Brix (Loaiza Ramírez, 2024).

Parámetros de calidad: Los grados Brix de la pitahaya roja oscilan entre 10.5 y 13.7°Brix, mientras que la acidez titulable varía entre 0.24 y 1.7% (Loaiza Ramírez, 2024). Estos valores son ligeramente inferiores a los de la pitahaya amarilla, lo que resulta en un perfil de sabor menos dulce y más ácido.

Pigmentos y compuestos bioactivos: La pitahaya roja es particularmente rica en betalaínas, un grupo de pigmentos hidrosolubles que incluyen betacianinas (rojas-violetas) y betaxantinas (amarillas-naranjas; INIAP,

2020). Estos compuestos son responsables del color intenso de la pulpa y la piel, y poseen potentes propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas. Además, la pitahaya roja contiene carotenoides como β -caroteno y licopeno, que contribuyen a su valor nutricional y funcional (INIAP, 2020).

Propiedades funcionales y bioactividad: Numerosos estudios científicos han documentado las propiedades funcionales de la pitahaya roja, incluyendo actividades antioxidantes, antimicrobianas, antidiabéticas y anticancerígenas (INIAP, 2020). Los extractos de pitahaya roja han demostrado actividad citotóxica contra células de cáncer de colon y próstata, sin efectos tóxicos sobre células normales (INIAP, 2020). Además, se ha reportado un efecto antiviral contra el virus de la influenza A, atribuido principalmente a las betacianinas presentes en la pulpa (INIAP, 2020). Estas propiedades funcionales han impulsado el interés de la industria alimentaria y farmacéutica en la utilización de la pitahaya roja como fuente de colorantes naturales, ingredientes funcionales y compuestos bioactivos para el desarrollo de alimentos funcionales, suplementos nutricionales y productos cosméticos.

Condiciones de almacenamiento: La pitahaya roja requiere condiciones de almacenamiento ligeramente diferentes a las de la pitahaya amarilla. La temperatura óptima de almacenamiento es de 10°C con una humedad relativa de 85-90% (INIAP, 2020). Temperaturas inferiores a 10°C pueden causar daño por frío (chilling injury), manifestado por pérdida de peso, cambios de color, ablandamiento y pérdida de calidad organoléptica (INIAP, 2020).

Potencial agroindustrial: La pitahaya roja presenta un alto potencial para la agroindustria debido a su contenido de pigmentos naturales y compuestos bioactivos. Las betalaínas extraídas de la pulpa y la cáscara pueden utilizarse como colorantes naturales en la industria alimentaria, reemplazando colorantes sintéticos con potenciales efectos adversos para la salud (INIAP, 2020). Además, los extractos de pitahaya roja pueden incorporarse en alimentos funcionales, bebidas energéticas, yogures, helados y productos de panadería, aportando color, sabor y propiedades nutraceuticas (INIAP, 2020).

1.5.3 Pitahaya Blanca *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton & Rose, Cactaceae

Nomenclatura taxonómica:

Nombre científico: *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton & Rose; Familia: Cactaceae.

Características generales: La pitahaya blanca (*H. undatus*) presenta piel de color rojo o rosado con pulpa blanca translúcida. Aunque es cultivada en Ecuador, tiene menor importancia comercial en comparación con la pitahaya amarilla y la pitahaya roja de pulpa roja. Su sabor es suave y ligeramente dulce, con un contenido de azúcares inferior al de la pitahaya amarilla.

Valorización de subproductos: Un aspecto importante de *H. undatus* es el potencial de valorización de sus cáscaras, que representan hasta el 51% del peso total del fruto (Mondol et al., 2025). La composición bromatológica de las cáscaras deshidratadas incluye: humedad 10.30%, proteína 4.73%, grasa 0.14%, fibra bruta 28.29%, cenizas 14.62% y carbohidratos 41.93% (Moran Suárez, 2024). Esta composición rica en fibra dietética, minerales y carbohidratos convierte a las cáscaras en un subproducto valioso para la industria alimentaria y farmacéutica (Moran Suárez, 2024). Las cáscaras de pitahaya blanca son una fuente importante de compuestos bioactivos, incluyendo proteínas, pectinas de alta pureza, fibra dietética soluble e insoluble, ácidos grasos, minerales, vitaminas, betalaínas, compuestos fenólicos y terpenoides (Moran Suárez, 2024). El mucílago extraído de las cáscaras es rico en fibra y carbohidratos, con aplicaciones potenciales en la industria alimentaria como agente espesante, estabilizante y emulsificante (Moran Suárez, 2024).

1.6 Tendencias: sostenibilidad y certificaciones

La producción de pitahaya en Ecuador está experimentando una transición hacia sistemas de producción más sostenibles, impulsada por las exigencias de los mercados internacionales, las regulaciones ambientales y la creciente conciencia de los productores sobre la importancia de la conservación de los recursos naturales.

Certificaciones de calidad e inocuidad: Las principales certificaciones requeridas para la exportación de pitahaya ecuatoriana incluyen

GlobalG.A.P. (Good Agricultural Practices) y las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) nacionales (Moran Suárez, 2024). Estas certificaciones garantizan que la producción se realiza bajo estándares internacionales de calidad, inocuidad alimentaria, trazabilidad, bienestar laboral y responsabilidad ambiental. Los productores certificados deben implementar sistemas de registro de todas las actividades agrícolas, desde la selección del material vegetal hasta la cosecha y postcosecha, asegurando la trazabilidad completa del producto (Moran Suárez, 2024). La inocuidad alimentaria es un aspecto crítico de las certificaciones, requiriendo el cumplimiento de límites máximos de residuos de plaguicidas (LMR), la ausencia de contaminantes microbiológicos y la implementación de protocolos de higiene en todas las etapas de la cadena productiva (Moran Suárez, 2024).

Economía circular y valorización de subproductos: La economía circular representa una oportunidad estratégica para el sector de la pitahaya en Ecuador. Aproximadamente el 33% de la producción nacional se procesa en forma de pulpa, jugos, deshidratados y otros productos derivados (Mondol et al., 2025). Durante el procesamiento, se generan grandes volúmenes de cáscaras y semillas que tradicionalmente se desechan, representando una pérdida económica y un problema ambiental.

Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado el alto potencial de valorización de estos subproductos. Las cáscaras de pitahaya contienen compuestos bioactivos valiosos, incluyendo fibra dietética, pectinas, betalaínas, compuestos fenólicos, carotenoides y minerales (Moran Suárez, 2024), (Moran Suárez, 2024). Estos compuestos pueden extraerse y utilizarse como ingredientes funcionales en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, generando valor agregado y reduciendo el impacto ambiental del procesamiento (Moran Suárez, 2024).

Sistemas agroforestales: Los sistemas agroforestales (SAF) representan una alternativa sostenible para la producción de pitahaya, integrando árboles frutales, arbustos forrajeros y cultivos de interés económico en un mismo espacio productivo (Moran Suárez, 2024). En Ecuador, se han evaluado sistemas agroforestales con especies como *Gliricidia sepium* y *Erythrina* spp. como tutores vivos para la pitahaya, obteniendo resultados prometedores (Moran Suárez, 2024).

Los SAF con tutores vivos presentan múltiples ventajas sobre los monocultivos con tutores inertes: reducción de costos de establecimiento

y mantenimiento, aporte de biomasa al suelo como abono verde, mejora de la biodiversidad edáfica (mayor abundancia de lombrices: 117 y 103 lombrices/m² en SAF vs. monocultivos), reducción de la incidencia de plagas y enfermedades, y provisión de servicios ecosistémicos como la regulación del microclima y la conservación del suelo (Moran Suárez, 2024).

Los análisis financieros de sistemas agroforestales con tutores vivos muestran indicadores económicos superiores a los monocultivos con postes de cemento. Con un precio de venta de USD 4/kg, los SAF con tutores vivos presentan un Valor Actual Neto (VAN) de USD 560,310.60, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 206% y una relación Beneficio/Costo (B/C) de 6.61, comparado con un VAN de USD 502,340.45, TIR del 111% y B/C de 5.16 para sistemas con postes de cemento (Moran Suárez, 2024).

Perspectivas futuras: Las tendencias futuras en la producción de pitahaya en Ecuador apuntan hacia la intensificación sostenible, la diversificación de productos, la agregación de valor y la diferenciación por calidad y origen. La implementación de tecnologías digitales (agricultura de precisión, sensores remotos, inteligencia artificial) permitirá optimizar el uso de recursos, mejorar la eficiencia productiva y reducir el impacto ambiental. La investigación y desarrollo de nuevos productos derivados de pitahaya, incluyendo ingredientes funcionales, colorantes naturales, suplementos nutricionales y cosméticos, abrirá nuevas oportunidades de mercado y generará mayor valor agregado para los productores ecuatorianos.

Tema 2

Producción agrícola de la pitahaya

2.1 Requerimientos agroecológicos

El cultivo de pitahaya requiere condiciones agroecológicas específicas para alcanzar su máximo potencial productivo. La comprensión detallada de estos requerimientos es fundamental para la selección de sitios apropiados, el diseño de sistemas de producción eficientes y la implementación de prácticas de manejo que optimicen el rendimiento y la calidad del fruto.

Altitud: La pitahaya se adapta a un amplio rango altitudinal, aunque su óptimo productivo se encuentra entre 500 y 1,900 metros sobre el nivel del mar (msnm; Valero et al., 2025), (Moran Suárez, 2024). En Ecuador, se han reportado cultivos exitosos en un rango aún más amplio, desde 308 hasta 2,900 msnm (Moran Suárez, 2024). Sin embargo, los mejores rendimientos y calidad de fruta se obtienen en altitudes intermedias (800-1,500 msnm), donde las condiciones de temperatura, humedad y radiación solar son más favorables.

En la región amazónica ecuatoriana, específicamente en la Estación Experimental Central Amazónica (EECA) en Orellana, se cultiva pitahaya a 250 msnm con resultados satisfactorios, aunque requiere manejo especial de sombra y humedad (Moran Suárez, 2024). En zonas de mayor altitud, como las estribaciones andinas de Pichincha (1,200-1,900 msnm), el cultivo se adapta bien pero presenta ciclos fenológicos más largos y menor número de ciclos de floración por año.

Temperatura: La temperatura óptima para el cultivo de pitahaya oscila entre 18 y 25°C (Moran Suárez, 2024). Dentro de este rango, las plantas presentan un crecimiento vegetativo vigoroso, floración abundante y desarrollo óptimo de frutos. La pitahaya puede tolerar temperaturas más extremas, desde 14°C hasta 40°C (Moran Suárez, 2024), pero fuera del rango óptimo, el rendimiento y la calidad del fruto se ven afectados.

En la región amazónica ecuatoriana, la temperatura media anual es de aproximadamente 25°C, con máximas medias de 40°C y mínimas medias de 22°C (Mondol et al., 2025). Estas condiciones cálidas favorecen el crecimiento rápido de las plantas, pero requieren manejo de sombra para evitar quemaduras en los cladodios. En condiciones de invernadero en la EECA, se han registrado temperaturas promedio de 35°C, que están por encima del óptimo y pueden inhibir la floración durante los meses más

calurosos (Moran Suárez, 2024), (Mondol et al., 2025). Las temperaturas extremadamente altas ($>30^{\circ}\text{C}$ diurnas) pueden causar estrés térmico, reducción de la fotosíntesis, inhibición de la floración y quemaduras en los tallos expuestos directamente al sol (Mondol et al., 2025). Por esta razón, en zonas de alta temperatura, se recomienda proporcionar sombra regulada del 30-60% mediante mallas de sombreo o sistemas agroforestales (Mondol et al., 2025).

Las temperaturas bajas ($<14^{\circ}\text{C}$) pueden retrasar el crecimiento vegetativo, inhibir la floración y afectar el desarrollo de los frutos. Heladas ocasionales pueden causar daños severos o la muerte de las plantas, por lo que no se recomienda el cultivo en zonas con riesgo de heladas.

Humedad relativa y precipitación: La pitahaya requiere una humedad relativa óptima entre 70% y 80% (Valero et al., 2025). En la región amazónica ecuatoriana, la humedad relativa media alcanza el 90%, lo que favorece el crecimiento de las raíces adventicias y la absorción de agua atmosférica (Mondol et al., 2025). Sin embargo, humedades relativas muy altas ($>90\%$) combinadas con temperaturas cálidas pueden favorecer el desarrollo de enfermedades fungosas y bacterianas, requiriendo un manejo fitosanitario preventivo.

La pluviosidad anual óptima para el cultivo de pitahaya oscila entre 1,200 y 2,500 mm/año (Valero et al., 2025), (Moran Suárez, 2024). En la región amazónica ecuatoriana, la precipitación anual puede alcanzar hasta 3,500 mm (Mondol et al., 2025), lo que supera el óptimo y requiere la implementación de sistemas de drenaje eficientes para evitar encharcamientos y pudriciones radiculares.

La distribución de las lluvias a lo largo del año es tan importante como la cantidad total. La pitahaya requiere un período de menor precipitación (veranillo) para inducir la floración. En Ecuador, este período generalmente ocurre entre junio y agosto en la región amazónica, y entre junio y septiembre en la región costa. Durante este período, el estrés hídrico moderado induce la diferenciación de yemas florales, resultando en una floración abundante cuando se restablecen las lluvias.

En zonas con precipitaciones insuficientes o mal distribuidas, es necesario implementar sistemas de riego suplementario para garantizar el suministro

adecuado de agua durante las etapas críticas del cultivo: crecimiento vegetativo, floración y desarrollo de frutos.

Suelos: La pitahaya se desarrolla mejor en suelos de textura franco-arenosa a franco-arcillosa, con buen drenaje y ricos en materia orgánica (>5%; Mondol et al., 2025). El pH óptimo del suelo oscila entre 5.3 y 7.0, aunque la planta puede tolerar suelos ligeramente ácidos o ligeramente alcalinos (Mondol et al., 2025).

El buen drenaje es un requisito crítico para el cultivo de pitahaya, ya que la planta es extremadamente sensible al encharcamiento y a la pudrición radicular (Mondol et al., 2025). Suelos arcillosos pesados con drenaje deficiente deben evitarse o mejorarse mediante la incorporación de materia orgánica, arena y la construcción de drenajes. En zonas con alta precipitación, como la región amazónica ecuatoriana, es indispensable construir drenajes principales de 0.60-0.80 m de ancho por 1 m de profundidad para evacuar el exceso de agua lluvia (Mondol et al., 2025).

La materia orgánica del suelo juega un papel fundamental en la nutrición de la pitahaya, mejorando la estructura del suelo, la retención de agua y nutrientes, y la actividad biológica. Se recomienda incorporar 5-10 kg de abono orgánico bien descompuesto por planta anualmente, fraccionado en 3-4 aplicaciones (Mondol et al., 2025). La profundidad efectiva del suelo debe ser de al menos 50 cm para permitir el desarrollo adecuado del sistema radicular. Suelos poco profundos o con capas compactadas limitan el crecimiento de las raíces y reducen el rendimiento del cultivo.

Luz y sombreamiento: La pitahaya es una planta de origen tropical que se desarrolla naturalmente bajo el dosel de los bosques, por lo que requiere sombra parcial para su óptimo desarrollo. En condiciones de cultivo, se recomienda proporcionar entre 30% y 60% de sombra regulada, especialmente en zonas de alta radiación solar y temperaturas elevadas (Mondol et al., 2025). La exposición directa al sol intenso puede causar quemaduras en los cladodios, manifestadas como manchas amarillentas o pardas en la superficie de los tallos. Estas lesiones no solo afectan la apariencia de la planta, sino que también la hacen más susceptible al ataque de plagas y enfermedades (Mondol et al., 2025). La sombra puede proporcionarse mediante mallas de sombreo (sarán) instaladas sobre la plantación, o mediante sistemas agroforestales con árboles de sombra estratégicamente ubicados. Los sistemas agroforestales presentan la

ventaja adicional de aportar biomasa al suelo, mejorar la biodiversidad y proporcionar ingresos complementarios al productor.

Viento: La pitahaya es susceptible al daño por vientos fuertes, que pueden quebrar los tallos, derribar los tutores y causar la caída prematura de flores y frutos. En zonas ventosas, es necesario establecer barreras rompevientos naturales (árboles, arbustos) o artificiales (mallas, cercas) para proteger la plantación. Los tutores deben orientarse en la dirección predominante del viento para minimizar la resistencia y reducir el riesgo de volcamiento (Lim et al., 2025).

2.2 Selección de variedades y material vegetal

La selección adecuada de la variedad y del material vegetal es un factor determinante para el éxito del cultivo de pitahaya. Esta decisión debe basarse en criterios agronómicos, comerciales y de adaptación agroecológica.

Criterios de selección de variedades:

La elección de la variedad debe considerar los siguientes aspectos:

Adaptación agroecológica: La variedad debe estar adaptada a las condiciones climáticas y edáficas de la zona de cultivo. En Ecuador, el ecotipo 'Palora' se adapta mejor a condiciones de baja altitud (800-1,200 msnm), alta humedad y temperaturas cálidas de la región amazónica, mientras que el ecotipo 'Pichincha' se adapta mejor a altitudes mayores (1,200-1,900 msnm) y temperaturas más frescas de las estribaciones andinas.

Demanda del mercado: La variedad debe responder a las preferencias y exigencias de los mercados objetivo. La pitahaya amarilla ecuatoriana es altamente valorada en mercados internacionales por su sabor dulce intenso y su tamaño superior, lo que justifica su preferencia sobre otras variedades.

Rendimiento y precocidad: Se deben seleccionar variedades de alto rendimiento y producción temprana para maximizar la rentabilidad del cultivo. El ecotipo 'Palora' presenta rendimientos superiores (11-12 t/ha en producción plena) comparado con el ecotipo 'Pichincha' (8-10 t/ha).

Calidad del fruto: Características como tamaño, peso, contenido de azúcares (°Brix), acidez, firmeza, color y vida postcosecha son determinantes para la aceptación comercial del producto.

Resistencia a plagas y enfermedades: Variedades con mayor tolerancia o resistencia a problemas fitosanitarios reducen los costos de producción y el uso de agroquímicos.

Propagación vegetativa: La propagación vegetativa asexual mediante esquejes es el método más utilizado en la producción comercial de pitahaya (Luu et al., 2021). Este método presenta varias ventajas sobre la propagación sexual (por semillas): Mantiene las características genéticas de la planta madre, garantizando uniformidad en el cultivo; Reduce el tiempo hasta la primera producción (14 meses vs. 4-5 años con semillas); Permite seleccionar plantas madre con características superiores de rendimiento, calidad y sanidad.

Selección de plantas madre: Las plantas madre deben seleccionarse cuidadosamente siguiendo los siguientes criterios (Luu et al., 2021): Plantas adultas de al menos 2 años de edad, en plena producción; Plantas vigorosas, con crecimiento vegetativo abundante y saludable; Plantas libres de plagas, enfermedades y síntomas de deficiencias nutricionales; Plantas con historial de alto rendimiento y producción de frutos de excelente calidad; Plantas con características deseables de tamaño de fruto, contenido de azúcares y vida postcosecha.

Preparación de esquejes: Los esquejes deben prepararse a partir de tallos o cladodios maduros de las plantas madre, con las siguientes características (Luu et al., 2021): Longitud de 0.5 a 1 metro; Tallos de al menos 2 años de edad, completamente lignificados; Tallos sanos, sin daños mecánicos, plagas o enfermedades; Corte limpio y recto en la base del esqueje. Después del corte, los esquejes deben dejarse reposar durante 3 días bajo sombra para permitir la cicatrización de la herida y reducir el riesgo de pudrición (Valero et al., 2025). Durante este período, se forma una capa de tejido cicatricial (callo) que protege la herida de la entrada de patógenos. Antes de la siembra, los esquejes deben desinfectarse sumergiéndolos en una solución fungicida (por ejemplo, benomyl, carbendazim o cobre) para prevenir infecciones fungosas durante el establecimiento (Valero et al., 2025).

Siembra de esquejes: La siembra de los esquejes debe realizarse de forma superficial, a una profundidad de aproximadamente 3 cm (Mondol et al., 2025). Una siembra demasiado profunda puede favorecer la pudrición de la base del esqueje, mientras que una siembra muy superficial puede resultar en inestabilidad de la planta. Los esquejes deben amarrarse a balizas o tutores temporales para mantenerlos en posición vertical durante el establecimiento. El riego debe ser moderado durante las primeras semanas, aumentando gradualmente a medida que la planta desarrolla raíces y comienza su crecimiento vegetativo.

Propagación sexual: La propagación sexual mediante semillas es menos utilizada en la producción comercial debido a su mayor tiempo hasta la primera producción (4-5 años) y a la variabilidad genética de las plantas resultantes (Luu et al., 2021). Sin embargo, la propagación sexual es importante para programas de mejoramiento genético, conservación de germoplasma y desarrollo de nuevas variedades. Las semillas de pitahaya presentan buena viabilidad y germinan fácilmente en condiciones de alta humedad y temperatura (25-30°C). La germinación ocurre entre 7 y 15 días después de la siembra. Las plántulas deben mantenerse en vivero bajo sombra parcial durante 6-12 meses antes del trasplante al campo definitivo.

2.3 Sistemas de siembra

El diseño del sistema de siembra es un aspecto fundamental que influye en el rendimiento, la eficiencia de las labores culturales, la incidencia de plagas y enfermedades, y la rentabilidad del cultivo de pitahaya.

Densidades de siembra: En Ecuador, las densidades de siembra más comunes oscilan entre 833 y 1,250 plantas por hectárea (Mondol et al., 2025). La densidad óptima depende de varios factores:

Distancias de plantación: Las distancias de plantación más utilizadas en Ecuador son (Mondol et al., 2025):

1. Sistema 2 x 4 m (1,250 plantas/ha): 2 metros entre plantas y 4 metros entre hileras. Este sistema de alta densidad es apropiado para suelos fértiles, sistemas con riego y variedades de crecimiento moderado. Permite una producción temprana elevada, pero requiere mayor inversión inicial y manejo más intensivo.

2. Sistema 2.5 x 4 m (1,000 plantas/ha): 2.5 metros entre plantas y 4 metros entre hileras. Este sistema intermedio es el más utilizado en Ecuador, ofreciendo un balance entre producción, costos y facilidad de manejo.

3. Sistema 3 x 4 m (833 plantas/ha): 3 metros entre plantas y 4 metros entre hileras. Este sistema de menor densidad es apropiado para variedades de crecimiento vigoroso, suelos de fertilidad moderada y sistemas con menor nivel tecnológico. Facilita las labores culturales y reduce la competencia entre plantas, pero resulta en una producción por hectárea menor durante los primeros años.

Orientación de las hileras: La orientación de las hileras debe considerar la topografía del terreno, la dirección predominante del viento y la incidencia de la radiación solar. En terrenos con pendiente, las hileras deben orientarse siguiendo las curvas de nivel para reducir la erosión y facilitar el drenaje. En terrenos planos, se recomienda orientar las hileras en dirección este-oeste para maximizar la intercepción de luz solar y minimizar el sombreado entre plantas.

Preparación del terreno: La preparación del terreno es una etapa crítica que determina el éxito del establecimiento del cultivo. Las actividades incluyen:

1. Deshierba: Eliminación de malezas mediante métodos manuales o mecánicos. Se debe evitar el uso de herbicidas de amplio espectro que puedan afectar el establecimiento de los esquejes.
2. Construcción de drenajes: En zonas de alta precipitación, es indispensable construir drenajes principales de 0.60-0.80 m de ancho por 1 m de profundidad para evacuar el exceso de agua lluvia (Mondol et al., 2025). Los drenajes secundarios deben conectarse a los drenajes principales, formando una red eficiente de evacuación de agua.
3. Trazado y estaquillado: Marcación de las posiciones de las plantas según el sistema de siembra seleccionado. Se utilizan estacas para marcar cada punto de siembra.
4. Apertura de hoyos: Los hoyos de siembra deben tener dimensiones de 40 x 40 x 40 cm. En suelos compactados o poco profundos, se recomienda aumentar el tamaño de los hoyos a 60 x 60 x 60 cm.

5. Incorporación de materia orgánica: Cada hoyo debe llenarse con una mezcla de tierra superficial, abono orgánico bien descompuesto (5-10 kg) y fertilizante de arranque (50-100 g de fórmula completa NPK). Esta mezcla proporciona los nutrientes necesarios para el establecimiento inicial de las plantas.

2.4 Manejo agronómico

El manejo agronómico del cultivo de pitahaya incluye un conjunto de prácticas culturales que deben realizarse de manera oportuna y adecuada para optimizar el crecimiento, la producción y la calidad del fruto.

Tutorado: El tutorado es una práctica esencial en el cultivo de pitahaya, ya que la planta es una cactácea trepadora que requiere soporte para su crecimiento vertical. Existen dos tipos principales de tutores:

1. Tutores inertes: Postes de madera, cemento o metal. Los postes de cemento son los más duraderos (vida útil >20 años) pero tienen un costo inicial elevado. Los postes de madera tratada son más económicos pero tienen menor durabilidad (5-10 años). La altura recomendada de los tutores es de 1.8 a 2.0 metros sobre el nivel del suelo (INIAP, 2020).
2. Tutores vivos: Árboles o arbustos que sirven como soporte para las plantas de pitahaya. Las especies más utilizadas en Ecuador son el porotillo (*Erythrina* spp.) y el hobo (*Spondias mombin* L.; INIAP, 2020). Los tutores vivos presentan múltiples ventajas: menor costo de establecimiento, aporte de biomasa al suelo, provisión de sombra regulada, mejora de la biodiversidad y generación de ingresos complementarios (madera, forraje, frutos; INIAP, 2020), (Valero et al., 2025).

Los tutores deben instalarse antes o al momento del trasplante de los esquejes. En el caso de tutores vivos, se recomienda establecerlos con 6-12 meses de anticipación para permitir su desarrollo antes de la siembra de la pitahaya. La planta de pitahaya es susceptible al daño por vientos fuertes, por lo que los tutores deben orientarse en la dirección predominante del viento para minimizar la resistencia y reducir el riesgo de volcamiento (Lim et al., 2025).

Podas: Las podas son prácticas culturales fundamentales para formar la estructura de la planta, mantener su productividad y controlar problemas fitosanitarios. Se distinguen tres tipos de podas:

1. Poda de formación: Se realiza aproximadamente dos meses después del trasplante, cuando la planta ha alcanzado una altura de 60 cm (Mondol et al., 2025). El objetivo es eliminar todos los brotes laterales que se desarrollan por debajo de los 60 cm de altura, dejando un solo tallo principal que crecerá hasta alcanzar la cima del tutor. Una vez que el tallo principal sobrepasa el tutor, se despunta (corta la punta) para inducir el crecimiento de ramas laterales que colgarán hacia abajo. Se seleccionan 1-2 ramas principales que formarán la estructura productiva de la planta (Mondol et al., 2025).
2. Poda de mantenimiento: Se realiza periódicamente (cada 6-12 meses) para eliminar ramas y ramillas improductivas, entrecruzadas o que interfieren con las labores culturales (Wang et al., 2024). Esta poda mejora la circulación de aire dentro de la planta, reduce el sombreado mutuo de las ramas, facilita la penetración de luz solar y alivia el peso sobre los tutores (Wang et al., 2024). También se eliminan ramas viejas que han completado su ciclo productivo, estimulando el crecimiento de nuevas ramas productivas.
3. Poda sanitaria: Se realiza después de cada cosecha o cuando se detectan problemas fitosanitarios (Wang et al., 2024). El objetivo es eliminar tallos que se arrastran por el suelo (que son más susceptibles a enfermedades), tallos enfermos, dañados o con síntomas de plagas. El material de poda debe retirarse de la plantación y enterrarse o quemarse para evitar la diseminación de patógenos (Wang et al., 2024). Las herramientas de poda (tijeras, machetes, serruchos) deben desinfectarse entre plantas con una solución de hipoclorito de sodio al 10% o alcohol al 70% para prevenir la transmisión de enfermedades (Wang et al., 2024). Las heridas de poda deben tratarse con pasta cicatrizante (por ejemplo, pasta bordelesa) para acelerar la cicatrización y prevenir infecciones.

Fertilización: La fertilización es un componente crítico del manejo agronómico que determina el crecimiento, la producción y la calidad del fruto. Un programa de fertilización adecuado debe basarse en el análisis

químico del suelo y el análisis foliar, que permiten determinar las necesidades nutricionales específicas del cultivo (Wang et al., 2024).

Los requerimientos nutricionales de la pitahaya varían según la etapa fenológica:

1. Etapa vegetativa inicial (0-12 meses): Durante esta etapa, la planta requiere una alta proporción de nitrógeno (N) para favorecer el crecimiento de raíces, tallos y hojas (Mondol et al., 2025). Se recomienda aplicar fertilizantes con fórmulas ricas en nitrógeno (por ejemplo, 20-10-10 o 18-6-12) en dosis de 50-100 g por planta cada 2-3 meses.
2. Período reproductivo (floración y fructificación): Durante esta etapa, la planta requiere mayor cantidad de fósforo (P) y magnesio (Mg) para aumentar la síntesis de azúcares y mejorar la calidad del fruto (Mondol et al., 2025). Se recomienda aplicar fertilizantes con fórmulas balanceadas (por ejemplo, 15-15-15 o 12-12-17-2) en dosis de 100-200 g por planta cada 2-3 meses.
3. Cuajado y desarrollo del fruto: Durante esta etapa, la planta requiere mayor cantidad de potasio (K) para aumentar el tamaño del fruto, mejorar el sabor y prolongar la vida postcosecha (Mondol et al., 2025). Se recomienda aplicar fertilizantes ricos en potasio (por ejemplo, 10-10-30 o sulfato de potasio) en dosis de 100-150 g por planta cada 2-3 meses. Además de la fertilización química, se recomienda aplicar 5-10 kg de abono orgánico bien descompuesto por planta anualmente, fraccionado en 3-4 aplicaciones (Mondol et al., 2025). El abono orgánico mejora la estructura del suelo, aumenta la retención de agua y nutrientes, estimula la actividad biológica y proporciona nutrientes de liberación lenta. La fertilización debe realizarse en la corona de la planta (zona de proyección de las ramas), incorporando el fertilizante al suelo mediante un rastrillado superficial. Se debe evitar aplicar fertilizante en contacto directo con el tallo para prevenir quemaduras.

Control de malezas: El control de malezas es necesario para reducir la competencia por agua, nutrientes y luz, y para facilitar las labores culturales. Se recomienda realizar deshierbas cada 45 días durante el primer año de establecimiento, y cada 60-90 días en plantaciones establecidas (Mondol et al., 2025). El control de malezas puede realizarse mediante métodos manuales (machete, azadón), mecánicos

(desbrozadora) o químicos (herbicidas). El uso de herbicidas debe realizarse bajo recomendación técnica, seleccionando productos de baja toxicidad y aplicándolos de manera dirigida para evitar daños a las plantas de pitahaya.

Una alternativa sostenible es el establecimiento de cultivos de cobertura (por ejemplo, leguminosas como *Arachis pinto*i, *Desmodium* spp.) que reducen el crecimiento de malezas, conservan la humedad del suelo, aportan nitrógeno mediante fijación biológica y protegen el suelo de la erosión (Mondol et al., 2025).

Riego: Aunque la pitahaya puede cultivarse en condiciones de secano en zonas con precipitaciones adecuadas y bien distribuidas, el riego suplementario es recomendable para garantizar el suministro de agua durante períodos secos y maximizar el rendimiento. Los sistemas de riego más utilizados en pitahaya son el riego por goteo y el riego por aspersión. El riego por goteo es el más eficiente, permitiendo aplicar agua directamente a la zona radicular, reduciendo las pérdidas por evaporación y minimizando el riesgo de enfermedades foliares. Las necesidades hídricas de la pitahaya varían según la etapa fenológica, las condiciones climáticas y las características del suelo. En general, se recomienda mantener la humedad del suelo entre el 70% y 80% de la capacidad de campo durante las etapas de crecimiento vegetativo, floración y desarrollo de frutos. Durante el período de inducción floral, se puede aplicar un estrés hídrico moderado (reducción del riego durante 2-4 semanas) para estimular la diferenciación de yemas florales.

Fenología y manejo estacional: La fenología de la pitahaya en Ecuador presenta un patrón estacional influenciado por el fotoperíodo, la temperatura y la precipitación (Valero et al., 2025), (Luu et al., 2021):

Febrero-abril: Emisión de nuevos brotes vegetativos al final del invierno;
Mayo-noviembre: Floración en ondas cuando los días son más largos que las noches y las temperaturas superan los 18°C. Se presentan de 4 a 7 ciclos de floración en este período; Mayo-septiembre: Período principal de cosecha; Junio-agosto: Período de menor precipitación (veranillo) que induce la floración. El desarrollo del fruto desde la floración hasta la maduración toma aproximadamente 125 días, con variaciones estacionales: 13-14 semanas en verano y 20-22 semanas en invierno (Valero et al., 2025), (INIAP, 2020).

2.5 Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)

Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) son un conjunto de principios, normas y recomendaciones técnicas aplicables a la producción, procesamiento y transporte de alimentos, orientadas a garantizar la inocuidad alimentaria, la protección del medio ambiente, la salud y el bienestar de los trabajadores, y la sostenibilidad económica de la actividad agrícola (Moran Suárez, 2024).

Certificaciones: Las principales certificaciones de BPA requeridas para la exportación de pitahaya ecuatoriana son:

1. GlobalG.A.P. (Good Agricultural Practices): Certificación internacional reconocida por los principales mercados de exportación (Estados Unidos, Europa, Asia). Establece estándares para la inocuidad alimentaria, trazabilidad, manejo integrado de plagas, uso responsable de agroquímicos, gestión del agua, bienestar laboral y protección ambiental (Moran Suárez, 2024).
2. BPA Ecuador: Certificación nacional establecida por la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario (AGROCALIDAD). Establece requisitos similares a GlobalG.A.P., adaptados a las condiciones y regulaciones ecuatorianas.

Trazabilidad e inocuidad: La trazabilidad es la capacidad de seguir el movimiento de un alimento a través de todas las etapas de producción, procesamiento y distribución (Moran Suárez, 2024). Los productores certificados deben implementar sistemas de registro que documenten:

Origen del material vegetal (plantas madre, viveros); Aplicaciones de fertilizantes (fecha, producto, dosis, responsable); Aplicaciones de plaguicidas (fecha, producto, dosis, plaga objetivo, responsable, período de carencia); Actividades de riego, poda, deshierba y otras labores culturales; Cosecha (fecha, cantidad, lote, destino); Análisis de residuos de plaguicidas y contaminantes. La inocuidad alimentaria requiere el cumplimiento de límites máximos de residuos (LMR) de plaguicidas establecidos por los mercados de destino, la ausencia de contaminantes microbiológicos (E. coli, Salmonella, mohos, levaduras) y la implementación de protocolos de higiene en todas las etapas de la cadena productiva (Moran Suárez, 2024).

Sistemas agroforestales: Los sistemas agroforestales (SAF) representan una alternativa sostenible para la producción de pitahaya, integrando árboles, arbustos y cultivos en un mismo espacio productivo (Moran Suárez, 2024), (Moran Suárez, 2024). Los SAF con tutores vivos (*Gliricidia sepium*, *Erythrina* spp.) presentan múltiples beneficios ambientales y económicos: Mayor biodiversidad edáfica: Los SAF presentan una mayor abundancia de lombrices (117 y 103 lombrices/m²) comparado con monocultivos, lo que indica una mejor salud del suelo (Moran Suárez, 2024). La abundancia y biomasa de lombrices se incrementa un 56% durante la época de máxima precipitación (Moran Suárez, 2024); Mejora de la fertilidad del suelo: Los tutores vivos aportan biomasa al suelo mediante la caída de hojas y ramas, que se descomponen y liberan nutrientes. Las leguminosas como *Gliricidia* y *Erythrina* fijan nitrógeno atmosférico, reduciendo la necesidad de fertilizantes nitrogenados; Regulación del microclima: Los árboles de sombra reducen la temperatura del aire y del suelo, aumentan la humedad relativa y protegen las plantas de pitahaya del estrés térmico y las quemaduras solares; Reducción de la incidencia de plagas y enfermedades: La mayor biodiversidad en los SAF favorece la presencia de enemigos naturales de las plagas y reduce la presión de enfermedades; Generación de ingresos complementarios: Los tutores vivos pueden proporcionar productos adicionales como madera, forraje, leña y frutos; Mejores indicadores económicos: Los SAF con tutores vivos presentan un VAN, TIR y relación B/C superiores a los monocultivos con tutores inertes (Moran Suárez, 2024).

2.6 Cosecha y manejo en campo

La cosecha es una etapa crítica que determina la calidad final del fruto y su vida postcosecha. La pitahaya es un fruto no climatérico, lo que significa que no continúa madurando después de la cosecha (Mondol et al., 2025). Por lo tanto, el momento de cosecha debe determinarse cuidadosamente para garantizar que el fruto alcance su máxima calidad organoléptica.

Índices de madurez: El momento óptimo de cosecha se determina principalmente por el tamaño y el color externo del fruto (Mondol et al., 2025). En la pitahaya amarilla, el cambio de color de verde a amarillo es el indicador más confiable de madurez. Se han establecido diferentes estados de maduración según el porcentaje de color amarillo en la superficie del fruto:

Estado 1: 0-25% de color amarillo (fruto inmaduro); Estado 2: 25-50% de color amarillo (fruto en maduración); Estado 3: 50-75% de color amarillo (fruto en maduración avanzada); Estado 4: 75-90% de color amarillo (fruto maduro, óptimo para exportación; Mondol et al., 2025); Estado 5: 90-100% de color amarillo (fruto completamente maduro, óptimo para mercado nacional; Mondol et al., 2025); Estado 6: 100% de color amarillo con inicio de ablandamiento (fruto sobremaduro, para consumo inmediato; Mondol et al., 2025). Para exportación, se recomienda cosechar en el estado 4, cuando el fruto ha alcanzado su máximo contenido de azúcares pero mantiene buena firmeza y vida postcosecha. Para el mercado nacional, se puede cosechar en los estados 5 o 6, cuando el fruto presenta su máximo sabor y aroma.

Tiempo de desarrollo del fruto: El desarrollo del fruto desde la floración hasta la maduración completa toma aproximadamente 125 días (INIAP, 2020). Este período varía según la época del año: 13-14 semanas (91-98 días) durante el verano, cuando las temperaturas son más altas y la radiación solar es mayor, y 20-22 semanas (140-154 días) durante el invierno, cuando las temperaturas son más bajas y la radiación solar es menor (Valero et al., 2025).

Procedimiento de cosecha: La cosecha debe realizarse en las horas más frescas del día (temprano en la mañana, entre 8:00 y 11:00, o al final de la tarde, después de las 15:00) para evitar la deshidratación del fruto y mantener su turgencia (Mondol et al., 2025). Se deben utilizar guantes, botas y ropa protectora para evitar lesiones por las espinas de los frutos inmaduros y por las plantas (Mondol et al., 2025). Los materiales de cosecha (cepillos, gavetas plásticas, tijeras) deben estar limpios y desinfectados para prevenir la contaminación microbiológica (Mondol et al., 2025). Las gavetas plásticas deben forrarse con esponjas o material acolchado para proteger los frutos de daños mecánicos durante el transporte desde el campo hasta el centro de acopio. El fruto debe cortarse con un pedúnculo (tallo) de 15-20 mm de longitud (Mondol et al., 2025). El corte debe realizarse con tijeras de podar limpias y afiladas, evitando desgarros o daños en el fruto o en la planta. Los frutos deben manipularse con cuidado para evitar golpes, compresiones o raspaduras que puedan afectar su calidad y vida postcosecha.

Desespinado: El desespinado es el proceso de eliminación de las pequeñas espinas que cubren la superficie del fruto. Este proceso debe realizarse de manera manual y delicada para evitar daños mecánicos que permitan la entrada de microorganismos (Mondol et al., 2025). Se utilizan cepillos de cerdas suaves o guantes de tela para frotar suavemente la superficie del fruto y desprender las espinas. En frutos en estado de madurez 4 o superior, las espinas se desprenden fácilmente con un cepillado suave. En frutos menos maduros, las espinas están más adheridas y requieren mayor cuidado para evitar dañar la piel.

Transporte desde el campo: El transporte desde el campo hasta el centro de acopio debe realizarse en recipientes adecuados (gavetas plásticas de 0.6 x 0.4 x 0.5 m) con protección acolchada, empacando un máximo de 13 kg de fruta por gaveta para evitar golpes y compresiones (Valero et al., 2025). Los vehículos de transporte deben tener cubierta para proteger los frutos del sol, la lluvia y los insectos (Valero et al., 2025). El tiempo entre la cosecha y el inicio del procesamiento postcosecha debe minimizarse para reducir la pérdida de turgencia y calidad. Si la cosecha se retrasa o el fruto permanece expuesto a condiciones ambientales adversas, la turgencia disminuye rápidamente y el fruto se vuelve más sensible a daños mecánicos y enfermedades (Mondol et al., 2025).

Tema 3

Atrópodos plagas en el cultivo de pitahaya

El manejo integrado de plagas (MIP) es un componente esencial de la producción sostenible de pitahaya en Ecuador. El MIP se basa en la combinación de métodos culturales, biológicos, físicos y químicos para mantener las poblaciones de plagas por debajo de los umbrales económicos de daño, minimizando el impacto ambiental y garantizando la inocuidad del producto final. En el contexto de la pitahaya ecuatoriana, donde una proporción significativa de la producción se destina a mercados de exportación con estrictas regulaciones sobre residuos de plaguicidas, la implementación de estrategias de MIP es fundamental para mantener la competitividad y el acceso a mercados internacionales (Mondol et al., 2025), (Mondol et al., 2025).

3.1 Ácaros (Acari: Tetranychidae y Eriophyidae)

Los ácaros fitófagos constituyen una de las plagas más importantes en el cultivo de pitahaya, especialmente en condiciones de sequía, alta temperatura y baja humedad relativa. Las familias Tetranychidae (arañitas rojas) y Eriophyidae (ácaros eriófidos) son las más frecuentemente reportadas en cultivos de pitahaya en Ecuador y otros países productores (Mondol et al., 2025), (Mondol et al., 2025).

Especies principales: *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Tetranychidae), conocida como araña roja o arañita de dos manchas, es la especie más común y dañina en pitahaya (Mondol et al., 2025). Los adultos miden aproximadamente 0.5 mm de longitud, presentan coloración variable (verde, amarillo, rojo) según la alimentación y la época del año, y poseen dos manchas oscuras características en el dorso del cuerpo. Las hembras son más grandes que los machos y presentan mayor longevidad.

Los ácaros eriófidos (Eriophyidae) son de menor tamaño (<0.2 mm) y solo pueden observarse con lupa o microscopio. Presentan cuerpo alargado, vermiforme, con solo dos pares de patas en la parte anterior del cuerpo (Mondol et al., 2025).

Mecanismo de daño: Los ácaros se alimentan perforando las células epidérmicas de los cladodios, estípulas y botones florales con sus estiletes bucales y succionando el contenido celular (Mondol et al., 2025), (Mondol et al., 2025). Esta alimentación causa la destrucción de los cloroplastos y la pérdida de clorofila, resultando en un bronceado característico de los tejidos afectados. En infestaciones severas, los cladodios adquieren una

coloración gris-plateada o bronceada, se desecan y pueden morir. El daño en botones florales puede causar su aborto, reduciendo significativamente la producción. Los ácaros también producen telarañas finas que cubren los tejidos afectados, dificultando la fotosíntesis y favoreciendo la acumulación de polvo y esporas de hongos.

Condiciones favorables: Las poblaciones de ácaros se desarrollan rápidamente en condiciones de sequía, temperaturas altas (25-35°C), baja humedad relativa (<60%) y presencia de polvo (Mondol et al., 2025). Los monocultivos densos con poca circulación de aire también favorecen el desarrollo de ácaros. Las lluvias intensas y la alta humedad relativa reducen las poblaciones de ácaros al dificultar su reproducción y favorecer el desarrollo de hongos entomopatógenos.

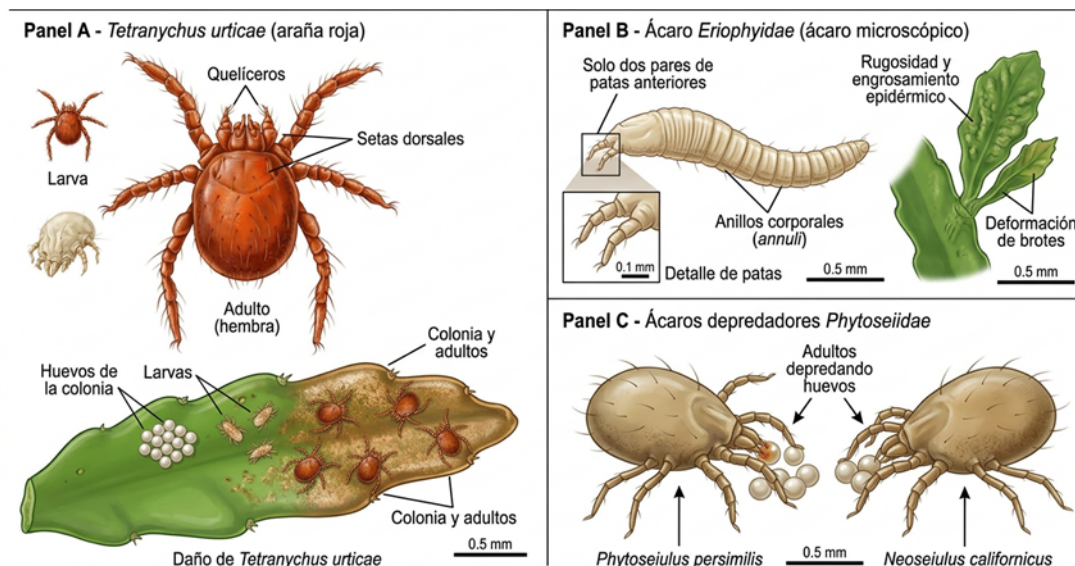
Manejo Integrado de Plagas (MIP):

Control cultural: Mantener adecuada humedad del suelo mediante riego regular; Evitar el estrés hídrico de las plantas; Reducir el polvo mediante riego por aspersión o lavado de plantas; Eliminar malezas hospederas de ácaros; Implementar sistemas agroforestales que aumenten la humedad relativa.

Control biológico: Conservación y liberación de ácaros depredadores de la familia Phytoseiidae, especialmente *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot y *Neoseiulus californicus* (McGregor; Mondol et al., 2025). Estos depredadores son altamente eficientes en el control de *T. urticae*, alimentándose de todos los estados de desarrollo (huevos, larvas, ninfas, adultos); Evitar el uso de insecticidas de amplio espectro que afectan a los enemigos naturales.

Control químico: Azufre mojable (2-3 g/L): acaricida de contacto con acción preventiva y curativa. Efectivo contra tetránquidos y eriófidos; Abamectina (0.5-1 mL/L): acaricida-insecticida de origen biológico (avermectinas) con acción translaminar. Efectivo contra ácaros, trips y minadores; Aceite de neem (2-3 mL/L): acaricida-insecticida de origen botánico con acción repelente, antialimentaria y reguladora del crecimiento; Rotación de productos con diferentes modos de acción para prevenir el desarrollo de

resistencia; Aplicaciones dirigidas a los focos de infestación, evitando aplicaciones preventivas innecesarias.



Ácaros fitófagos (*Tetranychidae* y *Eriophyidae*) y depredadores (*Phytoseiidae*) asociados al cultivo de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). **Panel A:** *Tetranychus urticae* Koch (araña roja): morfología dorsal del adulto hembra y colonia sobre cladodio con daño tipo bronceado. **Panel B:** Ácaro *Eriophyidae*: morfología vermiforme con anillos corporales (annuli) y síntomas de rugosidad, engrosamiento epidérmico y deformación de brotes en cladodio. **Panel C:** Ácaros depredadores de la familia *Phytoseiidae*: *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot y *Neoseiulus californicus* (McGregor). Barras de escala: 0.5 mm (Panels A y C); 0.1 mm (Panel B, detalle de patas).

Figura 1: Daño característico de ácaros en cladodios de pitahaya, mostrando bronceado y decoloración de tejidos. Detalle microscópico de *Tetranychus urticae* adulto y telaraña característica.

3.2 Trips (Thysanoptera: Thripidae)

Los trips son insectos pequeños (1-2 mm de longitud) de cuerpo alargado y estrecho, con alas plumosas características. Son plagas importantes en el cultivo de pitahaya, causando daños directos en flores y frutos, y actuando como vectores de virus fitopatógenos (Valero et al., 2025).

Especies principales: *Frankliniella occidentalis* (Pergande, 1895), conocido como trips occidental de las flores, es la especie más común en cultivos de pitahaya en Ecuador (Valero et al., 2025). Los adultos presentan coloración

variable (amarillo, marrón, negro) y miden aproximadamente 1.5 mm de longitud. Las hembras son ligeramente más grandes que los machos.

Thrips tabaci Lindeman, 1888, conocido como trips de la cebolla, también se reporta en pitahaya, aunque con menor frecuencia que *F. occidentalis* (Mondol et al., 2025).

Mecanismo de daño: Los trips se alimentan raspando la superficie de los tejidos vegetales con sus mandíbulas y succionando el contenido celular que fluye de las células dañadas (Valero et al., 2025). Este tipo de alimentación causa cicatrices corchosas en la epidermis de flores y frutos, afectando severamente la calidad comercial del producto. En flores, los trips se alimentan de pétalos, estambres y pistilos, causando deformaciones, aborto floral y reducción del cuajado de frutos. En frutos jóvenes, la alimentación de trips causa cicatrices superficiales de color marrón o gris que persisten hasta la madurez, depreciando el valor comercial del fruto. En infestaciones severas, los frutos pueden presentar deformaciones y rajaduras.

Transmisión de virus: Los trips son vectores eficientes del virus del bronceado del tomate (TSWV, Tomato Spotted Wilt Virus) y otros tospovirus que afectan a una amplia gama de cultivos (Valero et al., 2025). Aunque no se han reportado infecciones virales transmitidas por trips en pitahaya en Ecuador, el riesgo existe y debe considerarse en el manejo de esta plaga.

Condiciones favorables: Las poblaciones de trips se desarrollan rápidamente en condiciones de temperaturas cálidas (20-30°C), baja humedad relativa y presencia abundante de flores. Los trips prefieren flores de colores claros (blanco, amarillo, azul) y son atraídos por compuestos volátiles florales.

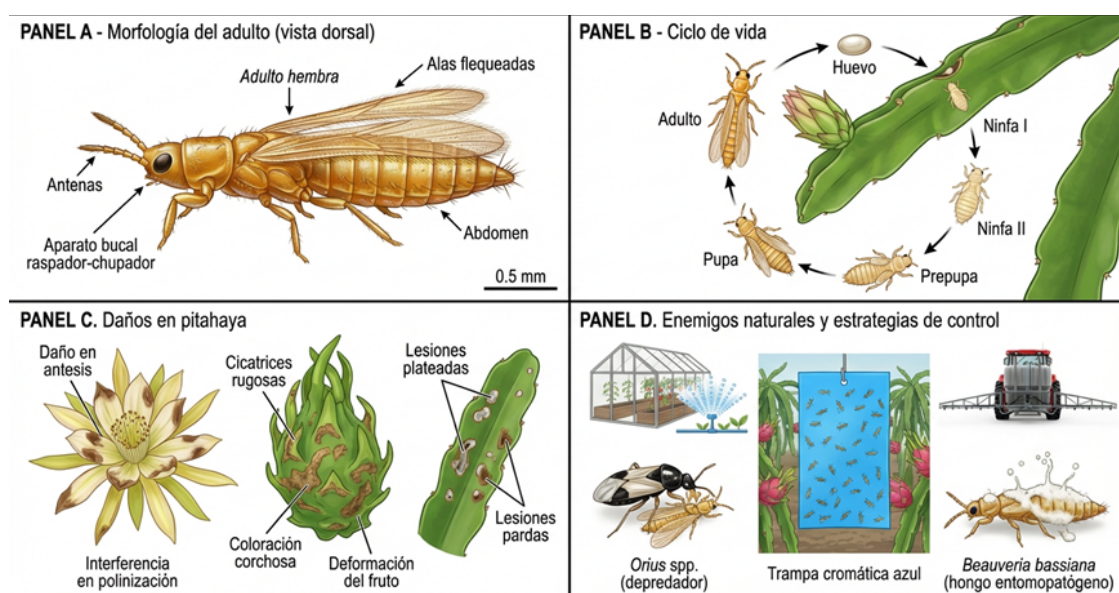
Manejo Integrado de Plagas (MIP):

Monitoreo: Trampas adhesivas azules (los trips son atraídos por el color azul) colocadas a la altura de las flores para monitorear poblaciones y determinar el momento de intervención; Inspección visual regular de flores y frutos jóvenes.

Control cultural: Eliminación de malezas hospederas de trips; Manejo adecuado de residuos de cosecha; Riego por aspersión para aumentar la humedad relativa y reducir las poblaciones de trips.

Control biológico: Conservación de depredadores naturales como chinches depredadores del género *Orius* (Anthocoridae), que se alimentan de trips en todos sus estados de desarrollo; Hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* pueden infectar y matar trips.

Control químico: Spinosad (0.5-1 mL/L): insecticida de origen biológico (fermentación de *Saccharopolyspora spinosa*) con acción por contacto e ingestión. Efectivo contra trips, lepidópteros y dípteros; Extractos botánicos de ajo, ají, neem con acción repelente y antialimentaria; Rotación de productos con diferentes modos de acción para prevenir resistencia.



Trips (Thysanoptera: Thripidae) asociados al cultivo de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). **Panel A:** Morfología del adulto hembra de *Frankliniella occidentalis* Pergande (vista dorsal): alas flequeadas, antenas, aparato bucal raspador-chupador y abdomen; barra de escala: 0.5 mm. **Panel B:** Ciclo de vida sobre cladodio de pitahaya: huevo, ninfa I, ninfa II, prepupa, pupa y adulto. **Panel C:** Daños característicos en la planta: interferencia en polinización y daño en antesis (flor), cicatrices rugosas, coloración corchosa y deformación del fruto (fruto joven), lesiones plateadas y pardas (cladodio). **Panel D:** Estrategias de manejo integrado: *Orius* spp. (Hemiptera: Anthocoridae) como depredador natural, trampa cromática azul para monitoreo

poblacional y *Beauveria bassiana* Balsamo-Crivelli como agente de control biológico (hongo entomopatógeno).

Figura 2: Daño de trips en frutos de pitahaya, mostrando cicatrices corchosas características en la epidermis.

3.3 Cochinillas y escamas (Hemiptera: Pseudococcidae y Diaspididae)

Las cochinillas y escamas son insectos hemípteros de la superfamilia Coccoidea que se alimentan succionando savia de los tejidos vegetales. Son plagas importantes en pitahaya, causando debilitamiento de las plantas, reducción del crecimiento y la producción, y depreciación de la calidad del fruto (Romero, 2025).

Especies principales: *Planococcus citri* (Risso, 1813), conocida como cochinilla harinosa de los cítricos, es la especie más común en pitahaya (Romero, 2025). Las hembras adultas miden 3-5 mm de longitud, presentan cuerpo ovalado cubierto por una secreción cerosa blanca pulverulenta que les da apariencia harinosa. Los machos son alados, más pequeños y menos frecuentes.

Dysmicoccus brevipes (Cockerell, 1893), conocida como cochinilla rosada de la piña, también se reporta en pitahaya (Romero, 2025). Presenta características similares a *P. citri* pero con coloración ligeramente rosada bajo la cera. Las escamas (Diaspididae) son menos frecuentes en pitahaya pero pueden causar daños significativos cuando están presentes. Presentan un escudo protector duro que cubre el cuerpo del insecto, dificultando su control.

Mecanismo de daño: Las cochinillas y escamas se alimentan insertando sus estiletes bucales en los tejidos vegetales y succionando savia (Romero, 2025). Esta alimentación causa debilitamiento de las plantas, clorosis, deformación de cladodios y reducción del crecimiento. En infestaciones severas, pueden causar la muerte de ramas o plantas completas. Las cochinillas excretan grandes cantidades de mielecilla (líquido azucarado rico en carbohidratos), que se acumula sobre la superficie de los cladodios y frutos. La mielecilla favorece el desarrollo de fumagina (*Capnodium* spp.), un hongo saprofita de color negro que cubre la superficie de los tejidos,

reduciendo la fotosíntesis y depreciando la calidad comercial del fruto (Romero, 2025). Las cochinillas también pueden transmitir virus fitopatógenos, aunque este aspecto no ha sido bien documentado en pitahaya.

Condiciones favorables: Las poblaciones de cochinillas se desarrollan rápidamente en condiciones de temperaturas cálidas, baja humedad relativa, exceso de nitrógeno y presencia de hormigas. Las hormigas protegen a las cochinillas de sus enemigos naturales y las transportan a nuevas áreas de alimentación, estableciendo una relación mutualista.

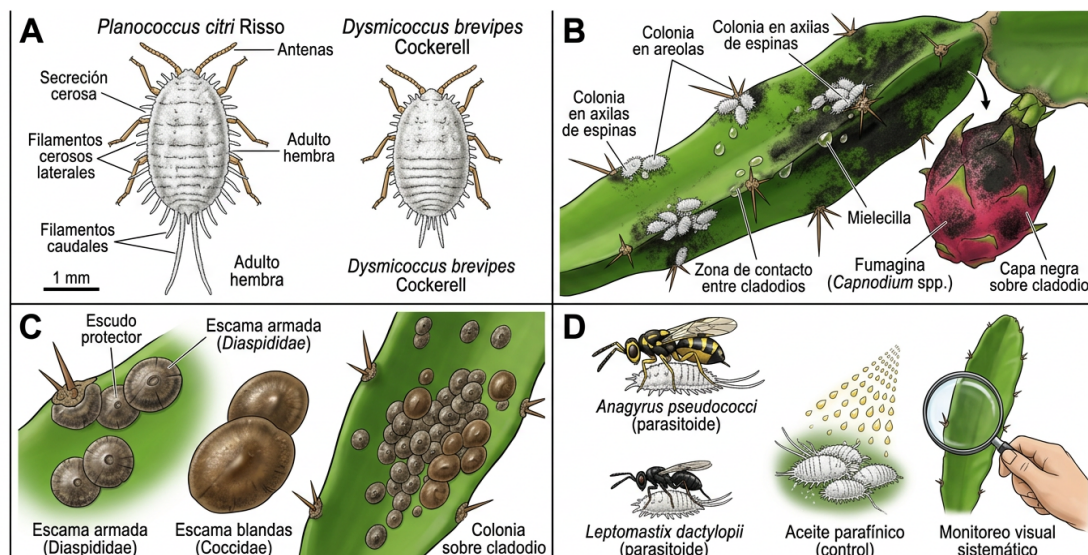
Manejo Integrado de Plagas (MIP):

Control cultural: Poda sanitaria para eliminar ramas infestadas; Fertilización balanceada, evitando exceso de nitrógeno; Control de hormigas mediante barreras físicas o cebos.

Control biológico: Conservación y liberación de depredadores naturales, especialmente el escarabajo *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coccinellidae), conocido como "mariquita de las cochinillas", que se alimenta vorazmente de cochinillas en todos sus estados de desarrollo; Parasitoides de las familias Encyrtidae y Aphelinidae que parasitan cochinillas; Hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Lecanicillium lecanii*.

Control químico: Aceite mineral (1-2% v/v): insecticida de contacto que actúa por asfixia, cubriendo el cuerpo de las cochinillas con una película oleosa que obstruye sus espiráculos respiratorios; Clorpirifos (1-2 mL/L): insecticida organofosforado de amplio espectro con acción por contacto e ingestión. Debe usarse con precaución debido a su toxicidad para enemigos naturales y su largo período de carencia; Jabón potásico (1-2%

v/v): insecticida de origen natural con acción por contacto, disolviendo la capa cerosa que protege a las cochinillas.



Cochinillas y escamas (Hemiptera: Pseudococcidae y Diaspididae) asociadas al cultivo de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). **Panel A:** Morfología del adulto hembra de *Planococcus citri* Risso (cochinilla harinosa de los cítricos) y *Dysmicoccus brevipes* Cockerell (cochinilla de la piña): secreción cerosa, filamentos cerosos laterales y caudales, y antenas; barra de escala: 1 mm. **Panel B:** Daños característicos en cladodio y fruto: colonias establecidas en areolas y axilas de espinas, producción de mielecilla y desarrollo de fumagina (*Capnodium* spp.) con capa negra sobre la superficie vegetal. **Panel C:** Escamas armadas (*Diaspididae*) con escudo protector y escamas blandas (*Coccidae*) en colonia sobre cladodio. **Panel D:** Estrategias de manejo integrado: *Anagyrus pseudococci* Girault y *Leptomastix dactylopii* Howard (Hymenoptera: Encyrtidae) como parasitoides naturales, aplicación de aceite parafínico emulsionable y monitoreo visual sistemático.

Figura 3: Infestación de cochinillas harinosas (*Planococcus citri*) en cladodios de pitahaya, mostrando acumulación de mielecilla y desarrollo de fumagina. Detalle de adultos y ninfas.

3.4 Pulgones (Hemiptera: Aphididae)

Los pulgones o áfidos son insectos pequeños (1-3 mm) de cuerpo blando, con o sin alas, que se alimentan succionando savia del floema de las plantas. Aunque no son las plagas más importantes en pitahaya, pueden causar daños significativos en brotes tiernos y actuar como vectores de virus fitopatógenos (Romero, 2025).

Especies principales: *Aphis gossypii* Glover, 1877, conocido como pulgón del algodón o pulgón del melón, es la especie más común en pitahaya (Romero, 2025). Los adultos ápteros (sin alas) miden 1-2 mm, presentan coloración variable (verde, amarillo, negro) y poseen cornículos (sifones) prominentes en el abdomen. Los adultos alados son ligeramente más grandes y presentan alas transparentes.

Myzus persicae (Sulzer, 1776), conocido como pulgón verde del duraznero, también se reporta ocasionalmente en pitahaya (Romero, 2025). Presenta características similares a *A. gossypii* pero con coloración predominantemente verde.

Mecanismo de daño: Los pulgones se alimentan insertando sus estiletes bucales en el floema y succionando savia rica en azúcares y aminoácidos (Romero, 2025). Esta alimentación causa debilitamiento de las plantas, deformación de brotes tiernos, enrollamiento de hojas y reducción del crecimiento. En infestaciones severas, pueden causar clorosis y muerte de brotes. Los pulgones excretan grandes cantidades de mielecilla, que favorece el desarrollo de fumagina, reduciendo la fotosíntesis y depreciando la calidad del fruto. La mielecilla también atrae hormigas, que protegen a los pulgones de sus enemigos naturales.

Capacidad vectorial de virus: Los pulgones son vectores eficientes de numerosos virus fitopatógenos, incluyendo potyvirus, cucumovirus y luteovirus (Romero, 2025). Aunque no se han reportado infecciones virales transmitidas por pulgones en pitahaya en Ecuador, el riesgo existe, especialmente en zonas donde se cultivan otras especies hospederas de virus (cucurbitáceas, solanáceas, leguminosas).

Asociación con hormigas: Los pulgones establecen relaciones mutualistas con hormigas, que se alimentan de la mielecilla excretada por los pulgones y, a cambio, los protegen de depredadores y parasitoides (Romero, 2025).

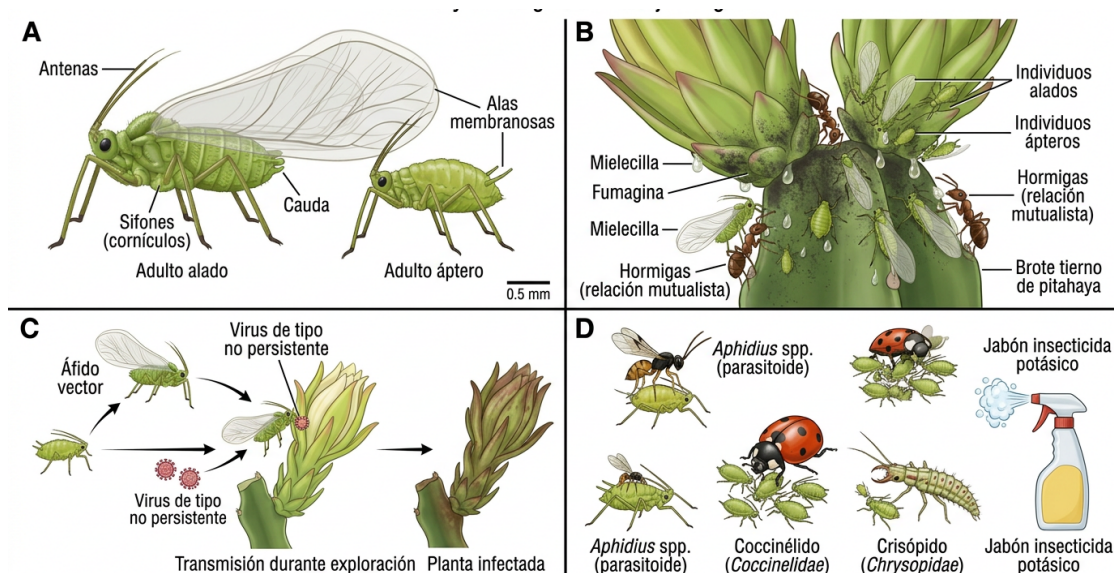
Esta asociación dificulta el control biológico natural de los pulgones y debe considerarse en las estrategias de MIP.

Manejo Integrado de Plagas (MIP):

Control cultural: Eliminación de malezas hospederas de pulgones; Poda de brotes infestados; Control de hormigas; Fertilización balanceada, evitando exceso de nitrógeno que favorece el crecimiento de tejidos suculentos preferidos por los pulgones.

Control biológico: Conservación de depredadores naturales, especialmente larvas de crisopas (*Chrysoperla carnea* Stephens) y mariquitas (Coccinellidae), que se alimentan vorazmente de pulgones; Parasitoides de la familia Braconidae (Aphidiinae) que parasitan pulgones, dejando "momias" características; Hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Lecanicillium lecanii*.

Control químico: Imidacloprid (0.3-0.5 mL/L): insecticida neonicotinoide sistémico con acción por contacto e ingestión. Efectivo contra pulgones, trips y moscas blancas; Pirimicarb (0.5-1 g/L): insecticida carbamato selectivo para pulgones, con baja toxicidad para enemigos naturales; Jabón potásico (1-2% v/v): insecticida de origen natural con acción por contacto; Extractos botánicos de ajo, ají, neem con acción repelente.



Pulgones (Hemiptera: Aphididae) asociados al cultivo de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). **Panel A:** Morfología del adulto alado y áptero: antenas, sifones (cornículos), cauda y alas membranosas; barra de escala: 0.5 mm. **Panel B:** Colonia establecida sobre

brote tierno de pitahaya: individuos alados y ápteros, relación mutualista con hormigas, producción de mielecilla y desarrollo de fumagina (*Capnodium* spp.). Panel C: Capacidad vectorial: secuencia de transmisión de virus de tipo no persistente por áfido alado durante visitas de exploración hacia planta infectada. **Panel D:** Estrategias de manejo integrado: *Aphidius* spp. Nees (Hymenoptera: Braconidae) como parasitoide, coccinélido (Coleoptera: Coccinellidae) y crisópido (Neuroptera: Chrysopidae) como depredadores naturales, y aplicación de jabón insecticida potásico como medida de control de bajo impacto ambiental.

Figura 4: Colonia de pulgones (*Aphis gossypii*) en brote tierno de pitahaya, mostrando adultos ápteros y alados, ninfas y presencia de hormigas. Detalle de mielecilla y fumagina.

3.5 Chinchas fitófagas (Hemiptera: Pentatomidae y Coreidae)

Las chinchas fitófagas son insectos hemípteros de tamaño mediano a grande (10-20 mm) que se alimentan succionando savia de tallos, botones florales y frutos. Son consideradas una de las plagas más importantes en el cultivo de pitahaya en Ecuador, causando daños directos significativos y facilitando la entrada de patógenos (Romero, 2025).

Especie principal: *Leptoglossus zonatus* (Dallas, 1852; Coreidae), conocida como chinche pata de hoja, es la especie más importante reportada en Ecuador (Romero, 2025). Los adultos miden 15-20 mm de longitud, presentan coloración marrón oscura con una banda transversal blanca en forma de "W" en el dorso del abdomen. Las patas posteriores presentan expansiones foliáceas características que dan nombre común a la especie.

Hospederos y comportamiento: *L. zonatus* es una especie polífaga que se alimenta de una amplia gama de plantas, con preferencia por leguminosas durante su floración y maduración de frutos (Romero, 2025). En pitahaya, las ninfas y adultos se alimentan de tallos, botones florales y frutos en desarrollo.

Mecanismo de daño: Las chinchas se alimentan insertando sus estiletes bucales en los tejidos vegetales y succionando savia (Romero, 2025). Durante la alimentación, inyectan saliva que contiene enzimas digestivas y toxinas que causan necrosis localizada de los tejidos. En tallos y ramas (pencas), la alimentación causa clorosis localizada, manchas necróticas y

debilitamiento de los tejidos. Las heridas de alimentación se manifiestan como pequeños puntos negros rodeados de un halo clorótico (Romero, 2025). En botones florales, la alimentación puede causar aborto floral, reduciendo significativamente la producción. En frutos en desarrollo, la alimentación causa deformaciones, manchas necróticas y reducción del crecimiento.

Daño secundario: Las heridas causadas por la alimentación de las chinches sirven como puntos de entrada para hongos y bacterias fitopatógenas, que pueden causar pudriciones y lesiones necróticas extensas (Romero, 2025). Las secreciones de las chinches atraen hormigas y escarabajos, que pueden causar daños adicionales.

Condiciones favorables: Las poblaciones de chinches aumentan durante la época de floración y fructificación de sus plantas hospederas preferidas (leguminosas). La presencia de malezas hospederas cerca de las plantaciones de pitahaya favorece el establecimiento y multiplicación de las chinches.

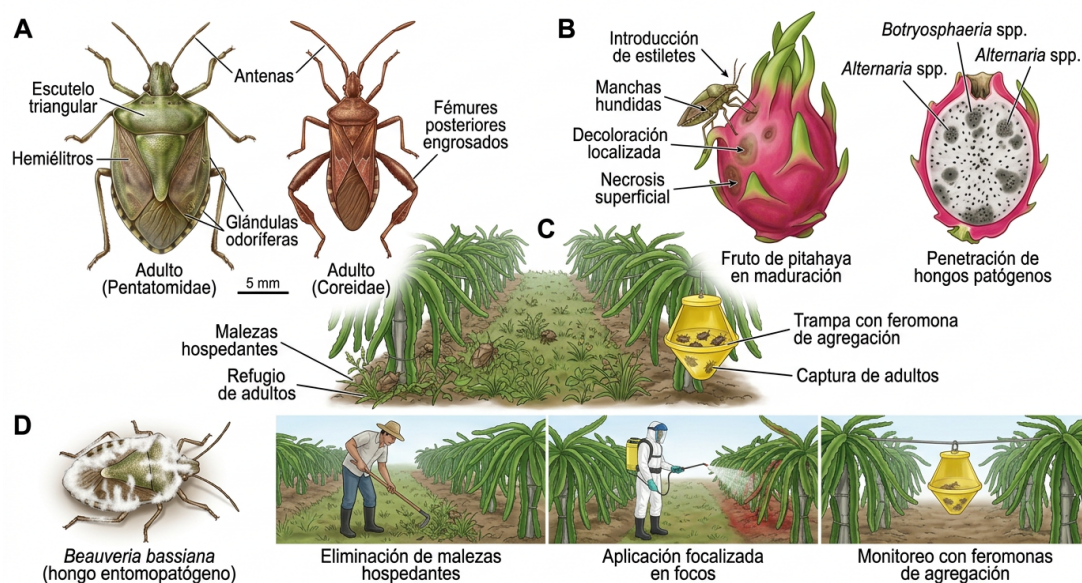
Manejo Integrado de Plagas (MIP):

Control cultural: Eliminación de malezas hospederas, especialmente leguminosas; Manejo adecuado de residuos de cosecha; Barreras físicas (mallas) para impedir la entrada de chinches a la plantación.

Monitoreo y trampeo: Trampas con atrayentes (feromonas, compuestos volátiles de plantas hospederas) para monitorear y capturar adultos; Inspección visual regular de plantas para detectar ninfas y adultos.

Control biológico: Conservación de enemigos naturales, incluyendo parasitoides de huevos (Scelionidae, Encyrtidae) y depredadores generalistas; Hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*.

Control químico: Insecticidas sistémicos (imidacloprid, thiamethoxam) aplicados al suelo o mediante inyección al tronco; Insecticidas de contacto (piretroides, organofosforados) aplicados directamente sobre las chinches; Aplicaciones dirigidas a focos de infestación, evitando aplicaciones preventivas innecesarias.



Chinches fitófagas (Hemiptera: Pentatomidae y Coreidae) asociadas al cultivo de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). **Panel A:** Morfología del adulto de Pentatomidae: escutelo triangular, hemiélitros, antenas y glándulas odoríferas; y adulto de Coreidae: fémures posteriores engrosados; barra de escala: 5 mm. **Panel B:** Daños característicos en fruto en estadio de maduración: introducción de estiletes, manchas hundidas, decoloración localizada, necrosis superficial y penetración de hongos fitopatógenos secundarios *Botryosphaeria* spp. y *Alternaria* spp. **Panel C:** Comportamiento y hábitat: adultos refugiados en malezas hospedantes en bordes de plantación y trampa con feromona de agregación para captura y monitoreo de adultos. **Panel D:** Estrategias de manejo integrado: *Beauveria bassiana* Balsamo-Crivelli (hongo entomopatógeno), eliminación de malezas hospedantes, aplicación focalizada de insecticidas en focos de infestación y monitoreo poblacional con feromonas de agregación.

Figura 5: Adulto de *Leptoglossus zonatus* alimentándose en cladodio de pitahaya. Detalle de daño característico: puntos negros rodeados de halo clorótico. Ninfas en diferentes estadios.

3.6 Barrenadores del tallo y cladodios (Coleoptera: Curculionidae y Cerambycidae)

Los barrenadores son larvas de coleópteros que se alimentan excavando galerías en el interior de los tallos y cladodios de la pitahaya. Causan daños severos al interrumpir el flujo de agua y nutrientes, debilitar estructuralmente las plantas y facilitar la entrada de patógenos (Romero, 2025).

Especies principales: *Cactophagus spinolae* (Gyllenhal, 1838; Curculionidae), conocido como picudo de las cactáceas, es una de las especies más importantes (Romero, 2025). Los adultos son gorgojos de 8-12 mm de longitud, coloración negra o marrón oscura, con rostro alargado característico de los curculionidos. Especies del género *Moneilema* (Cerambycidae), conocidos como escarabajos longicornios de las cactáceas, también se reportan en pitahaya (Romero, 2025). Los adultos son escarabajos robustos de 15-25 mm de longitud, coloración negra, con antenas largas características.

Ciclo de vida y comportamiento: Las hembras adultas ovipositan en la superficie de los cladodios, generalmente en la base de las estípulas o en heridas preexistentes. Las larvas eclosionan y penetran en el interior del cladodio, donde excavan galerías alimentándose del tejido parenquimático. El desarrollo larval dura varias semanas a meses, dependiendo de la especie y las condiciones ambientales. La pupación ocurre dentro de las galerías o en el suelo. Los adultos emergen, se alimentan de tejidos vegetales y se reproducen, completando el ciclo.

Mecanismo de daño: Las larvas excavan galerías extensas en el interior de los cladodios, destruyendo el tejido vascular y parenquimático (Romero, 2025). Este daño interrumpe el flujo de agua y nutrientes, causando marchitez, clorosis y muerte de las partes distales del cladodio. Las galerías también debilitan estructuralmente los cladodios, haciéndolos susceptibles a quebraduras por viento o peso de frutos. Los orificios de entrada y salida de las larvas, así como las galerías internas, facilitan la entrada de hongos y bacterias fitopatógenas que causan pudriciones. La presencia de aserrín (frass) en la superficie de los cladodios o en el suelo es un signo característico de infestación por barrenadores (Romero, 2025).

Condiciones favorables: Los barrenadores son más problemáticos en plantaciones con manejo deficiente, plantas estresadas, heridas sin cicatrizar y presencia de material vegetal muerto. Las condiciones de sequía y estrés nutricional aumentan la susceptibilidad de las plantas al ataque de barrenadores.

Manejo Integrado de Plagas (MIP):

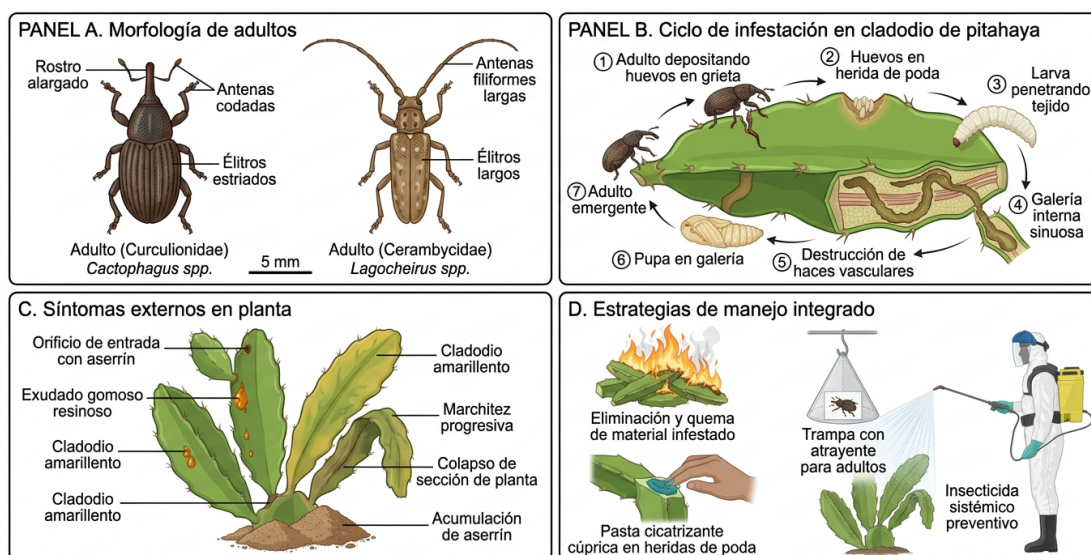
Control cultural: Poda sanitaria para eliminar cladodios infestados, cortando por debajo de las galerías; Destrucción del material de poda

(enterrar o quemar) para eliminar larvas y pupas; Desinfección de heridas de poda con pasta cicatrizante; Manejo adecuado de la nutrición y el riego para mantener plantas vigorosas; Eliminación de plantas muertas o severamente infestadas.

Monitoreo: Inspección regular de cladodios para detectar orificios de entrada, aserrín y síntomas de marchitez; Trampas con feromonas o atrayentes para monitorear y capturar adultos.

Control biológico: Hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* aplicados en los orificios de entrada; Nematodos entomopatógenos (Steinernematidae, Heterorhabditidae) aplicados en el suelo para controlar larvas y pupas.

Control químico: Insecticidas sistémicos (imidacloprid, thiamethoxam) aplicados al suelo o mediante inyección al tronco para controlar larvas dentro de las galerías; Insecticidas de contacto (piretroides, organofosforados) aplicados sobre adultos durante su emergencia; Aplicación de insecticidas en los orificios de entrada, seguida de sellado con pasta cicatrizante.



Barrenadores del tallo y cladodios (Coleoptera: Curculionidae y Cerambycidae) asociados al cultivo de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). **Panel A:** Morfología del adulto de *Cactophagus* spp. Schoenherr (Curculionidae): rostro alargado, antenas codadas y élitros estriados; y adulto de *Lagocheirus* spp. Dejean (Cerambycidae): antenas filiformes largas y élitros largos; barra de escala: 5 mm. **Panel B:** Ciclo de infestación en cladodio de pitahaya: ① adulto depositando huevos en grieta, ② huevos en herida de poda, ③ larva

penetrando tejido, ④ galería interna sinuosa, ⑤ destrucción de haces vasculares, ⑥ pupa en galería y ⑦ adulto emergente. **Panel C:** Síntomas externos en planta: orificio de entrada con aserrín, exudado gomoso resinoso, amarillamiento y marchitez progresiva de cladodios, colapso de secciones de planta y acumulación de aserrín. **Panel D:** Estrategias de manejo integrado: eliminación y quema de material infestado, aplicación de pasta cicatrizante cúprica en heridas de poda, trampa con atrayente para captura de adultos e insecticida sistémico preventivo.

Figura 6: Daño de barrenadores en cladodio de pitahaya, mostrando orificios de entrada/salida y acumulación de aserrín. Corte longitudinal mostrando galerías internas. Adulto de *Cactophagus spinolae* y larva.

3.7 Mosca del fruto (Diptera: Tephritidae)

Las moscas de la fruta son dípteros de la familia Tephritidae que ovipositan en frutos en desarrollo. Las larvas se alimentan de la pulpa, causando pudrición y pérdida total del valor comercial del fruto. Son plagas cuarentenarias de gran importancia económica que limitan el acceso a mercados internacionales (Romero, 2025).

Especies principales: *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann, 1830), conocida como mosca sudamericana de la fruta, es la especie más importante en Ecuador (Romero, 2025). Los adultos miden 6-8 mm de longitud, presentan coloración amarillo-marrón con bandas oscuras características en las alas. Las hembras poseen un ovipositor alargado y esclerotizado que utilizan para perforar la piel del fruto y depositar los huevos.

Ceratitis capitata (Wiedemann, 1824), conocida como mosca del Mediterráneo o mosca de la fruta, también se reporta en Ecuador, aunque con menor frecuencia en pitahaya (Romero, 2025). Los adultos son ligeramente más pequeños (4-6 mm), con coloración característica: tórax negro con manchas blancas, abdomen con bandas transversales amarillas y negras, alas con bandas oscuras.

Mosca del botón floral: *Dasiops saltans* (Diptera: Lonchaeidae), conocida como mosca del botón floral, es reportada como el insecto de mayor importancia económica en pitahaya en Colombia, causando pérdidas del 40-80% durante la floración (Romero, 2025). Sin embargo, hasta la fecha no se ha reportado en Ecuador (Romero, 2025). Esta especie oviposita en botones florales, y las larvas se alimentan de las estructuras internas,

causando deterioro y caída de los botones, con la consiguiente disminución de la producción potencial.

Ciclo de vida y comportamiento: Las hembras adultas de *Anastrepha* y *Ceratitis* ovipositan en frutos en desarrollo, generalmente cuando alcanzan el 50-70% de su tamaño final. Cada hembra puede depositar varios huevos en un mismo fruto. Las larvas eclosionan dentro del fruto y se alimentan de la pulpa durante 7-14 días, excavando galerías y causando pudrición. Las larvas maduras abandonan el fruto, se dejan caer al suelo y pupan en el suelo a 2-10 cm de profundidad. Los adultos emergen después de 10-30 días, dependiendo de la temperatura.

Mecanismo de daño: Las larvas se alimentan de la pulpa del fruto, excavando galerías y causando pudrición (Romero, 2025). Los frutos infestados presentan manchas blandas en la superficie, exudación de líquido y pudrición progresiva. La presencia de larvas y galerías hace que el fruto sea completamente inaceptable para consumo fresco o procesamiento. Los frutos infestados caen prematuramente o se pudren en la planta. La pudrición es acelerada por la entrada de hongos y bacterias a través de los orificios de oviposición y salida de larvas.

Importancia cuarentenaria: Las moscas de la fruta son plagas cuarentenarias de gran importancia, sujetas a estrictas regulaciones fitosanitarias en el comercio internacional (Romero, 2025). Muchos países importadores requieren que los frutos provengan de áreas libres de moscas de la fruta o que hayan sido sometidos a tratamientos cuarentenarios (fumigación, irradiación, tratamiento térmico) para garantizar la ausencia de larvas vivas.

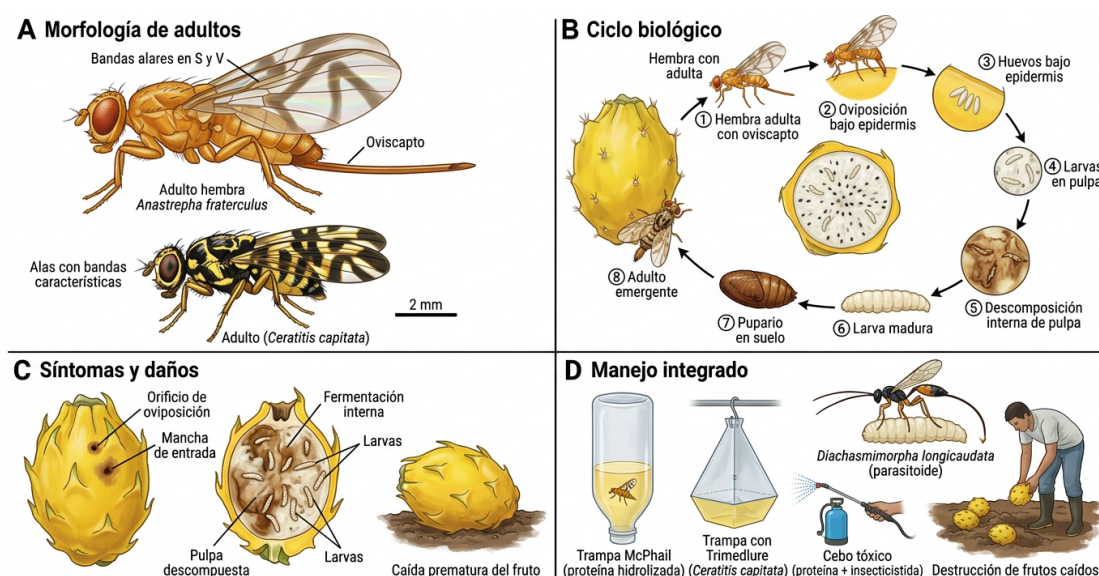
Manejo Integrado de Plagas (MIP): Monitoreo: Trampas McPhail con atrayentes (proteína hidrolizada, torula) para monitorear poblaciones de adultos; Trampas con feromonas sexuales específicas para cada especie; Muestreo de frutos para determinar el porcentaje de infestación.

Control cultural: Recolección y destrucción de frutos caídos e infestados (enterrar a >50 cm de profundidad o sumergir en agua durante varios días para matar las larvas); Cosecha oportuna de frutos maduros; Manejo de malezas para reducir hospederos alternativos.

Control biológico: Liberación de parasitoides de larvas de la familia Braconidae (*Diachasmimorpha longicaudata*, *Fopius arisanus*); Hongos entomopatógenos aplicados al suelo para controlar pupas.

Control químico: Cebos tóxicos: mezcla de proteína hidrolizada (atrayente) + insecticida (spinosad, malathion) aplicada en manchones sobre el follaje o en estaciones cebo; Insecticidas de cobertura (piretroides, organofosforados) aplicados sobre el follaje y frutos; Tratamientos cuarentenarios postcosecha (fumigación con bromuro de metilo, irradiación, tratamiento térmico).

Control autocida: Técnica del Insecto Estéril (TIE): liberación masiva de machos estériles (irradiados) que se aparean con hembras silvestres, resultando en huevos infértiles y reducción de la población.



Mosca del fruto (Diptera: Tephritidae) asociada al cultivo de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). **Panel A:** Morfología del adulto hembra de *Anastrepha fraterculus* Wiedemann: bandas alares en S y V y oviscapto; y adulto de *Ceratitidis capitata* Wiedemann: alas con bandas características; barra de escala: 2 mm. **Panel B:** Ciclo biológico sobre fruto de pitahaya amarilla: ① hembra adulta con oviscapto, ② oviposición bajo epidermis, ③ huevos bajo epidermis, ④ larvas en pulpa, ⑤ descomposición interna de pulpa, ⑥ larva madura, ⑦ pupario en suelo y ⑧ adulto emergente. **Panel C:** Síntomas y daños en fruto: orificio de oviposición, mancha de entrada, pulpa descompuesta, fermentación interna, larvas visibles en corte transversal y caída prematura del fruto. **Panel D:** Estrategias de manejo integrado: trampa McPhail con proteína hidrolizada para *Anastrepha* spp., trampa con Trimedlure para *Ceratitidis capitata*, aplicación de cebo tóxico (proteína hidrolizada + insecticida), *Diachasmimorpha*

longicaudata Ashmead (Hymenoptera: Braconidae) como parasitoide larvario y destrucción de frutos caídos.

Figura 7: Adulto de *Anastrepha fraterculus*. Fruto de pitahaya infestado mostrando orificios de oviposición y pudrición. Larvas en pulpa. Trampa McPhail con proteína hidrolizada.

3.8 Larvas defoliadoras y perforadoras de fruto (Lepidoptera)

Las larvas de lepidópteros (mariposas y polillas) pueden causar daños significativos en el cultivo de pitahaya, alimentándose de cladodios (defoliación) y perforando frutos. Aunque generalmente no son las plagas más importantes, en condiciones favorables pueden causar pérdidas económicas considerables (Romero, 2025).

Especies principales: *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797; Noctuidae), conocida como gusano cogollero del maíz, es una especie polífaga que ocasionalmente ataca pitahaya (Romero, 2025). Las larvas miden hasta 40 mm de longitud, presentan coloración variable (verde, marrón, negra) con líneas longitudinales características y una "Y" invertida en la cápsula cefálica.

Helicoverpa zea (Boddie, 1850; Noctuidae), conocida como gusano del fruto del tomate o gusano elotero, también se reporta en pitahaya (Romero, 2025). Las larvas miden hasta 35 mm, presentan coloración variable (verde, rosada, marrón) con líneas longitudinales y microespinas en el cuerpo.

Mecanismo de daño: Las larvas de *Spodoptera* se alimentan principalmente de los cladodios, raspando la epidermis en estadios tempranos y consumiendo todo el espesor del tejido en estadios avanzados (Romero, 2025). La defoliación severa reduce la capacidad fotosintética de la planta, afectando el crecimiento y la producción.

Las larvas de *Helicoverpa* perforan frutos en desarrollo, alimentándose de la pulpa y causando pudrición (Romero, 2025). Los frutos perforados son inaceptables para consumo fresco o procesamiento. Las larvas también pueden alimentarse de botones florales, causando su aborto.

Condiciones favorables: Las poblaciones de lepidópteros aumentan durante períodos cálidos y secos. La presencia de malezas hospederas y cultivos susceptibles cerca de las plantaciones de pitahaya favorece el establecimiento y multiplicación de estas plagas.

Manejo Integrado de Plagas (MIP):

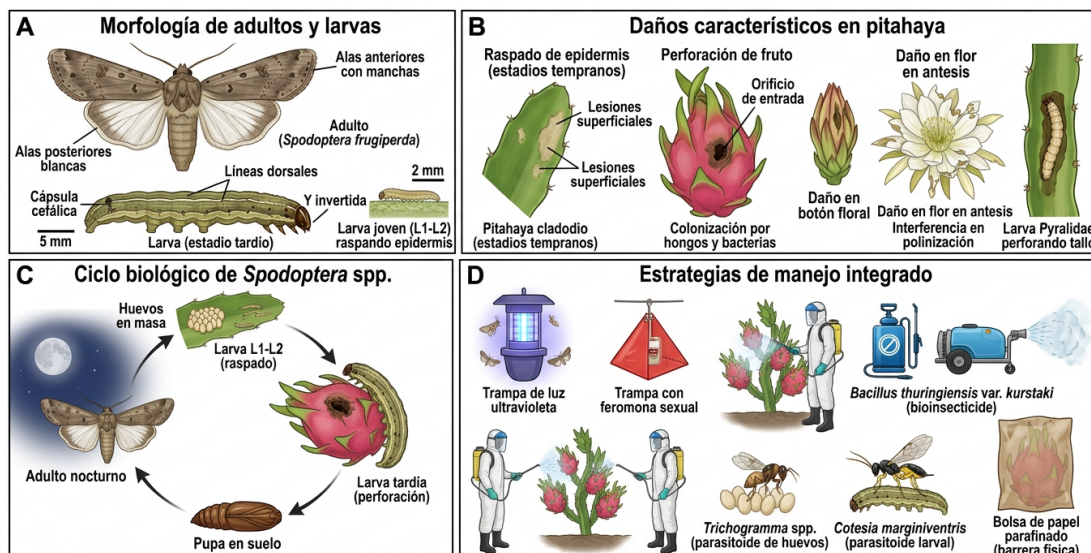
Monitoreo: Trampas de luz para capturar adultos; Trampas con feromonas sexuales específicas para cada especie; Inspección visual regular de plantas para detectar larvas y daños.

Control cultural: Eliminación de malezas hospederas; Recolección manual de larvas; Manejo adecuado de residuos de cosecha.

Control biológico: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (Btk): bacteria entomopatógena que produce toxinas específicas para larvas de lepidópteros. Aplicación foliar (1-2 g/L) cuando las larvas son pequeñas (<10 mm); Liberación de parasitoides de huevos del género *Trichogramma* (Trichogrammatidae), que parasitan huevos de lepidópteros antes de la eclosión de las larvas; Conservación de depredadores generalistas (aves, arañas, chinches depredadores); Hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*.

Control químico: Spinosad (0.5-1 mL/L): insecticida de origen biológico efectivo contra larvas de lepidópteros; Piretroides (cipermetrina, deltametrina, lambda-cihalotrina): insecticidas de contacto e ingestión;

Reguladores de crecimiento de insectos (lufenuron, novaluron): interfieren con la síntesis de quitina, impidiendo la muda de las larvas.



Larvas defoliadoras y perforadoras de fruto (Lepidoptera: Noctuidae y Pyralidae) asociadas al cultivo de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). **Panel A:** Morfología del adulto de *Spodoptera frugiperda* Smith (Noctuidae): alas anteriores con manchas características y alas posteriores blancas; larva en estadio tardío: líneas dorsales, cápsula cefálica; y larva joven (L1-L2) raspando epidermis de cladodio; barras de escala: 5 mm (larva tardía) y 2 mm (adulto). **Panel B:** Daños característicos en diferentes órganos de pitahaya: raspado de epidermis y lesiones superficiales en cladodio (estadios tempranos), perforación con orificio de entrada y colonización por hongos y bacterias fitopatógenas en fruto, daño en botón floral y flor en antesis con interferencia en polinización, y larva de *Pyralidae* perforando tallo. **Panel C:** Ciclo biológico de *Spodoptera* spp.: huevos en masa → larva L1-L2 (raspado) → larva tardía (perforación de fruto) → pupa en suelo → adulto nocturno. **Panel D:** Estrategias de manejo integrado: trampa de luz ultravioleta y trampa con feromona sexual para monitoreo de adultos, *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* Berliner (bioinsecticida), *Trichogramma* spp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) como parasitoide de huevos, *Cotesia marginiventris* Cresson (Hymenoptera: Braconidae) como parasitoide larval, y bolsa de papel parafinado como barrera física protectora del fruto.

Figura 8: Larva de *Spodoptera frugiperda* alimentándose en cladodio de pitahaya. Daño de defoliación. Larva de *Helicoverpa zea* perforando fruto. Adultos de ambas especies.

3.9 Estrategias integradas de MIP

El Manejo Integrado de Plagas (MIP) en pitahaya se basa en la integración sinérgica de múltiples tácticas de control para mantener las poblaciones de plagas por debajo de los umbrales económicos de daño, minimizando el uso de plaguicidas químicos y sus impactos negativos sobre el ambiente, la salud humana y los enemigos naturales (Mondol et al., 2025), (Mondol et al., 2025).

3.9.1 Principios del MIP en pitahaya ecuatoriana:

Prevención: Implementar prácticas culturales que reduzcan la probabilidad de establecimiento y multiplicación de plagas: selección de material vegetal sano, preparación adecuada del terreno, manejo nutricional balanceado, riego apropiado, poda sanitaria, eliminación de malezas hospederas.

Monitoreo: Realizar inspecciones regulares de las plantaciones para detectar tempranamente la presencia de plagas, evaluar el nivel de infestación y determinar la necesidad de intervención. Utilizar trampas (adhesivas, con feromonas, con atrayentes) para monitorear poblaciones de insectos voladores.

Identificación correcta: Identificar correctamente las plagas y sus enemigos naturales para seleccionar las tácticas de control más apropiadas y evitar aplicaciones innecesarias de plaguicidas.

Umbrales de acción: Establecer umbrales económicos de daño para cada plaga, por debajo de los cuales no se justifica la intervención. Los umbrales deben considerar el costo del control, el valor del cultivo, la etapa fenológica y las exigencias del mercado.

Priorización del control biológico: Conservar y fomentar las poblaciones de enemigos naturales (depredadores, parasitoides, patógenos) mediante la reducción del uso de insecticidas de amplio espectro, el establecimiento de refugios (plantas con flores, setos vivos) y la liberación de agentes de control biológico.

Control químico racional: Utilizar plaguicidas químicos solo cuando sea necesario, seleccionando productos de baja toxicidad, alta selectividad y corto período de carencia. Rotar productos con diferentes modos de

acción para prevenir el desarrollo de resistencia. Aplicar en el momento oportuno y de manera dirigida a los focos de infestación.

Registro y evaluación: Mantener registros detallados de todas las actividades de manejo de plagas (monitoreo, identificación, intervenciones, resultados) para evaluar la efectividad de las estrategias implementadas y realizar ajustes cuando sea necesario.

Integración de métodos culturales, biológicos y químicos:

La estrategia de MIP más efectiva en pitahaya combina:

Métodos culturales: Selección de variedades tolerantes, material vegetal sano, preparación adecuada del terreno, densidades de siembra apropiadas, sistemas agroforestales, manejo nutricional balanceado, riego adecuado, podas sanitarias, control de malezas, eliminación de residuos de cosecha; Métodos biológicos: Conservación de enemigos naturales, liberación de agentes de control biológico (depredadores, parasitoides, patógenos), uso de extractos botánicos con propiedades insecticidas o nematicidas; Métodos químicos: Uso racional de plaguicidas selectivos, de baja toxicidad y corto período de carencia, aplicados solo cuando los umbrales de acción son superados, en el momento oportuno y de manera dirigida.

Certificaciones y restricciones de exportación: Los mercados de exportación, especialmente Estados Unidos, Europa y Asia, imponen estrictas regulaciones sobre los límites máximos de residuos (LMR) de plaguicidas en frutas frescas (Moran Suárez, 2024). Los productores que desean exportar pitahaya deben: Utilizar solo plaguicidas registrados y autorizados para el cultivo de pitahaya en el país de destino; Respetar las dosis, frecuencias de aplicación y períodos de carencia establecidos en las etiquetas de los productos; Mantener registros detallados de todas las aplicaciones de plaguicidas; Realizar análisis de residuos de plaguicidas en muestras de fruta antes de la exportación para verificar el cumplimiento de los LMR; Implementar sistemas de trazabilidad que permitan rastrear el origen de cada lote de fruta y las prácticas de manejo aplicadas. Las certificaciones GlobalG.A.P. y BPA Ecuador establecen requisitos específicos para el manejo de plagas, incluyendo la implementación de estrategias de MIP, el uso racional de plaguicidas, la protección de enemigos naturales y la capacitación del personal (Moran Suárez, 2024).

Tema 4

Postcosecha y calidad

4.1 Fisiología del fruto

La pitahaya es un fruto no climatérico, lo que significa que no presenta un aumento significativo en la tasa de respiración ni en la producción de etileno después de la cosecha (Mondol et al., 2025). Esta característica fisiológica tiene implicaciones importantes para el manejo postcosecha y la determinación del momento óptimo de cosecha.

Curva de crecimiento: El crecimiento del fruto de pitahaya sigue una curva sigmoidea simple, característica de frutos no climatéricos (Mondol et al., 2025). Esta curva presenta tres fases:

1. Fase I (crecimiento lento inicial): Después de la fecundación, el fruto crece lentamente durante las primeras 2-3 semanas, principalmente por división celular.
2. Fase II (crecimiento rápido): Entre las semanas 3 y 12 después de la floración, el fruto experimenta un crecimiento rápido por expansión celular, acumulando agua, azúcares y otros metabolitos.
3. Fase III (maduración): Durante las últimas 2-3 semanas antes de la cosecha, el crecimiento se desacelera y el fruto alcanza su madurez fisiológica, caracterizada por el cambio de color de la piel, la acumulación máxima de azúcares y el desarrollo del aroma característico.

Acumulación de azúcares: Los azúcares se acumulan progresivamente durante el desarrollo del fruto, alcanzando su máximo contenido en la madurez fisiológica (Mondol et al., 2025). En frutos no climatéricos como la pitahaya, la acumulación de azúcares cesa después de la cosecha, por lo que es fundamental cosechar en el momento óptimo para garantizar la máxima calidad organoléptica.

Momento óptimo de cosecha: El momento óptimo de cosecha se determina principalmente por el tamaño y el color externo del fruto (Mondol et al., 2025). En la pitahaya amarilla, el cambio de color de verde a amarillo es el indicador más confiable de madurez. Para exportación, se recomienda cosechar en el estado 4 (75-90% de color amarillo), cuando el fruto ha alcanzado su máximo contenido de azúcares pero mantiene buena firmeza y vida postcosecha (Mondol et al., 2025).

Sensibilidad postcosecha: Si la cosecha se retrasa más allá del momento óptimo, la turgencia del fruto disminuye rápidamente y se vuelve más sensible a condiciones climáticas adversas, daños mecánicos y enfermedades postcosecha (Mondol et al., 2025). Los frutos sobremaduros (estado 6) presentan ablandamiento, pérdida de firmeza y vida postcosecha muy corta, siendo apropiados solo para consumo inmediato o procesamiento.

4.2 Procesos de postcosecha

Los procesos de postcosecha son fundamentales para mantener la calidad del fruto, extender su vida útil y garantizar su inocuidad. Estos procesos deben iniciarse inmediatamente después de la cosecha y realizarse bajo condiciones controladas de temperatura, humedad y sanidad.

Limpieza: La limpieza tiene como objetivo eliminar la suciedad, el polvo, los residuos de espinas y la carga microbiana superficial del fruto (Mondol et al., 2025). Puede realizarse mediante métodos secos (tamizado, cepillado) o húmedos (inmersión, aspersión). El método seco es más rápido y económico, pero menos efectivo en la reducción de la carga microbiana. Se utiliza un cepillado suave con cepillos de cerdas suaves para eliminar las espinas y la suciedad superficial. El método húmedo es más efectivo pero requiere mayor infraestructura y cuidado para evitar la contaminación del agua. Los frutos se sumergen o asperjan con agua limpia, preferiblemente clorada (50-100 ppm de cloro libre), para eliminar la suciedad y reducir la carga microbiana (Mondol et al., 2025).

Desinfección: La desinfección tiene como objetivo reducir la carga de microorganismos patógenos (hongos, bacterias) que pueden causar pudriciones postcosecha (Mondol et al., 2025). El desinfectante más utilizado en la industria alimentaria es el hipoclorito de sodio (lejía), aplicado en concentraciones de 50-200 ppm de cloro libre durante 1-3 minutos de inmersión. Otros desinfectantes utilizados incluyen peróxido de hidrógeno, ácido peracético, dióxido de cloro y ozono. La selección del desinfectante debe considerar su efectividad antimicrobiana, su seguridad para el consumidor, su impacto ambiental y su costo.

Secado: Después de la limpieza y desinfección húmeda, los frutos deben secarse para eliminar el exceso de agua superficial, que favorece el desarrollo de microorganismos (Mondol et al., 2025). El secado puede

realizarse mediante exposición al aire libre en un área limpia y ventilada, o mediante el uso de ventiladores o túneles de secado con aire forzado.

Clasificación: La clasificación agrupa los frutos según características físicas homogéneas (tamaño, peso, color, forma), sin daños físicos o microbiológicos (Valero et al., 2025). Los frutos dañados, deformados, con lesiones o síntomas de enfermedades deben retirarse para evitar la contaminación de los frutos sanos. Los criterios de clasificación varían según el mercado de destino. Para el mercado nacional, la clasificación se basa principalmente en el peso por fruto. Para exportación, la clasificación se basa en el número de frutos por empaque (caja de 2.5 kg; Valero et al., 2025).

Pre-enfriamiento: El pre-enfriamiento tiene como objetivo reducir rápidamente la temperatura interna del fruto desde la temperatura de campo (25-30°C) hasta la temperatura de almacenamiento (6°C para pitahaya amarilla, 10°C para pitahaya roja; INIAP, 2020). Esta reducción rápida de temperatura disminuye la tasa de respiración, la producción de etileno, la pérdida de agua y la velocidad de deterioro del fruto. El método más efectivo de pre-enfriamiento es la inmersión en agua fría (5°C) durante 15-30 minutos (INIAP, 2020). Este método permite una transferencia rápida de calor y una reducción uniforme de la temperatura en todo el fruto. Otros métodos incluyen el enfriamiento con aire forzado y el enfriamiento en cámara frigorífica.

4.3 Clasificación y empaque

La clasificación y el empaque son procesos críticos que determinan la presentación comercial del producto y su aceptación en los mercados.

Clasificación por estado de madurez: Estado 4: 75-90% de color amarillo. Fruto maduro con máximo contenido de azúcares, buena firmeza y vida postcosecha de 2-3 semanas a 6°C. Óptimo para exportación (Mondol et al., 2025); Estados 5-6: 90-100% de color amarillo. Fruto completamente maduro con máximo sabor y aroma, pero menor firmeza y vida postcosecha más corta (1-2 semanas). Óptimo para mercado nacional y consumo inmediato (Mondol et al., 2025).

Clasificación por tamaño y peso: Para el mercado nacional, la clasificación se basa en el peso por fruto: Extra: >400 g; Primera: 300-400 g; Segunda:

200-300 g; Tercera: <200 g. Para exportación, la clasificación se basa en el número de frutos por caja de 2.5 kg: Calibre 6: 6 frutos por caja (≈ 417 g/fruto); Calibre 8: 8 frutos por caja (≈ 313 g/fruto); Calibre 10: 10 frutos por caja (≈ 250 g/fruto); Calibre 12: 12 frutos por caja (≈ 208 g/fruto).

Normas NTE INEN: Las normas técnicas ecuatorianas NTE INEN establecen los requisitos de calidad para la pitahaya fresca destinada al consumo humano. Estas normas especifican: Requisitos mínimos de calidad: frutos enteros, sanos, limpios, libres de plagas y enfermedades, sin daños mecánicos, sin humedad externa anormal, sin olores o sabores extraños; Clasificación por calibre y categoría (Extra, I, II); Tolerancias para defectos; Requisitos de empaque y etiquetado; Métodos de muestreo y análisis.

Empaque para exportación: Para exportación, los frutos se empacan en cajas de cartón corrugado de 2.5 kg, colocando cada fruto en una malla de protección (red de espuma o plástico) para evitar daños mecánicos durante el transporte (Valero et al., 2025). Las cajas deben tener ventilación adecuada para permitir la circulación de aire frío durante el almacenamiento y transporte refrigerado. Las cajas deben etiquetarse con información obligatoria: nombre del producto, variedad, origen, categoría, calibre, peso neto, nombre y dirección del exportador, código de trazabilidad.

Empaque para mercado nacional: Para el mercado nacional, los frutos se empacan en gavetas plásticas reutilizables de 0.6 m de largo x 0.4 m de ancho x 0.25 m de alto, con un peso máximo de 13 kg por gaveta (Valero et al., 2025). Las gavetas deben estar limpias y desinfectadas antes de cada uso.

4.4 Control de maduración

El control de la maduración es fundamental para extender la vida postcosecha de la pitahaya y mantener su calidad durante el almacenamiento y transporte. Dado que la pitahaya es un fruto no climatérico, las estrategias de control de maduración se enfocan en retrasar los procesos de senescencia y deterioro.

Uso de elicitores preharvest: Los elicitores son compuestos que, aplicados antes de la cosecha, pueden modular la fisiología del fruto y mejorar su

calidad y vida postcosecha. Estudios recientes en Ecuador han evaluado el efecto de varios elicitores en pitahaya amarilla (Vallez, 2024), (Vallez, 2024), (Vallez, 2024):

Ácido salicílico (SA): Incrementa la acidez titulable del fruto (Vallez, 2024); Puede reducir el rendimiento en dosis altas (10 mM; Vallez, 2024); Actúa como señal de defensa, activando respuestas de resistencia a estrés.

Metil salicilato (MeSa): Adelanta la maduración del fruto (Vallez, 2024), (Vallez, 2024); Aumenta el contenido de sólidos solubles totales (TSS), especialmente en dosis de 10 mM (Vallez, 2024); Puede aumentar el rendimiento en dosis de 5 mM (≈ 17 kg por planta; Vallez, 2024).

Metil jasmonato (MeJa): Retrasa la maduración del fruto (Vallez, 2024), (Vallez, 2024); Reduce el contenido de TSS, especialmente en dosis de 5 mM (Vallez, 2024); Aumenta significativamente la firmeza del fruto: 10.16 kg/cm² con MeJa 10 mM vs. 7.60 kg/cm² en control (Vallez, 2024); Aumenta el rendimiento: dosis de 10 mM resulta en el mayor rendimiento (≈ 20 kg por planta; Vallez, 2024); Aumenta el número de frutos por planta: dosis de 5 mM resulta en ≈ 57 frutos por planta (Vallez, 2024).

Ácido oxálico (OA): Mejora el rendimiento del cultivo (Vallez, 2024); Dosis de 10 mM resulta en alto rendimiento (≈ 19 kg por planta; Vallez, 2024).

Dosis óptima: Basándose en los resultados de investigaciones en Ecuador, la dosis óptima de metil jasmonato (MeJa) es de 10 mM, aplicada durante el desarrollo del fruto (Vallez, 2024), (Vallez, 2024). Esta dosis maximiza el rendimiento, aumenta la firmeza y extiende la vida postcosecha del fruto.

4.5 Normas de calidad e inocuidad

La calidad e inocuidad de la pitahaya son aspectos fundamentales para garantizar la aceptación del producto en los mercados y la protección de la salud de los consumidores.

Normas NTE INEN 6168: Las normas técnicas ecuatorianas NTE INEN 6168 establecen los requisitos microbiológicos para frutas frescas y procesadas (Novillo, 2022). Estas normas especifican los límites máximos permitidos para: Coliformes totales; *Escherichia coli*; *Salmonella* spp; Mohos y levaduras; *Staphylococcus aureus*.

Seguridad microbiológica: La seguridad microbiológica de la pitahaya requiere la ausencia de *E. coli*, *Salmonella* y otros patógenos, así como niveles bajos de mohos y levaduras (Novillo, 2022). El cumplimiento de estos requisitos se logra mediante: Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) durante la producción; Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) durante la postcosecha y procesamiento; Uso de agua potable en todas las etapas de lavado y desinfección; Desinfección efectiva de frutos, equipos y superficies de contacto; Control de temperatura durante el almacenamiento y transporte; Capacitación del personal en higiene y manipulación de alimentos.

Proceso de deshidratación: El proceso de deshidratación a 55-60°C es efectivo para reducir la carga microbiana de la pitahaya a niveles seguros (0.0 UFC/g; Novillo, 2022). Esta temperatura es suficiente para inactivar la mayoría de microorganismos vegetativos (bacterias, levaduras, mohos) sin afectar significativamente las propiedades nutricionales y organolépticas del producto.

4.6 Requisitos de exportación

Los requisitos de exportación de pitahaya varían según el país de destino, pero generalmente incluyen aspectos fitosanitarios, de calidad, de inocuidad y de trazabilidad.

Temperatura de almacenamiento: Pitahaya amarilla: 6°C con humedad relativa de 85-90% (INIAP, 2020); Pitahaya roja: 10°C con humedad relativa de 85-90% (INIAP, 2020). Estas temperaturas permiten extender la vida postcosecha de 2 a 3 semanas, manteniendo la calidad organoléptica y reduciendo la incidencia de enfermedades postcosecha.

Daño por frío (Chilling Injury - CI): La pitahaya es muy sensible al daño por frío cuando se almacena a temperaturas inferiores a las recomendadas (Wang et al., 2024). Los síntomas de CI incluyen: Pérdida de peso por deshidratación (Wang et al., 2024); Cambios de color: oscurecimiento o decoloración de la piel (Wang et al., 2024); Pérdida de sólidos solubles totales (TSS) y acidez titulable (TA; Wang et al., 2024); Ablandamiento drástico del fruto (Wang et al., 2024); Depresiones superficiales (pitting); Mayor susceptibilidad a enfermedades postcosecha.

Mecanismos de daño por frío: El CI afecta las membranas celulares, causando cambios en su conformación y estructura (Wang et al., 2024). Esto resulta en: Aumento en la fuga de electrolitos (pérdida de integridad de membranas; Wang et al., 2024); Peroxidación lipídica (daño oxidativo de lípidos de membrana; Wang et al., 2024); Desacoplamiento de la cadena respiratoria mitocondrial (Wang et al., 2024); Aumento de especies reactivas de oxígeno (ROS) que causan daño oxidativo (Wang et al., 2024).

Tecnologías de conservación: Para minimizar el CI y extender la vida postcosecha, se utilizan diversas tecnologías complementarias al almacenamiento refrigerado (Wang et al., 2024):

Atmósfera modificada: Empaque en películas plásticas con permeabilidad selectiva a gases, que reducen la concentración de O₂ y aumentan la de CO₂, disminuyendo la tasa de respiración y retrasando la senescencia (Wang et al., 2024).

4.7 Innovaciones tecnológicas en postcosecha

Las innovaciones tecnológicas recientes en hardware y software para el manejo posterior a la cosecha y la cadena de frío de la pitahaya y frutas tropicales similares se han centrado en mejorar la calidad, extender la vida útil y mejorar la eficiencia de la cadena de suministro. Estas innovaciones aprovechan los avances en inteligencia artificial (IA), Internet de las cosas (IoT) y soluciones de energía sostenible. La integración de estas tecnologías es crucial para abordar desafíos como los daños mecánicos, las infecciones microbianas y el deterioro de la calidad de las frutas tropicales como la pitahaya. En las siguientes secciones se detallan las principales innovaciones en este campo.

4.7.1. La inteligencia artificial y la automatización en la gestión poscosecha

Las tecnologías impulsadas por la inteligencia artificial, como el aprendizaje automático y la visión artificial, se utilizan para optimizar los procesos de clasificación, clasificación y envasado. Estas tecnologías ayudan a reducir el desperdicio de alimentos y a prolongar la vida útil de los productos al garantizar el control de calidad y la detección microbiana (Das et al., 2025).

La robótica y los almacenes inteligentes impulsados por la inteligencia artificial están simplificando la gestión del transporte y el inventario, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo el impacto ambiental (Das et al., 2025).

Tecnologías de conservación

Se están empleando varios métodos de conservación, como el almacenamiento a baja temperatura, la conservación del revestimiento y los tratamientos químicos para mantener la calidad de la pitahaya. Estos métodos ayudan a controlar la frecuencia respiratoria y a prevenir las infecciones microbianas (Huang & Zhao, 2023).

Se ha demostrado que el envasado en atmósfera modificada (MAP) retrasa eficazmente la senescencia poscosecha y mantiene la calidad de la pitahaya al crear un entorno con alto contenido de CO₂ y bajo contenido de O₂, lo que inhibe la pérdida de peso y la pudrición.

Soluciones inteligentes de almacenamiento en frío y de IoT

Se han desarrollado sistemas de almacenamiento en frío alimentados por energía solar integrados en el IoT para proporcionar soluciones sostenibles y energéticamente eficientes para preservar los productos perecederos. Estos sistemas utilizan paneles fotovoltaicos y sistemas de monitorización basados en el IoT para mantener niveles óptimos de temperatura y humedad, lo que prolonga considerablemente la vida útil de las frutas (Kailashkumar. et al., 2025).

Los sistemas dinámicos de atmósfera controlada que incorporan tecnologías de sensores están refinando los entornos de almacenamiento con bajo contenido de oxígeno, que son cruciales para mantener la calidad de los productos frescos durante el transporte.

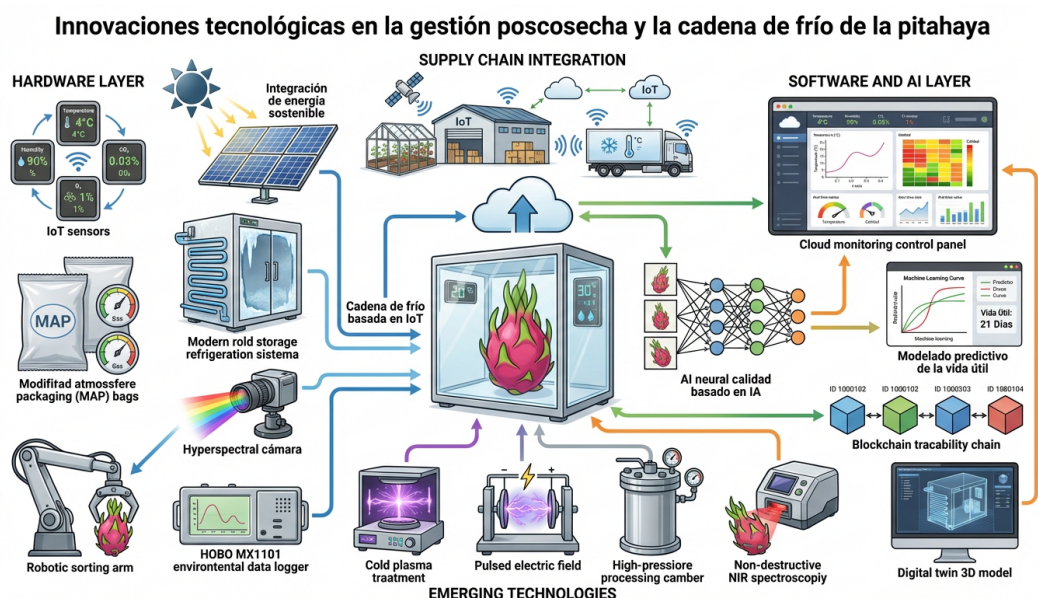
4.7.2. Tecnologías y técnicas emergentes

Las técnicas de control de calidad sin contacto y no destructivas, como el análisis de imágenes y la espectroscopia de infrarrojo cercano, ofrecen ventajas con respecto a los métodos tradicionales al proporcionar datos en tiempo real sin dañar el producto (Palumbo et al., 2022).

Se están implementando tratamientos poscosecha avanzados, como campos eléctricos pulsados, alta presión hidrostática y plasma frío, para preservar el valor nutricional y la seguridad de los productos frescos.

- El uso de la tecnología de cauterización en caliente en nopal ha demostrado el potencial de prolongar significativamente la vida útil, lo que sugiere que aplicaciones similares podrían beneficiar a la pitahaya y otras frutas tropicales(Hahn, 2017).

Si bien estas innovaciones representan avances prometedores en la gestión posterior a la cosecha, persisten desafíos como la calidad de los datos, la integración de los sistemas y las barreras de costos. Además, las preocupaciones regulatorias y la necesidad de una escalabilidad global de estas tecnologías son factores críticos que deben abordarse para aprovechar al máximo su potencial(Das et al., 2025). La integración de los métodos tradicionales con las tecnologías de vanguardia ofrece un enfoque holístico para mejorar los sistemas poscosecha, alineándose con las demandas de los consumidores de productos de alta calidad, seguros y de origen sostenible(Anusha et al., 2024).



Nota. La figura representa un ecosistema integrado de innovación tecnológica aplicado a la pitahaya, estructurado en cuatro capas: (1) hardware poscosecha, incluyendo sensores IoT de temperatura, humedad y gases, almacenamiento en frío con energía solar, envasado en atmósfera modificada, cámaras hiperspectrales y clasificación robótica; (2)

integración logística en cadena de frío basada en IoT y monitoreo en tiempo real; (3) capa de software e inteligencia artificial, con paneles de control en la nube, modelos predictivos de vida útil, redes neuronales para control de calidad y trazabilidad basada en blockchain; y (4) tecnologías emergentes como plasma frío, campos eléctricos pulsados, alta presión hidrostática y espectroscopía NIR no destructiva. Las flechas indican flujo de datos y retroalimentación entre sensores, almacenamiento, análisis predictivo y toma de decisiones. Elaboración propia.

4.7.3. Soluciones específicas

Los avances recientes en las soluciones impulsadas por la inteligencia artificial han mejorado significativamente los procesos de clasificación de la pitahaya y otras frutas tropicales, particularmente en la detección de enfermedades y la evaluación de la calidad. Estas innovaciones aprovechan las técnicas de aprendizaje profundo, lo que permite una gestión más precisa y eficiente de las prácticas agrícolas.

Detección de enfermedades

- **Modelos de aprendizaje profundo:** Se han empleado varios modelos, como las redes neuronales convolucionales (CNN) y los transformadores de visión (ViT), para clasificar las enfermedades de la pitahaya. El modelo ViT logró una precisión del 87,18% en la detección de enfermedades troncales.
- **Aprendizaje transferenciado:** La utilización de modelos previamente entrenados mediante el aprendizaje por transferencia ha demostrado su eficacia, y los modelos Keras perfeccionados permiten identificar con gran precisión las enfermedades en conjuntos de datos de creación propia.

Evaluación de la madurez y la calidad

- **Modelo YOLOV8N:** El modelo GSE-YOLO, una mejora del Yolov8n, clasifica eficazmente las etapas de madurez de la pitaya con una precisión del 85,2% y una tasa de recuperación del 87,3%, abordando los desafíos que se presentan en entornos complejos.
- **Inspección de calidad en tiempo real:** DragonFruitQualityNet, una CNN ligera, permite evaluar la calidad en tiempo real en dispositivos

móviles, logrando una impresionante precisión del 93,98% en la clasificación de la calidad de la fruta.

Técnicas de reconocimiento avanzadas

- **YoloV4** mejorado: este modelo incorpora la atención coordinada y la convolución combinacional, lo que permite reconocer la pitaya en entornos naturales con una precisión extraordinaria del 99,23%, lo que facilita los procesos de recolección automatizados.

Si bien estas soluciones impulsadas por la inteligencia artificial ofrecen mejoras significativas en la clasificación y el manejo de las frutas tropicales, siguen existiendo desafíos para garantizar su adopción generalizada entre los agricultores, especialmente en entornos con recursos limitados.

Tema 5

Procesamiento agroindustrial y valor agregado

5.1 Industrialización de la pitahaya

La industrialización permite diversificar destinos comerciales y reducir pérdidas por fruta fuera de especificación. Se incluyen líneas de pulpa, néctares, mermeladas, congelados y deshidratados, con control de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según destino (Novillo, 2022). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

La industrialización permite diversificar destinos comerciales y reducir pérdidas por fruta fuera de especificación. Se incluyen líneas de pulpa, néctares, mermeladas, congelados y deshidratados, con control de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según destino (Novillo, 2022). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

La industrialización permite diversificar destinos comerciales y reducir pérdidas por fruta fuera de especificación. Se incluyen líneas de pulpa, néctares, mermeladas, congelados y deshidratados, con control de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según destino (Novillo, 2022). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones

implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

La industrialización permite diversificar destinos comerciales y reducir pérdidas por fruta fuera de especificación. Se incluyen líneas de pulpa, néctares, mermeladas, congelados y deshidratados, con control de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según destino (Novillo, 2022). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

La industrialización permite diversificar destinos comerciales y reducir pérdidas por fruta fuera de especificación. Se incluyen líneas de pulpa, néctares, mermeladas, congelados y deshidratados, con control de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según destino (Novillo, 2022). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

La industrialización permite diversificar destinos comerciales y reducir pérdidas por fruta fuera de especificación. Se incluyen líneas de pulpa,

néctares, mermeladas, congelados y deshidratados, con control de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según destino (Novillo, 2022). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

La industrialización permite diversificar destinos comerciales y reducir pérdidas por fruta fuera de especificación. Se incluyen líneas de pulpa, néctares, mermeladas, congelados y deshidratados, con control de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según destino (Novillo, 2022). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

5.2 Productos derivados

Los productos incluyen snacks deshidratados, polvos, ingredientes para lácteos/helados y formulaciones funcionales. La literatura reciente reporta aplicaciones en la industria alimentaria y potenciales mejoras nutricionales con harinas de cáscara o extractos ricos en pigmentos (Batista et al., 2025; Chávez et al., 2024). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la

industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Los productos incluyen snacks deshidratados, polvos, ingredientes para lácteos/helados y formulaciones funcionales. La literatura reciente reporta aplicaciones en la industria alimentaria y potenciales mejoras nutricionales con harinas de cáscara o extractos ricos en pigmentos (Batista et al., 2025; Chávez et al., 2024). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Los productos incluyen snacks deshidratados, polvos, ingredientes para lácteos/helados y formulaciones funcionales. La literatura reciente reporta aplicaciones en la industria alimentaria y potenciales mejoras nutricionales con harinas de cáscara o extractos ricos en pigmentos (Batista et al., 2025; Chávez et al., 2024). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Los productos incluyen snacks deshidratados, polvos, ingredientes para lácteos/helados y formulaciones funcionales. La literatura reciente reporta aplicaciones en la industria alimentaria y potenciales mejoras nutricionales con harinas de cáscara o extractos ricos en pigmentos (Batista et al., 2025;

Chávez et al., 2024). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Los productos incluyen snacks deshidratados, polvos, ingredientes para lácteos/helados y formulaciones funcionales. La literatura reciente reporta aplicaciones en la industria alimentaria y potenciales mejoras nutricionales con harinas de cáscara o extractos ricos en pigmentos (Batista et al., 2025; Chávez et al., 2024). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Los productos incluyen snacks deshidratados, polvos, ingredientes para lácteos/helados y formulaciones funcionales. La literatura reciente reporta aplicaciones en la industria alimentaria y potenciales mejoras nutricionales con harinas de cáscara o extractos ricos en pigmentos (Batista et al., 2025; Chávez et al., 2024). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado,

inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Los productos incluyen snacks deshidratados, polvos, ingredientes para lácteos/helados y formulaciones funcionales. La literatura reciente reporta aplicaciones en la industria alimentaria y potenciales mejoras nutricionales con harinas de cáscara o extractos ricos en pigmentos (Batista et al., 2025; Chávez et al., 2024). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

5.3 Tecnologías y equipos

Las tecnologías abarcan lavado, despulpado, pasteurización, deshidratación (convectiva, liofilización), envasado y almacenamiento. Las tecnologías verdes para extracción de compuestos bioactivos (p. ej., betacianinas) son relevantes para valorización de subproductos y mayor captura de valor (Carmen, 2023). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Las tecnologías abarcan lavado, despulpado, pasteurización, deshidratación (convectiva, liofilización), envasado y almacenamiento. Las tecnologías verdes para extracción de compuestos bioactivos (p. ej., betacianinas) son relevantes para valorización de subproductos y mayor captura de valor (Carmen, 2023). En el estudio de caso, la agroindustria se

plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Las tecnologías abarcan lavado, despulpado, pasteurización, deshidratación (convectiva, liofilización), envasado y almacenamiento. Las tecnologías verdes para extracción de compuestos bioactivos (p. ej., betacianinas) son relevantes para valorización de subproductos y mayor captura de valor (Carmen, 2023). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Las tecnologías abarcan lavado, despulpado, pasteurización, deshidratación (convectiva, liofilización), envasado y almacenamiento. Las tecnologías verdes para extracción de compuestos bioactivos (p. ej., betacianinas) son relevantes para valorización de subproductos y mayor captura de valor (Carmen, 2023). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Las tecnologías abarcan lavado, despulpado, pasteurización, deshidratación (convectiva, liofilización), envasado y almacenamiento. Las tecnologías verdes para extracción de compuestos bioactivos (p. ej., betacianinas) son relevantes para valorización de subproductos y mayor captura de valor (Carmen, 2023). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Las tecnologías abarcan lavado, despulpado, pasteurización, deshidratación (convectiva, liofilización), envasado y almacenamiento. Las tecnologías verdes para extracción de compuestos bioactivos (p. ej., betacianinas) son relevantes para valorización de subproductos y mayor captura de valor (Carmen, 2023). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Las tecnologías abarcan lavado, despulpado, pasteurización, deshidratación (convectiva, liofilización), envasado y almacenamiento. Las tecnologías verdes para extracción de compuestos bioactivos (p. ej., betacianinas) son relevantes para valorización de subproductos y mayor captura de valor (Carmen, 2023). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii)

empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

5.4 Control de calidad en la industria

Implica BPM, HACCP, validación de procesos térmicos y control de contaminantes. La trazabilidad desde finca y la estandarización del producto son claves para consistencia, especialmente cuando se mezcla materia prima de diversos proveedores (Álvarez-Arias et al., 2026). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Implica BPM, HACCP, validación de procesos térmicos y control de contaminantes. La trazabilidad desde finca y la estandarización del producto son claves para consistencia, especialmente cuando se mezcla materia prima de diversos proveedores (Álvarez-Arias et al., 2026). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Implica BPM, HACCP, validación de procesos térmicos y control de contaminantes. La trazabilidad desde finca y la estandarización del

producto son claves para consistencia, especialmente cuando se mezcla materia prima de diversos proveedores (Álvarez-Arias et al., 2026). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Implica BPM, HACCP, validación de procesos térmicos y control de contaminantes. La trazabilidad desde finca y la estandarización del producto son claves para consistencia, especialmente cuando se mezcla materia prima de diversos proveedores (Álvarez-Arias et al., 2026). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Implica BPM, HACCP, validación de procesos térmicos y control de contaminantes. La trazabilidad desde finca y la estandarización del producto son claves para consistencia, especialmente cuando se mezcla materia prima de diversos proveedores (Álvarez-Arias et al., 2026). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de

pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Implica BPM, HACCP, validación de procesos térmicos y control de contaminantes. La trazabilidad desde finca y la estandarización del producto son claves para consistencia, especialmente cuando se mezcla materia prima de diversos proveedores (Álvarez-Arias et al., 2026). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Implica BPM, HACCP, validación de procesos térmicos y control de contaminantes. La trazabilidad desde finca y la estandarización del producto son claves para consistencia, especialmente cuando se mezcla materia prima de diversos proveedores (Álvarez-Arias et al., 2026). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

5.5 Economía circular y sostenibilidad

La valorización de cáscaras y subproductos reduce residuos y permite nuevos ingredientes (pectinas, fibras, pigmentos). Revisiones recientes resaltan rutas de aprovechamiento de biomasa con tecnologías verdes y aplicaciones en alimentos, generando sinergias con estrategias de

sostenibilidad (Carmen, 2023; Romero, 2025). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

La valorización de cáscaras y subproductos reduce residuos y permite nuevos ingredientes (pectinas, fibras, pigmentos). Revisiones recientes resaltan rutas de aprovechamiento de biomasa con tecnologías verdes y aplicaciones en alimentos, generando sinergias con estrategias de sostenibilidad (Carmen, 2023; Romero, 2025). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

La valorización de cáscaras y subproductos reduce residuos y permite nuevos ingredientes (pectinas, fibras, pigmentos). Revisiones recientes resaltan rutas de aprovechamiento de biomasa con tecnologías verdes y aplicaciones en alimentos, generando sinergias con estrategias de sostenibilidad (Carmen, 2023; Romero, 2025). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis

de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

La valorización de cáscaras y subproductos reduce residuos y permite nuevos ingredientes (pectinas, fibras, pigmentos). Revisiones recientes resaltan rutas de aprovechamiento de biomasa con tecnologías verdes y aplicaciones en alimentos, generando sinergias con estrategias de sostenibilidad (Carmen, 2023; Romero, 2025). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

La valorización de cáscaras y subproductos reduce residuos y permite nuevos ingredientes (pectinas, fibras, pigmentos). Revisiones recientes resaltan rutas de aprovechamiento de biomasa con tecnologías verdes y aplicaciones en alimentos, generando sinergias con estrategias de sostenibilidad (Carmen, 2023; Romero, 2025). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

La valorización de cáscaras y subproductos reduce residuos y permite nuevos ingredientes (pectinas, fibras, pigmentos). Revisiones recientes resaltan rutas de aprovechamiento de biomasa con tecnologías verdes y aplicaciones en alimentos, generando sinergias con estrategias de sostenibilidad (Carmen, 2023; Romero, 2025). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte

por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

La valorización de cáscaras y subproductos reduce residuos y permite nuevos ingredientes (pectinas, fibras, pigmentos). Revisiones recientes resaltan rutas de aprovechamiento de biomasa con tecnologías verdes y aplicaciones en alimentos, generando sinergias con estrategias de sostenibilidad (Carmen, 2023; Romero, 2025). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

5.6 Oportunidades de mercado

Las oportunidades se vinculan a mercados saludables, trazables y sostenibles; además, la diferenciación por origen (Ecuador/Palora) y el cumplimiento de estándares potencian el acceso a cadenas de retail y nichos premium (Arboleda, 2026; Caiza et al., 2025). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Las oportunidades se vinculan a mercados saludables, trazables y sostenibles; además, la diferenciación por origen (Ecuador/Palora) y el cumplimiento de estándares potencian el acceso a cadenas de retail y nichos premium (Arboleda, 2026; Caiza et al., 2025). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Las oportunidades se vinculan a mercados saludables, trazables y sostenibles; además, la diferenciación por origen (Ecuador/Palora) y el cumplimiento de estándares potencian el acceso a cadenas de retail y nichos premium (Arboleda, 2026; Caiza et al., 2025). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Las oportunidades se vinculan a mercados saludables, trazables y sostenibles; además, la diferenciación por origen (Ecuador/Palora) y el cumplimiento de estándares potencian el acceso a cadenas de retail y nichos premium (Arboleda, 2026; Caiza et al., 2025). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis

de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Las oportunidades se vinculan a mercados saludables, trazables y sostenibles; además, la diferenciación por origen (Ecuador/Palora) y el cumplimiento de estándares potencian el acceso a cadenas de retail y nichos premium (Arboleda, 2026; Caiza et al., 2025). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Las oportunidades se vinculan a mercados saludables, trazables y sostenibles; además, la diferenciación por origen (Ecuador/Palora) y el cumplimiento de estándares potencian el acceso a cadenas de retail y nichos premium (Arboleda, 2026; Caiza et al., 2025). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Las oportunidades se vinculan a mercados saludables, trazables y sostenibles; además, la diferenciación por origen (Ecuador/Palora) y el cumplimiento de estándares potencian el acceso a cadenas de retail y nichos premium (Arboleda, 2026; Caiza et al., 2025). En el estudio de caso, la agroindustria se plantea como estrategia para absorber fruta de descarte por calibre o daño superficial leve, manteniendo inocuidad y capturando valor mediante pulpa, deshidratados o ingredientes. Se propone un modelo escalonado: (i) asociaciones implementan deshidratación y pulpa

congelada; (ii) empresas exportadoras desarrollan líneas funcionales y contratos con la industria alimentaria; y (iii) alianzas con universidades impulsan extracción de pigmentos y pectinas. Estas rutas requieren análisis de mercado, inversión en equipos y gobernanza de calidad (Novillo, 2022; Carmen, 2023; Batista et al., 2025).

Discusión

El análisis integrador presentado en este libro evidencia que la pitahaya en Ecuador combina oportunidades significativas de crecimiento con desafíos estructurales que requieren atención sostenida en materia de heterogeneidad productiva, formalización de procesos, infraestructura y adopción tecnológica. La evidencia científica reciente respalda que las decisiones de manejo agronómico entrenamiento del cultivo, fertilización ajustada a fenología, riego eficiente y manejo integrado de plagas (MIP) se traducen directamente en mejoras de calidad y rendimiento, mientras que en postcosecha la implementación de tecnologías de conservación y la estandarización de protocolos reducen pérdidas y facilitan el acceso a mercados exportadores exigentes (Mondol et al., 2025; Karunakaran et al., 2025; Wang et al., 2024). Un hallazgo transversal del análisis es la importancia crítica del manejo fitosanitario, particularmente el control de artrópodos plaga como ácaros (Tetranychidae), trips (Thripidae), cochinillas harinosas (Pseudococcidae), barrenadores de tallos (Curculionidae, Cerambycidae), moscas de la fruta (Tephritidae: *Anastrepha* spp.) y larvas de lepidópteros, cuya incidencia afecta tanto la productividad como la inocuidad del fruto y el acceso a mercados internacionales (ESPOCH, 2022; Moran Suárez, 2024). La implementación de programas de MIP estructurados con monitoreo sistemático, control biológico aumentativo y uso racional de agroquímicos con cumplimiento de LMR emerge como condición indispensable para la sostenibilidad del sector exportador ecuatoriano (Agrocalidad, 2024; Karunakaran et al., 2025).

En el ámbito postcosecha, la coordinación entre cosecha, transporte y empaque resulta determinante, especialmente en cadenas con múltiples pequeños proveedores. La estandarización de criterios de madurez, el entrenamiento en manipulación y el control de temperatura y humedad generan mejoras apreciables en vida útil y apariencia comercial. Las innovaciones basadas en inteligencia artificial, IoT y envasado en atmósfera modificada representan rutas tecnológicas prometedoras, aunque su adopción depende de factores de escala, costo y capacidad técnica local (Das et al., 2025; Kailashkumar et al., 2025; Ho et al., 2021). Finalmente, en valor agregado la literatura destaca el potencial de la valorización de biomasa residual cáscaras, semillas mediante tecnologías verdes para la obtención de pectinas, fibras, pigmentos y extractos funcionales como ruta de economía circular que diversifica ingresos y reduce desperdicios en la cadena (Carmen, 2023; Romero, 2025; Batista et al., 2025).

Conclusiones

1) La pitahaya se consolida como cultivo estratégico para Ecuador por su dinamismo exportador, su aporte a las economías rurales y su posicionamiento en mercados internacionales de alto valor, particularmente para la variedad amarilla (*Selenicereus megalanthus*) de la región de Palora. 2) La mejora sostenida de productividad y calidad requiere estandarización de prácticas agronómicas, fortalecimiento de las BPA y consolidación de esquemas de certificación que respondan a las exigencias crecientes de trazabilidad e inocuidad de los mercados de destino. 3) El manejo integrado de artrópodos plaga especialmente moscas de la fruta (*Anastrepha* spp.), trips, ácaros y barrenadores es una condición crítica para garantizar la calidad fitosanitaria del fruto, cumplir los límites máximos de residuos y mantener el acceso a mercados exportadores. 4) La postcosecha constituye el principal cuello de botella de la cadena: el manejo adecuado de temperatura, humedad relativa y tratamientos postcosecha sostenibles puede extender significativamente la vida útil comercial del fruto y reducir las pérdidas entre finca y mercado de destino. 5) La agroindustria y la economía circular mediante la valorización de cáscaras, semillas y pulpa fuera de especificación en ingredientes funcionales permiten diversificar los mercados, generar valor agregado y reducir desperdicios en la cadena productiva. 6) La adopción de tecnologías emergentes como la visión artificial, el análisis multispectral con drones y los sistemas IoT de cadena de frío ofrece oportunidades reales para modernizar el manejo agrícola y postcosecha, aunque su implementación debe ser gradual, contextualizada y apoyada por políticas públicas y alianzas entre sector productivo y academia.

Recomendaciones

Con base en los hallazgos del presente libro, se formulan las siguientes recomendaciones para los distintos actores de la cadena de valor de la pitahaya en Ecuador:

Para productores y asociaciones: (a) Fortalecer la asistencia técnica, los registros de campo y los programas de capacitación en BPA, con énfasis en pequeños productores de agricultura familiar. (b) Implementar análisis periódicos de suelo y tejido foliar para diseñar programas de nutrición sincronizados con la fenología del cultivo. (c) Establecer protocolos estandarizados de cosecha criterios de madurez, herramientas sanitizadas, horarios de recolección para reducir daños mecánicos y pérdidas postcosecha. (d) Adoptar programas de MIP con monitoreo sistemático mediante trampas cromáticas, trampas McPhail y muestreos poblacionales periódicos, integrando control biológico con liberación de enemigos naturales y uso responsable de agroquímicos con cumplimiento estricto de LMR para exportación.

Para la industria y exportadores: (e) Invertir en centros de acopio equipados con tecnologías de conservación (cadena de frío, atmósfera controlada) que extiendan la vida útil del fruto y reduzcan rechazos en destino. (f) Desarrollar líneas de valor agregado pulpa congelada, deshidratados, ingredientes funcionales para absorber fruta fuera de especificación y generar ingresos adicionales. (g) Avanzar en esquemas de trazabilidad digital y certificaciones reconocidas internacionalmente (GlobalG.A.P., orgánico) que amplíen el acceso a mercados premium y reduzcan riesgos de barreras fitosanitarias.

Para investigadores e instituciones académicas: (h) Desarrollar proyectos de valorización de cáscaras y subproductos con tecnologías verdes para la obtención de pectinas, betalaínas y fibras funcionales. (i) Profundizar estudios sobre la biología, ecología y manejo de las principales plagas artropódicas del cultivo en condiciones ecuatorianas, incluyendo la evaluación de insecticidas botánicos y agentes de control biológico. (j) Evaluar la viabilidad técnica y económica de herramientas de agricultura de precisión drones multispectrales, sensores IoT, modelos predictivos de plagas adaptadas a la escala productiva y capacidades de los actores locales de la cadena

Referencias bibliográficas

- Agrocalidad. (2018). Denominacion de origen "Pitahaya Amazonica de Palora". Agencia de Regulacion y Control Fito y Zoosanitario del Ecuador. <https://www.agrocalidad.gob.ec/>
- Caiza, J., Cardenas, P., Arevalo, D., & Torres, M. (2025). Caracterizacion morfologica y agronomica de accesiones de pitahaya amarilla en la Amazonia ecuatoriana. *Revista Científica Agroecuatoriana*, 12(1), 45-58.
- Carmen, F. (2023). Trends on valorization of pitaya fruit biomass through value-added products and green technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 134, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.01.010>
- GlobalSTD. (2024). Certificacion GLOBALG.A.P.: Buenas practicas agricolas (sintesis tecnica). GlobalSTD Certification. <https://www.globalstd.com/>
- Haro Benitez, M. P. (2021). Analisis del cultivo de pitahaya en Ecuador [Tesis de maestria, Universidad Internacional del Ecuador]. Repositorio UIDE.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2020). Manual del cultivo de pitahaya (Manual Tecnico No. 117). INIAP.
- Islam, M. S., Hossain, M. A., & Rahman, M. M. (2024). Assessment of soil fertility in relation to dragon fruit (*Hylocereus* spp.) production. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 49(1), 1-14. <https://doi.org/10.3329/bjar.v49i1.70000>
- Lim, T. W., Tan, T. B., Chong, G. H., & Manickam, S. (2025). Red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*), a superfruit rich in betacyanins: Stability and processing opportunities. *Food Chemistry Advances*, 5, 100215. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100215>
- Loaiza Ramirez, M. N. (2024). Pitahaya en Ecuador: Areas sembradas y exportacion [Tesis de pregrado, Universidad Politecnica Salesiana]. Repositorio UPS.

- Lucero, M., & Vallejo, P. (2024). Analisis comparativo de la evolucion de las exportaciones de pitahaya: Ecuador y Vietnam. *Ciencia Latina Revista Cientifica Multidisciplinar*, 8(3), 1-18.
- <https://doi.org/10.17221/163/2020-CJFS> Luu, T. T. H., Le, T. L., Huynh, N., & Quintela-Alonso, P. (2021). Dragon fruit: A review of health benefits and nutrients and its sustainable development under climate changes in Vietnam. *Czech Journal of Food Sciences*, 39(2), 71-94. <https://doi.org/10.17221/163/2020-CJFS>
- <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101234> Mondol, M. S. A., Islam, M. N., Hossain, M. S., & Alam, M. K. (2025). Advances in agronomic practices, postharvest handling technologies, and biomedical research related to dragon fruit (*Selenicereus* spp.). *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101234. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101234>
- Moran Suarez, E. M. (2024). Manejo fitosanitario y fertilizacion en el cultivo de pitahaya [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio UAE.
- Novillo, S. A. (2022). Pitahaya: El deshidratado como alternativa de valor agregado. Centro de Investigacion y Desarrollo del Ecuador (CIDEcuador).
- Romero, D. A. C. (2025). Pitaya peel as a functional ingredient: Pectin, phenolics and technological applications. *Food Hydrocolloids*, 158, 110456. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110456>
- Universidad Politecnica Salesiana (UPS). (2024). Analisis de la exportacion de pitahaya ecuatoriana hacia mercados internacionales [Trabajo de titulacion]. Repositorio UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/>
- Universidad Tecnica de Babahoyo (UTB). (2023). Gestion y produccion de pitahaya en Ecuador [Tesis de pregrado]. Repositorio UTB. <https://dspace.utb.edu.ec/>
- Valero, D., Valverde, J. M., & Serrano, M. (2025). Yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.): Postharvest biology, storage and quality. *Foods*, 14(2), 202. <https://doi.org/10.3390/foods14020202>

- Vallez, J. C. (2024). Postharvest quality of white-fleshed dragon fruit as influenced by preharvest fruit bagging. *International Journal of Agriculture and Technology*, 20(2), 1-12.
- Wang, X., Zhang, Y., & Liu, H. (2024). Advances in the understanding of postharvest quality changes and preservation technologies of pitaya fruit. *Foods*, 13(9), 1307. <https://doi.org/10.3390/foods13091307>
- Zambrano-Baquerizo, G., Ponce-Celi, M., & Mendoza-Villacis, R. (2025). Produccion de brotes en pitahaya amarilla y condiciones climaticas. *HexaCiencias*, 9(1), 1-12.



Ahmed El Salous

Ahmed El Salous es investigador y docente universitario con formación académica internacional, habiendo realizado sus estudios en países como Egipto, España y México, entre otros. A lo largo de su trayectoria profesional ha desempeñado destacados cargos académicos y de gestión, entre los que se incluyen Coordinador Académico, Director del Instituto de Investigación, Director de la Escuela de Posgrado y Decano de Facultad.

Ha impartido cátedra tanto dentro como fuera del Ecuador y participa activamente como docente en programas de posgrado. Asimismo, ha dirigido y tutorizado un elevado número de investigaciones en los niveles de pregrado, maestría y doctorado, contribuyendo de manera significativa a la formación de nuevos profesionales e investigadores.

Su producción académica incluye numerosas publicaciones científicas, entre ellas artículos en revistas de alto impacto, libros y capítulos de libros. Además, ha participado como ponente y asistente en diversos eventos científicos nacionales e internacionales, consolidando su experiencia, prestigio y reconocimiento en el ámbito académico y científico.



Maritza Aguirre-Munizaga

Maritza Aguirre Munizaga es ingeniera en Sistemas Computacionales, magíster en Análisis y Visualización de Datos Masivos y máster en Tecnologías de la Información y la Comunicación Aplicadas a la Educación. Se desempeña como docente e investigadora en la carrera de Computación de la Universidad Agraria del Ecuador.

Su experiencia profesional y académica se concentra en inteligencia artificial, ciencia de datos, transformación digital, tecnologías aplicadas a la educación y desarrollo de soluciones computacionales para el sector agropecuario. Ha participado en proyectos interdisciplinarios, publicaciones científicas y procesos de gestión orientados al fortalecimiento de la investigación, la innovación y la producción académica universitaria.

En el libro *La Pitahaya en el Siglo XXI: Cultivo, Tecnología, Procesamiento y Desarrollo de Mercados*, participa como coautora y aporta una perspectiva tecnológica y analítica al estudio de la cadena de valor de la pitahaya, particularmente en los ámbitos de automatización, inteligencia artificial, gestión poscosecha, sostenibilidad y desarrollo de mercados.



Rossana Castro Herrera

Rossana Castro Herrera es ingeniera agrónoma y Máster en Ciencias de las Plantas en Agricultura por la Hebrew University of Jerusalem (Israel). Es docente e investigadora de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Agraria del Ecuador. Su trayectoria académica y científica se ha desarrollado en las áreas de sanidad vegetal, con énfasis en entomología agrícola, taxonomía de insectos, manejo integrado de plagas, agroecología, ecología e investigación aplicada.

Ha participado en proyectos de investigación, publicaciones científicas y actividades de formación universitaria relacionadas con la protección vegetal, la biodiversidad de insectos y la agricultura sostenible. Su experiencia incluye el desarrollo de investigaciones orientadas al manejo fitosanitario de cultivos de importancia económica y al fortalecimiento de la producción científica.

En el libro *La Pitahaya en el Siglo XXI: Cultivo, Tecnología, Procesamiento y Desarrollo de Mercados*, participa como coautora, aportando conocimientos en sanidad vegetal y entomología agrícola, especialmente en el estudio de los artrópodos asociados al cultivo, el manejo integrado de plagas y las estrategias fitosanitarias para una producción sostenible, contribuyendo al análisis integral de la cadena de valor de la pitahaya.

ISBN: 978-9942-53-194-0



Compás
capacitación e investigación