

GRANADILLA

(*Passiflora ligularis* Juss):

CARACTERIZACIÓN ECOFISIOLÓGICA DEL CULTIVO

Luz Marina Melgarejo

Editora

 COLCIENCIAS
Fomento, Fortalecimiento e Innovación

 TODOS POR UN
NUEVO PAÍS
PAZ. EQUIDAD. EDUCACIÓN

 CEPASS
Centro de Desarrollo Tecnológico



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ
FACULTAD DE CIENCIAS

GRANADILLA
***(Passiflora ligularis* Juss):**
CARACTERIZACIÓN ECOFISIOLÓGICA
DEL CULTIVO

GRANADILLA

(Passiflora ligularis Juss):

CARACTERIZACIÓN ECOFISIOLÓGICA DEL CULTIVO

Editora:

Luz Marina Melgarejo
Profesora Titular, Departamento de Biología
Universidad Nacional de Colombia



Bogotá, D.C. Colombia. 2015

Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss): caracterización ecofisiológica del cultivo / editora, Luz Marina Melgarejo; Natalia Alejandra Rodríguez Castillo [y otros diecinueve]. – Bogotá: Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá). Facultad de Ciencias: Colciencias: Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras de Colombia – CEPASS, 2015

304 páginas : ilustraciones, fotografías

Incluye referencias bibliográficas al final de cada capítulo

ISBN: 978-958-775-396-7 (rústica) -- ISBN: 9789587753974 (e-book)

1. Granadilla - Cultivo 2. Granadilla - Ecofisiología 3. Fenología vegetal 4. Fruticultura -Colombia I. Melgarejo Muñoz, Luz Marina, 1965-, editor II. Rodríguez Castillo, Natalia Alejandra, 1989.

CDD-21 634.425 / 2015

Melgarejo, Luz Marina (Editora)

Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss): Caracterización ecofisiológica del cultivo, 2015

ISBN: 978-958-775-396-7

ISBN: 978-958-775-397-4 (e-book)

©Universidad Nacional de Colombia,

©Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras de Colombia CEPASS

Junio de 2015

Reservados todos los derechos: Queda rigurosamente prohibida, sin la autorización escrita de los titulares del Copyright, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento comprendidos, la reprografía y el tratamiento informático.

Disponible en: Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal (correspondencia: Immelgarejom@unal.edu.co), Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Ciudad universitaria - Bogotá (Carrera 30 con calle 45) Universidad Nacional de Colombia. Tel. 3165000 extensión 11334. Y en la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras de Colombia CEPASS (Calle 24 N° 5 Bis 37 Barrio Sevilla, Neiva Huila).

Corrección de Estilo: Carlos Andrés Almeyda Gómez

Diseño y diagramación: Héctor Suárez Castro

Impresión y acabados: Disonex S.A.

Impreso en Bogotá, Colombia

COAUTORES

EQUIPO TÉCNICO PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Luz Marina Melgarejo. Bióloga. Ph.D. (Investigador principal).

María Soledad Hernández. Bióloga. Ph.D.

Diego Miranda Lasprilla. Ingeniero Agrónomo. Ph.D.

Gerhard Fischer. Ingeniero Agrónomo. Ph.D.

Natalia Alejandra Rodríguez-Castillo. Bióloga.

Adriana Katherine Rodríguez-León. Ingeniera Agrónoma.

Adalberto Rodríguez Carlosama. Ingeniero Agrónomo.

Diana Sofía Espinosa. Bióloga.

Nohra Rodríguez-Castillo. Bióloga. MSc.

Marisol Parra Morera. Ingeniera Agrícola.

Lilliana Hoyos-Carvajal. Ingeniero Agrónomo. Ph.D.

Juan Pablo Fernández-Trujillo. Ingeniero Agrónomo. Ph.D.

Orlando Martínez Wilches. Ingeniero Agrónomo. Ph. D.

Walter Hernando Pérez. Químico.

Natalia Moreno Buitrago. Bióloga.

Carlos Carranza Gutiérrez. Ingeniero Agrónomo.

Sandra Yulieth Castillo Corredor. Ingeniera Agrónoma.

Camilo Andrés Piedrahita. Ingeniero Agrónomo.

Alexander Gordillo Gaitán. Ingeniero Agrónomo.

Darwin Leonel Moreno Echeverry. Ingeniero Agrónomo.

AGRADECIMIENTOS

La ejecución del proyecto “Caracterización ecofisiológica de la granadilla *Passiflora ligularis* bajo dos condiciones ambientales en el Departamento de Huila”, financiado por Colciencias –CEPASS– Universidad Nacional de Colombia, Contrato 273 de 2013, es el resultado del esfuerzo de muchas personas e instituciones gracias a los cuales es posible la publicación de este libro.

Un especial agradecimiento a los cultivadores que garantizaron la oportuna fertilización y poda en los cultivos y parcelas experimentales establecidas en sus fincas; y por su apoyo durante la logística de los muestreos:

Dagoberto Montealegre Medina. Finca: La Merced. La Argentina.

Carlos Edilso Hernández Rincón. Finca: Betania. La Argentina.

Manuel Antonio Abella Chavarro. Finca: Providencia. La Argentina.

Wilson Medina Chimbaco. Finca: Yerbabuena. Santa María.

Mario Montealegre. Finca: Yerbabuena. Santa María.

Edison Medina Chimbaco. Finca: Yerbabuena. Santa María.

Antonio Hernández. Finca: Yerbabuena. Santa María.

Adolfo Sarmiento. Finca: La Ceiba. Santa María.

Sergio Sarmiento Rodríguez. Finca: La Ceiba. Santa María.

A las personas colaboradores en labores de campo y muestreos:

Jaidi Montealegre Medina. La Argentina.

Yina Paola González Montealegre. La Argentina.

Jazmín Caviedes Sogamoso. Santa María.

Luz Marina Rodríguez. Santa María.

A las estudiantes por la colaboración en muestreos, la extracción de metabolitos, así como la realización de sus trabajos de grado los cuales han sido publicados o sometidos a revistas: Jessica Gisell Rodríguez Royero, Laura Libeth Benavides Torres, Ginna Esperanza Fernández Molano. Bogotá.

Finalmente, resaltamos el esfuerzo y la dedicación de los estudiantes, cuyos nombres aparecen como autores o colaboradores, porque, en buena medida, soportaron las cargas del trabajo de campo y de laboratorio, y participaron decisivamente en la logística de las actividades y eventos relacionados con el proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

PRESENTACIÓN

CAPÍTULO 1

CARACTERIZACIÓN ECOFISIOLÓGICA DE LA GRANADILLA
(*Passiflora ligularis* Juss) BAJO DOS CONDICIONES AMBIENTALES
EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA 17
Natalia Alejandra Rodríguez-Castillo, Luz Marina Melgarejo

CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN FENOLÓGICA DE GRANADILLA
(*Passiflora ligularis* Juss) CRECIDA A DIFERENTES ALTITUDES
EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA 53
*Adriana Katherine Rodríguez-León, Adalberto Rodríguez
Carlosama, Luz Marina Melgarejo, Diego Miranda Lasprilla,
Gerhard Fischer, Orlando Martínez Wilches*

CAPÍTULO 3

CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA, FISIOLÓGICA Y BIOQUÍMICA
DEL FRUTO DE GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss) 91
*Diana Sofía Espinosa, Walter Hernando Pérez, María Soledad
Hernández, Luz Marina Melgarejo, Diego Miranda, Gerhard
Fischer, Juan Pablo Fernández-Trujillo*

CAPÍTULO 4

UN MODELO PARA EL MANEJO DE LA NUTRICIÓN EN EL
CULTIVO DE LA GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss) 119
*Diego Miranda Lasprilla, Natalia Moreno Buitrago,
Carlos Carranza Gutiérrez*

CAPÍTULO 5

ENFERMEDADES EN GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss) 153
Lilliana María Hoyos-Carvajal, Sandra Yulieth Castillo Corredor

CAPÍTULO 6

CONTRIBUCIÓN DE LA ECOFISIOLOGÍA A LOS PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO DEL CULTIVO DE GRANADILLA

(Passiflora ligularis Juss) 177
Nohra Rodríguez-Castillo, Luz Marina Melgarejo

CAPÍTULO 7

BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS (BPA) EN EL CULTIVO DE GRANADILLA

(Passiflora ligularis Juss) 197
Adalberto Rodríguez Carlosama, Adriana Katherine Rodríguez-León

CAPÍTULO 8

COMERCIALIZACIÓN DE GRANADILLA

(Passiflora ligularis Juss) 231
Marisol Parra Morera, Adalberto Rodríguez Carlosama, Camilo Andrés Piedrahita y Alexander Gordillo Gaitan

CAPÍTULO 9

SOCIALIZACIÓN ACADÉMICA CON EL GREMIO DE AGRICULTORES DE GRANADILLA DEL HUILA

ENFERMEDADES DEL CULTIVO DE GRANADILLA

(Passiflora Ligularis Juss), PLANES DE FITOMEJORAMIENTO PARA SU MANEJO Y ECOFISIOLOGÍA 251

Natalia Rodríguez Castillo, Nohra Rodríguez-Castillo, Katherine Rodríguez-León, Lilliana Hoyos-Carvajal, Luz Marina Melgarejo

NUTRICIÓN MINERAL, BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS (BPA), FISIOLOGÍA DE FRUTO Y FENOLOGÍA DE GRANADILLA
(Passiflora ligularis Juss) 267

Rodríguez-Castillo Natalia, Rodríguez-León Katherine, Espinosa Diana, Moreno Darwin, Rodríguez Adalberto, Miranda Diego, Melgarejo Luz Marina

“... A TENER EN CUENTA PARA EL CULTIVO DE LA GRANADILLA
(Passiflora ligularis Juss)” 291

Rodríguez-León Katherine, Espinosa Diana, Rodríguez-Castillo Natalia, Rodríguez Adalberto, Miranda Diego, Melgarejo Luz Marina

PRESENTACIÓN

Este libro muestra los resultados de investigación obtenidos a través de la ejecución del proyecto “Caracterización ecofisiológica de la granadilla *Passiflora ligularis* bajo dos condiciones ambientales en el Departamento del Huila”, financiado por Colciencias.

La granadilla es una de las especies incluidas en la apuesta exportadora de Colombia en la vigencia 2019. En Colombia se cultiva en los departamentos de Huila, Cundinamarca, Boyacá, entre otros. La demanda por la fruta se ha incrementado y el sector productivo frutícola colombiano se beneficia con los precios alcanzados a nivel nacional, así como en la ventana de exportación. Los resultados obtenidos han permitido fortalecer un paquete tecnológico con el fin de consolidar la oferta exportadora y de demanda nacional e internacional.

El libro va dirigido tanto al sector académico-investigativo como al agrícola, así como a personas interesadas en avances de la investigación en el cultivo de la granadilla para su tecnificación y manejo.

En el capítulo 1, “Caracterización ecofisiológica de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) bajo dos condiciones ambientales en el departamento del Huila”, se presenta los resultados obtenidos del seguimiento ecofisiológico en los estados fenológicos vegetativo y reproductivo de plantas de granadilla sembradas bajo condiciones microclimáticas diferenciales en los municipios de La Argentina y Santa María en el departamento del Huila. Las plantas de estas localidades presentan buen desempeño fisiológico y capacidad de respuesta a baja intensidad de luz que se refleja en mayor eficiencia y producción del cultivo.

En el capítulo 2, “Caracterización fenológica de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) crecida a diferentes altitudes en el departamento del Huila”, se observa el seguimiento fenológico de granadilla que se

adelantó en parcelas experimentales ubicadas en diferentes altitudes en los municipios de Santa María y La Argentina en el departamento del Huila, durante el primer ciclo de cultivo. Se adaptó la escala extendida BBCH para esta especie, se estableció la duración de los estados fenológicos más importantes y las diferencias en la velocidad de crecimiento y desarrollo de las plantas según las condiciones climáticas propias de cada sitio de estudio. Se determinó que el establecer cultivos a altitudes inferiores a los 1.900 msnm no es óptima para el cultivador por los costos que le generan ya que se incrementan los problemas fitosanitarios, se requiere adaptaciones de sistema de riego y mayor intensidad en las labores culturales para el mantenimiento de cada unidad productiva.

En el capítulo 3, “Caracterización fisicoquímica, fisiológica y bioquímica del fruto de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss)”, se vislumbra que el éxito en el desempeño de nuestros frutos tropicales en los mercados internacionales se encuentra condicionado al reconocimiento de los retos tecnológicos y su resolución. El caso de la granadilla es una interesante oportunidad exportadora para el país y la contribución de los resultados presentados en este capítulo es dar a conocer el conocimiento tecnológico sobre aspectos de pre y poscosecha de la granadilla que incidan positivamente en el éxito de la apuesta exportadora de Colombia. Novedosas son las aproximaciones que hace este capítulo sobre la fisiología del fruto de granadilla, que con mayor cantidad de variables evaluadas, proporciona una nueva visión sobre la fisiología de esta passiflora.

En el capítulo 4, “Un modelo para el manejo de la nutrición en el cultivo de la granadilla *Passiflora ligularis* Juss”, se muestra un modelo para el manejo nutricional del cultivo de la granadilla, que se basa en el conocimiento de las condiciones edáficas del sitio de plantación, los parámetros de la calidad del agua de riego utilizada en las labores de riego y fertilización de las fincas donde se establece el cultivo, del diagnóstico visual de las deficiencias del cultivo en campo, de los rangos de absorción de nutrientes por el cultivo en su fase de establecimiento y la distribución de la masa seca en las estructuras de la planta. Pretende ser una guía orientadora del manejo nutricional del cultivo para técnicos y productores.

El capítulo 5, “Enfermedades en granadilla (*Passiflora ligularis* Juss)”, es una compilación actualizada de los principales agentes causales bióticos de enfermedades de granadilla en Colombia, además de resultados de diagnósticos recientes en el cultivo. En este se abordan las enfermedades y sus agentes causales, enfatizando en la ocurrencia de múltiples microorganismos asociados a un síntoma, el estatus taxonómico del patógeno, y la mención de algunos de los métodos de manejo disponibles en el país.

En el capítulo 6, “Contribución de la ecofisiología a los programas de mejoramiento del cultivo de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss)”, se argumenta que los programas de mejoramiento genético deben complementarse con otras disciplinas como la ecofisiología para optimizar los procesos de selección y evaluación de las accesiones. Igualmente se presentan los avances en los programas de mejoramiento del cultivo de granadilla que se han llevado a cabo en nuestro país y cómo estos se pueden enriquecer con el conocimiento del desempeño fisiológico de las plantas frente a diferentes estreses o a las condiciones ambientales. También se presenta algunos métodos que utilizan especialistas para mejora de plantas.

En el capítulo 7, “Buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de granadilla”, muestra el proceso de certificación en Buenas Prácticas Agrícolas que han desarrollado productores del Municipio de Santa María Huila, donde se resalta las bondades en la cadena de granadilla, con principios fundamentales como la higiene e inocuidad alimentaria, la conservación del medio ambiente y la seguridad de las personas. De igual manera se presenta una relación de las principales limitantes fitosanitarias, en las cuales los productores demandan mayor cantidad de agroquímicos en su control, limitando así el acceso a mercados internacionales.

En el capítulo 8, “Comercialización de granadilla”, se presenta cuál ha sido la producción de la fruta durante los últimos años y los departamentos de Colombia donde mayor se produce, el esquema de comercialización que se presenta en el país, los precios que se han alcanzado en el mercado nacional e internacional; entre otros temas

que demuestran la potencialidad que presenta el cultivo para el sector agrícola del país.

Finalmente, en el capítulo 9, “Socialización académica con el gremio de agricultores de granadilla del Huila”, se presentan los manuales utilizados en talleres días de campo con los agricultores. Dichos manuales se diseñaron con el propósito de compartir conocimiento, tanto de agricultores como de técnicos, generado en los mismos sitios donde se cultiva; con el objetivo principal de brindar herramientas para el desarrollo rural productivo y comunitario de las localidades, con miras a mejor posicionamiento en mercados nacionales e internacionales.

Luz Marina Melgarejo. Ph.D.
Profesora Titular
Departamento de Biología
Universidad Nacional de Colombia

A grayscale photograph of a Passiflora ligularis plant, showing its large, heart-shaped leaves and a thick, woody stem with several tendrils. The background is a light, textured surface.

CAPÍTULO 1

CARACTERIZACIÓN ECOFISIOLÓGICA DE LA GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss) BAJO DOS CONDICIONES AMBIENTALES EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA

*Natalia Alejandra Rodríguez-Castillo¹,
Luz Marina Melgarejo^{2*}*

¹ Natalia Alejandra Rodríguez Castillo, narodriguezc@unal.edu.co, Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Departamento de Biología – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Bióloga. Estudiante de maestría en Ciencias Agrarias.

² Luz Marina Melgarejo, Immeltgarejom@unal.edu.co, Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Departamento de Biología – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Bióloga. Ph.D.

* Autor para correspondencia.

INTRODUCCIÓN

La ecofisiología estudia y describe los mecanismos fisiológicos que se generan durante el desarrollo y crecimiento de las plantas, y que interactúan con el ambiente físico, químico y biótico (Lambers *et al.*, 2008). Además, permite explicar los mecanismos ecofisiológicos de la distribución, abundancia, supervivencia e interacción de las plantas con otros organismos (Lambers *et al.*, 2008). La ecofisiología determina las condiciones más adecuadas para poder establecer un cultivo, ya que las condiciones que ofrezcan un mínimo de estrés permiten lograr alto rendimiento y mejor calidad del producto (Fischer *et al.*, 2009).

Entre las variables ecofisiológicas más importantes a medir al momento de evaluar la respuesta fisiológica de las plantas a un ambiente, están la fluorescencia de la clorofila, la tasa fotosintética y tasa transpiratoria (variables de intercambio gaseoso), el potencial hídrico, el índice de área foliar, entre otros (Solarte *et al.*, 2010).

Parte de la energía absorbida por la hoja es transferida como energía de excitación y atrapada en los centros de reacción de los fotosistemas para seguir el proceso fotoquímico de la fotosíntesis, pero también puede tomar otras dos vías como disipación de la energía en forma de calor o puede ser reemitida en una longitud de onda mayor (y de baja energía) como fluorescencia de la clorofila (Maxwell y Johnson, 2000). La fluorescencia de la clorofila tiene una relación directa con la actividad de la clorofila en los centros de reacción fotosintéticos, y medirla permite determinar la eficiencia fotosintética y cuantificar los efectos de estrés sobre el funcionamiento del sistema fotosintético, siendo un indicador del nivel de estrés en la planta (Cavender-Bares y Bazzaz, 2004; Lambers *et al.*, 2008). El parámetro de máxima eficiencia cuántica fotoquímica del fotosistema II (PSII) también conocido como

Fv/Fm que se calcula por medio de un fluorómetro, es un indicador de fotoinhibición (inhibición de la fotosíntesis por exceso de radiación) o de otro tipo de daño en el complejo PSII; es una medida de la eficiencia máxima fotoquímica de los centros de reacción abiertos del PSII bajo condiciones de oscuridad (Brestic y Zivcak, 2013). En plantas con algún tipo de estrés o daño, la Fv/Fm se reduce; valores cercanos a 0,83 indican que la planta está en buen estado, valores por debajo de 0,70 indican que la planta presenta algún estrés por fotoinhibición o algún otro daño en el PSII (Brestic y Zivcak, 2013; Cavender-Bares y Bazzaz, 2004; Solarte *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 1999).

Para que se lleve a cabo la fotosíntesis, la planta a través de los estomas en las hojas realiza un intercambio de gases con el ambiente fijando CO₂ y liberando O₂, pero este proceso directamente implica una pérdida de agua de la planta, pues la concentración de agua en la hoja es mayor a la concentración de vapor de agua de la atmósfera (Reigosa *et al.*, 2003). A partir de sistemas portables para medir el intercambio gaseoso se pueden estimar variables ecofisiológicas como tasa fotosintética (A), tasa de transpiración (E), conductancia estomática (gs), entre otras (Solarte *et al.*, 2010).

El potencial hídrico de la planta es otra variable fisiológica que se define como el trabajo necesario para llevar el agua ligada al nivel del potencial del agua pura (MPa = 0) a una misma temperatura y presión atmosférica (Slayter y Taylor, 1960; Solarte *et al.*, 2010). El potencial hídrico influye en el crecimiento celular, la fotosíntesis y en la productividad de los cultivos, ya que es un buen indicador del estado de salud de las plantas (Taiz y Zeiger, 2010).

De los estudios relacionados con la fisiología en especies del género *Passiflora*, se han desarrollado bajo condiciones controladas y se ha evaluado el efecto de las variables climáticas de interés en el crecimiento y desarrollo de la planta. Melo *et al.* (2014), evaluaron la influencia de diferentes niveles de irrigación a través de la evapotranspiración de referencia (ET_o) y su relación con el intercambio gaseoso y el rendimiento de los frutos de dos híbridos de maracuyá en estado reproductivo, encontrando que con buena irrigación de las plantas la producción de frutos es mayor. Abreu *et al.* (2014), evaluaron el efecto de tres

niveles de radiación sobre la eficiencia fotosintética de dos híbridos de *Passiflora* “Aninha” y *Passiflora* “Priscilla”, de interés ornamental, en estado vegetativo. Pires *et al.* (2011), también evaluaron el efecto de cuatro niveles de radiación en la respuesta fisiológica en tres especies ornamentales de *Passiflora* sp. en estado vegetativo. Novo-Gama *et al.* (2013), realizaron un análisis comparativo de la eficiencia fotosintética de variedades de maracuyá en estado reproductivo (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa*) cultivadas para determinar qué variables fisiológicas están relacionadas con la producción de frutos de calidad. Por su parte, Cruz *et al.* (2012) estudiaron parámetros de intercambio de gases y fluorescencia de la clorofila en plántulas de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en vivero para evaluar el efecto de *Fusarium* sp. en la fisiología de la planta. Turner *et al.* (1996), evaluaron el efecto del déficit hídrico en el uso del agua, crecimiento, floración y fotosíntesis en híbridos de gulupa-maracuyá en estado de plántula en condiciones de vivero. Pérez-Martínez y Melgarejo (2015) caracterizaron el desempeño ecofisiológico de la gulupa, en tres condiciones ambientales a partir de la evaluación de parámetros fotosintéticos y el estado hídrico de las plantas en diferentes estados fenológicos. Staveley y Wolstenholme (1990) evaluaron el estrés hídrico en el crecimiento y floración de *Passiflora edulis* Sims injertado con *Passiflora caerulea*. Por otra parte, Menzel *et al.* (1986, 1994) evaluaron el efecto del estrés hídrico en el crecimiento de *Passiflora edulis* y el efecto de la temperatura en la conductancia estomática. Fernández *et al.* (2014) evaluaron la respuesta fisiológica de plantas de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en estado reproductivo en dos condiciones ambientales contrastantes en el municipio de Santa María, Huila, encontrando condiciones favorables para el desarrollo de esta especie.

A continuación se presentan los resultados de investigación del estudio ecofisiológico de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en cultivos experimentales localizados en los municipios de Santa María y La Argentina, en el departamento del Huila. Se evaluaron parámetros de intercambio gaseoso, fluorescencia de la clorofila y el estatus hídrico de las plantas durante su crecimiento y desarrollo en cada una de las localidades: juvenil y adulto (estado vegetativo), botón floral, floración, fruto verde y fruto maduro (estado reproductivo).

ZONAS DE ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

Los cultivos se localizaron en los municipio de Santa María - finca La Ceiba y La Argentina - finca La Merced (Tabla 1) donde se sembraron plantas de granadilla en sistema en emparrado (semitecho) con el fin de impedir la radiación directa para los frutos durante su ciclo de vida; así como el exceso de viento que pueda golpear las frutas entre sí. En cada una de las localidades (fincas), se instaló una estación metereológica (Coltein, Colombia) para monitorear las variables ambientales de radiación fotosintéticamente activa PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$), temperatura atmosférica ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa atmosférica (%) y precipitación (mm).

Tabla 1. Información general de la ubicación de los cultivos de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) evaluados en el Departamento del Huila.

MUNICIPIO	VEREDA	NOMBRE FINCA	COORDENADAS		ALTITUD (msnm)
			N	O	
Santa María	Mirador	La Ceiba	02° 57' 48,7''	075° 37'13,2''	2.060
La Argentina	Alto Carmen	La Merced	02°11'58,6''	075°55'36,3''	2.232

Se realizó un promedio general por horas en cada una de las localidades para hallar una tendencia diaria de cada una de las variables ambientales. Con los máximos y mínimos de humedad relativa y temperatura se calculó el Déficit de Presión de Vapor atmosférico (DPV) (Allen *et al.*, 2006). El DPV es una variable ambiental que afecta el intercambio gaseoso de la hoja teniendo efecto en la reducción de la conductancia estomática (gs), y por tanto en la transpiración (Solarte *et al.*, 2010; Pérez-Martín *et al.*, 2009).

La precipitación media anual para La Ceiba fue de 1.200 mm y para La Merced fue de 1.380 mm. La radiación fotosintéticamente activa o PAR promedio en el día para las dos localidades se registró en 470 μmol fotones/ m^2s , y las radiaciones más altas se registraron entre las 10:00 a 14:00 horas (Figura 1a), con un promedio de 1.200 μmol fotones/ m^2s para La Ceiba y 1.400 μmol fotones/ m^2s para La Merced. En La Ceiba

se registró un descenso en la PAR a partir de las 13:00 h, mientras en La Merced se observó un ascenso (Figura 1a). En las horas de mayor radiación (7:00-17:00h), la PAR promedio fue de 1.017 $\mu\text{mol fotones}/\text{m}^2\text{s}$ para La Ceiba y 1.038 $\mu\text{mol fotones}/\text{m}^2\text{s}$ para La Merced. En general, las dos localidades presentan condiciones de PAR muy similares a lo largo del día, a pesar de encontrarse en diferentes rangos altitudinales (Tabla 1).

La temperatura diaria fue similar entre las localidades de estudio, la temperatura promedio fue de 16°C. La temperatura promedio nocturna (18:00-6:00 h) fue de 14°C, mientras la temperatura durante el día fue entre 13 a 20°C para ambas localidades (Figura 1b). En cuanto a la humedad relativa atmosférica se observó que La Ceiba presenta valores promedios de 90% respecto a La Merced con 80%. Esta diferencia es visible entre las 7:00 a 17:00 horas donde la humedad relativa en La Ceiba está por encima del 85%, y los valores más bajos coinciden con los valores más altos de PAR. La Merced también registra los valores más bajos en las horas de mayor PAR, pero la humedad relativa desciende hasta 65%, con el menor valor a las 14:00 h (Figura 1c).

El déficit de presión de vapor (DPV) es mayor en La Merced (0,40 kPa) seguido de La Ceiba (0,23 kPa). El promedio en horas de mayor radiación (7:00-17:00h) es mayor el DVP en La Merced (0,60 kPa) seguido de La Ceiba (0,35 kPa) (Figura 1d).

Teniendo en cuenta lo anterior, la temperatura promedio de 16°C que se registra para las localidades de estudio se encuentra dentro del rango de 14 a 24°C reportado por Fischer *et al.* (2009), en donde se presenta un mejor rendimiento de los cultivos de granadilla. El promedio de horas luz en el día para las localidades en estudio es de 10 horas, coincidiendo con las horas luz promedio que requieren las plantas de granadilla para un mejor rendimiento del cultivo como lo ha reportado Didier (2001) y Castro (2001). El DPV registrado en las dos fincas, es menor comparado con lo registrado para *Passiflora edulis* Sims en Cundinamarca (Colombia) con valores de 0,5 y 0,6 kPa en el momento de mayor PAR, mayor temperatura y baja humedad relativa (Pérez-Martínez y Melgarejo, 2015).

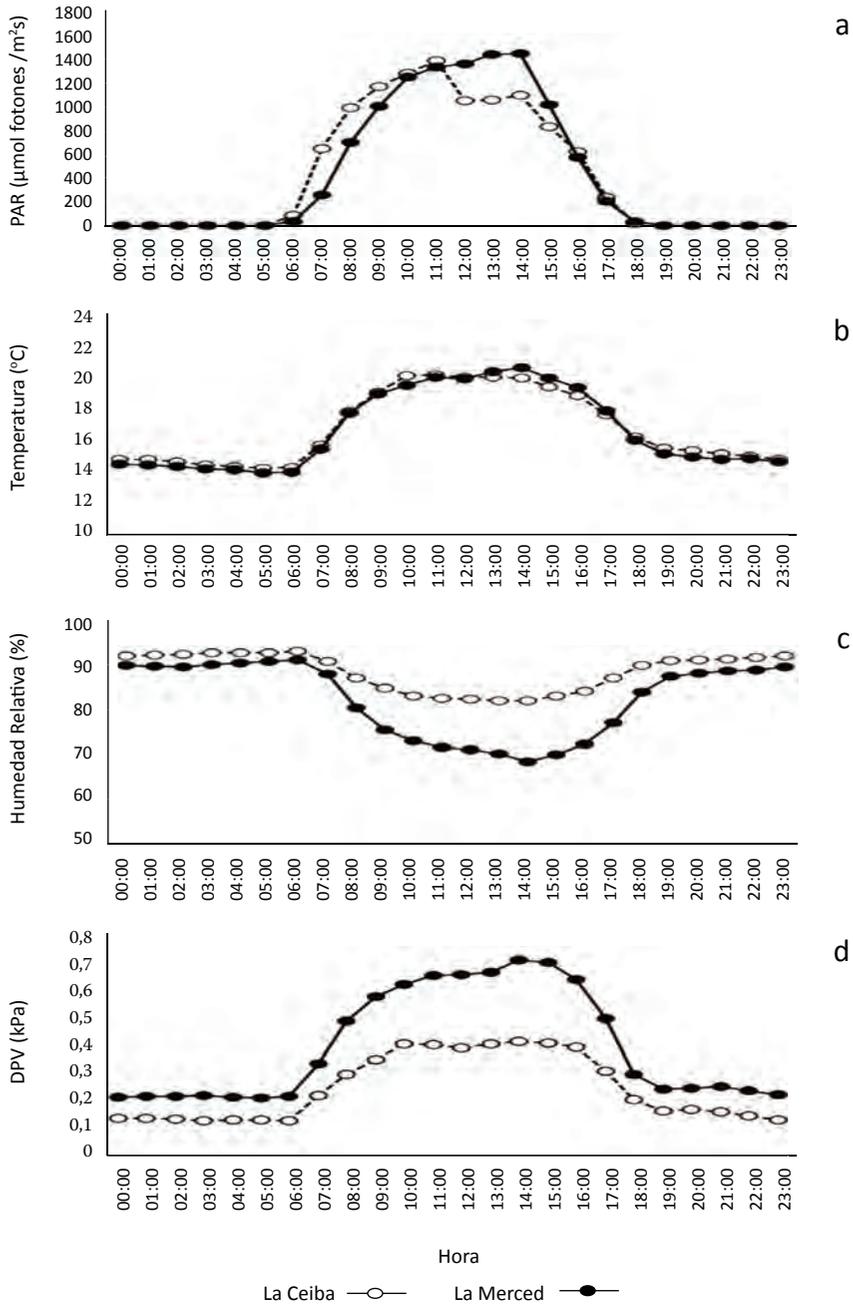


Figura 1. Promedio diario de variables climáticas en las localidades de estudio, La Ceiba (Santa María) y La Merced (La Argentina). a) Radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{mol fotones}/\text{m}^2\text{s}$), b) Temperatura atmosférica ($^{\circ}\text{C}$), c) Humedad Relativa atmosférica (%) y d) Déficit de presión de vapor (kPa).

ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE LA GRANADILLA EN CONDICIONES DE CAMPO

Se realizó una curva de respuesta a la luz al comienzo del estado vegetativo y reproductivo a partir de varias repeticiones, ajustando al modelo Michaelis Menten (Solarte *et al.*, 2010), para determinar el punto de saturación lumínica de la fotosíntesis. Con este punto, para posteriores evaluaciones, se sometieron las plantas a condiciones de PAR saturante con el propósito de que las plantas estuvieran bajo condiciones para su máxima capacidad fotosintética. El punto de saturación lumínica para plantas de La Ceiba fue de 704 y 792 μmol fotones / m^2s , y para La Merced de 1408 y 968 μmol fotones / m^2s en estado vegetativo y reproductivo, respectivamente.

Curva de respuesta a la luz en estado vegetativo

Las curvas de respuesta de la fotosíntesis a la luz proporcionan información fotosintética de las plantas a diferentes niveles de intensidad de radiación. Dentro de los parámetros estimados se encuentra el punto de compensación por luz (PCL), donde la asimilación neta de CO_2 por fotosíntesis es igual a la pérdida de CO_2 por procesos respiratorios. Otro parámetro estimado a partir de la curva es la tasa fotosintética máxima a saturación por luz ($A_{\text{máx}}$) y el rendimiento cuántico (ϕ) que es la cantidad de moles de CO_2 fijadas por la cantidad de moles de fotones de luz absorbida (Solarte *et al.*, 2010). En la figura 2 y tabla 2 se resumen los parámetros obtenidos a partir de las curvas de luz. Las plantas en La Ceiba presentan una capacidad fotosintética alta y un mayor rendimiento cuántico respecto a La Merced. El punto de compensación por luz (PCL) es menor en plantas de La Merced respecto a La Ceiba; de acuerdo con esto las plantas de La Merced tienen mayor capacidad de realizar fotosíntesis a valores bajos de radiación, aun teniendo en cuenta el sistema de siembra en emparrado, como se ha reportado en algunas especies cultivadas y ornamentales de *Passiflora* (Abreu *et al.*, 2014; Pérez-Martínez y Melgarejo, 2012; Pires *et al.*, 2011) donde puede haber un incremento de ganancia de carbono con baja radiación, y por lo tanto mayor eficiencia invertida en la maquinaria fotosintética.

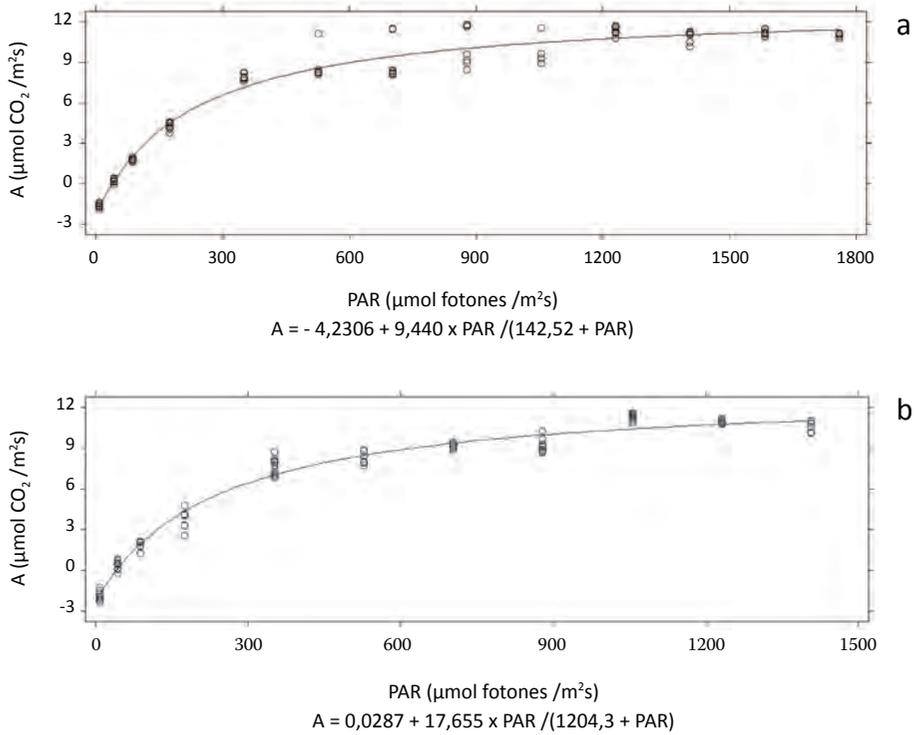


Figura 2. Curvas de saturación lumínica de la fotosíntesis en plantas de granadilla en estado vegetativo. a) La Ceiba - Santa María ($R^2 = 0,92$). b) La Merced - La Argentina ($R^2 = 0,96$).

Tabla 2. Parámetros estimados a partir del ajuste de las curvas de luz (A/PPFD) en plantas de granadilla en estado vegetativo. $A_{m\acute{a}x}$ = Tasa fotosintética máxima, PCL = Punto de compensación por luz, R_d = Respiración por oscuridad, $PPFD_{m\acute{a}x}$ = Punto de saturación por luz, Φ_{PPFD} = Rendimiento cuántico de PSII. $n = 4$.

LOCALIDAD	MODELO	$A_{m\acute{a}x}$ ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$)	PCL ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)	R_d ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$)	$PPFD_{m\acute{a}x}$ ($\mu\text{mol fotones}/\text{m}^2\text{s}$)	Φ_{PPFD} ($\mu\text{mol fotones}/\mu\text{mol CO}_2$)
La Ceiba	Michaelis Menten	19,44	39,63	4,23	285,04	0,036
La Merced	Michaelis Menten	17,82	7,15	0,10	2498,2	0,017

Estado vegetativo juvenil: 25 semanas después de siembra

El intercambio de gases implica el intercambio de CO_2 y H_2O entre el interior de la planta y el medio que la rodea. Dichos procesos están ligados a la fotosíntesis y a la transpiración en las plantas (Bernacchi *et al.*, 2012), ya que a partir de la fotosíntesis la planta acumula materia seca y produce asimilados como carbohidratos necesarios para el desarrollo de las plantas.

La figura 3 muestra parámetros de intercambio gaseoso y de fluorescencia de la clorofila de las plantas de granadilla para las localidades de estudio. En general, las plantas de La Ceiba presenta los valores más altos de tasa fotosintética (A) durante la mañana (Figura 3a), estos valores son similares a los reportados para *Passiflora* "Priscilla" bajo una intensidad de luz de $950 \mu\text{mol fotonos/m}^2\text{s}$ (Abreu *et al.*, 2014). Igualmente entre las 9:00 a 13:00 horas la tasa transpiratoria (E) y la conductancia estomática (gs) (Figura 3b y 3c) registran sus valores más altos, al igual que lo reportado por Abreu *et al.* (2014) para dos híbridos de *Passiflora*; sin embargo, la tendencia de la tasa fotosintética (A), la conductancia estomática (gs) y la tasa transpiratoria (E) es a disminuir a lo largo del día. Las plantas de la Ceiba y La Merced presentan un comportamiento característico de plantas que se adaptan a condiciones de alta intensidad de luz, disminuyendo parámetros fotosintéticos para evitar daño en la maquinaria fotosintética y evitar la pérdida de agua (Figura 3). A pesar de que la tasa fotosintética (A) disminuye en las plantas de las dos localidades cuando se registran valores altos de PAR, no indica una posible fotoinhibición del aparato fotosintético (Pérez-Martínez y Melgarejo, 2012). Sin embargo, la sensibilidad al exceso de luz depende de la especie y por esto la dinámica diaria en la cinética de la fluorescencia es especie específica (Pollet *et al.*, 2009).

El uso eficiente del agua WUEe (A/E) está definido como una medida instantánea de la eficiencia en relación al CO_2 asimilado, usado en la bioquímica de la fotosíntesis y el agua perdida por transpiración a través de los estomas (Bacon, 2004). La relación de las concentraciones de CO_2 intercelular a ambiente (C_i/C_a) es usada como una medida del punto de control del metabolismo de intercambio de gases para entender

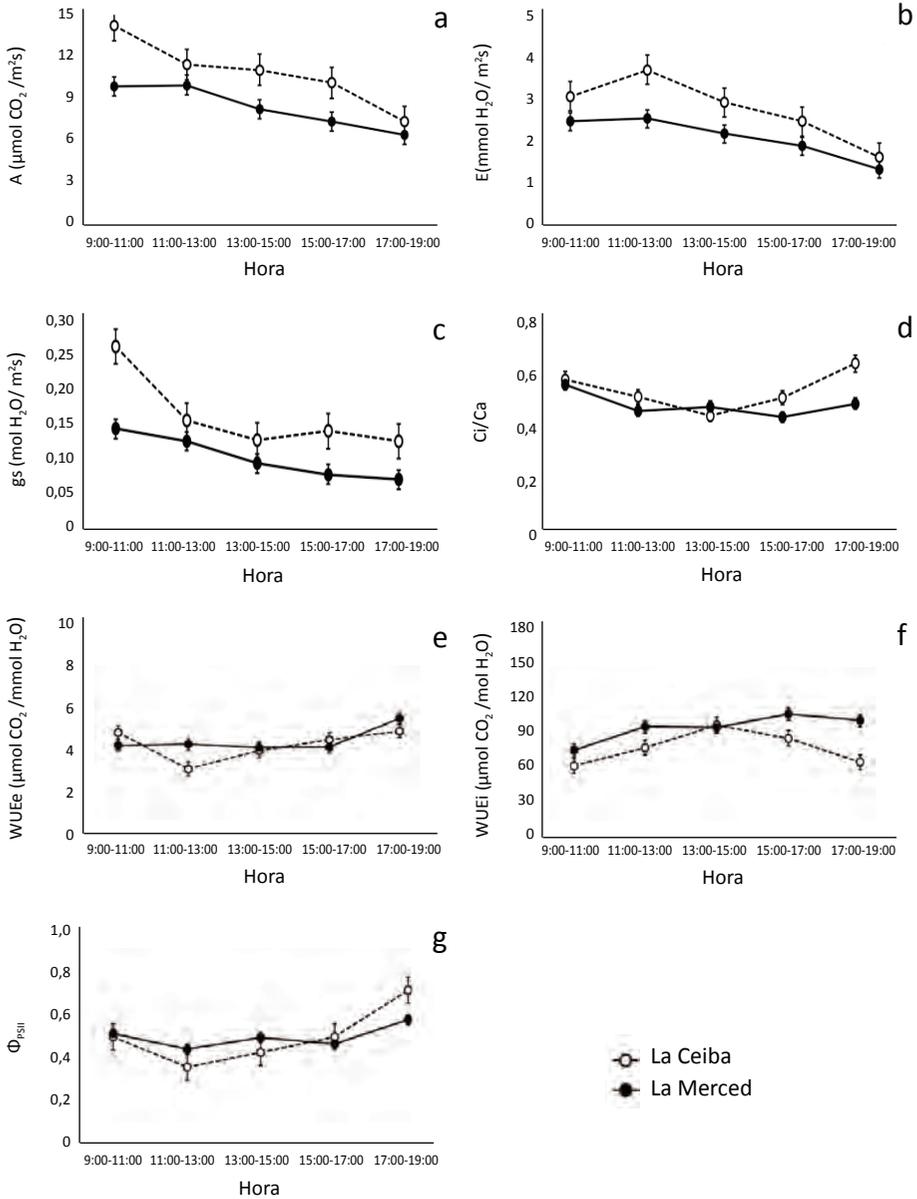


Figura 3. Parámetros de intercambio gaseoso y fluorescencia en plantas de granadilla en estado vegetativo juvenil. a) Tasa fotosintética (A), b) Tasa transpiratoria (E), c) Conductancia estomática (g_s), d) Carbono interno/Carbono atmosférico (Ci/Ca), e) Uso eficiente del agua extrínseco (WUE_e), y f) Uso eficiente del agua intrínseca (WUE_i), g) rendimiento cuántico del fotosistema II (PSII). Las barras representan el error estándar (n = 10).

cómo las plantas responden a cambios en el ambiente; representa un balance entre la tasa de difusión de CO₂ interno (controlado por la conductancia estomática g_s) y el CO₂ asimilado (controlado por las reacciones de la fotosíntesis) (Ehleringer y Cerling, 1995).

El uso eficiente WUE_i (A/ g_s) aumenta y la relación C_i/C_a disminuye hacia el mediodía cuando la radiación, la temperatura y el déficit de presión (DPV) son altas (Figuras 3d y 3f). La respuesta de la planta bajo estas condiciones es cerrar estomas (Yamori *et al.*, 2006), esto se ve reflejado en la disminución de la conductancia estomática (g_s) y la tasa transpiratoria (E) (Figuras 3b y 3c), por lo tanto disminuye la tasa fotosintética al reducir la asimilación de CO₂.

Los valores de Φ_{PSII} son bajos al comienzo del día cuando la PAR es mayor (Figura 3g), esto indicaría que hay menor cantidad de energía que llega a los centros de reacción y que pueden ser utilizados en la fotosíntesis (Chaumont *et al.*, 1994). Es decir, a mayor radiación hay un exceso de fotones (luz) y por tanto todo el aparato fotosintético no puede responder rápidamente a esta cantidad de energía; es posible la planta presente fotoinhibición dinámica (inhibición de la fotosíntesis que no genera daño prolongado) que disminuye a medida que disminuye la radiación en las horas de la tarde, con aumento de Φ_{PSII} (Figuras 1a y 3g) (Pérez-Martínez y Melgarejo, 2012).

El potencial hídrico del suelo al mediodía y en prealba fue más negativo en La Ceiba respecto a La Merced (Figura 4a). Sin embargo, el potencial hídrico del suelo evidencia que éstas plantas en ambas localidades no se encuentran sometidas a déficit hídrico. Montenegro y Malagón (1990) han reportado para suelos donde se cultivan especies de *Passiflora* con valores de potencial hídrico entre -0,06 a -0,08 MPa es donde el rendimiento del cultivo puede verse afectado; sin embargo, el potencial hídrico del suelo para los cultivos de estudio están cerca de -0,03 MPa, lo cual no genera daño para la planta. Respecto al potencial hídrico foliar de la granadilla para las dos localidades (Figura 4a), los valores observados no indican algún tipo de estrés hídrico ya que los valores (-0,15 a -0,2 MPa) están por debajo de lo registrado para otras especies de *Passiflora* sometidas a estrés por déficit hídrico (-3.1 a

-3.7 MPa) (Turner *et al.*, 1996). El potencial hídrico foliar en prealba es menos negativo, ya que las plantas pierden poca cantidad de agua por transpiración, y la toma de agua por las raíces en este momento ha compensado lo perdido en transpiración durante el día; por lo tanto, en ninguna de las localidades las plantas presentan algún grado de deficiencia hídrica en los tejidos foliares, como se ha reportado en Gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en el departamento de Cundinamarca, Colombia (Pérez-Martínez y Melgarejo, 2012). Los valores de Fv/Fm registrados para las dos localidades fueron de 0,84, indicando que no hay daño del fotosistema ni síntomas de estrés en las plantas (Maxwell y Johnson, 2000), por el contrario, evidencian una conversión eficiente de la energía a nivel del PSII (Baker, 2008).

Teniendo en cuenta lo anterior, en este primer estado vegetativo se dio un mejor desempeño fotosintético en las plantas de La Ceiba, dada por una alta tasa fotosintética. Sin embargo, en general las plantas de ambas localidades presentan un buen estado hídrico y estado del fotosistema II (PSII), indicando que no se está generando algún estrés que afecte el desempeño del cultivo. Además, se evidencia un buen

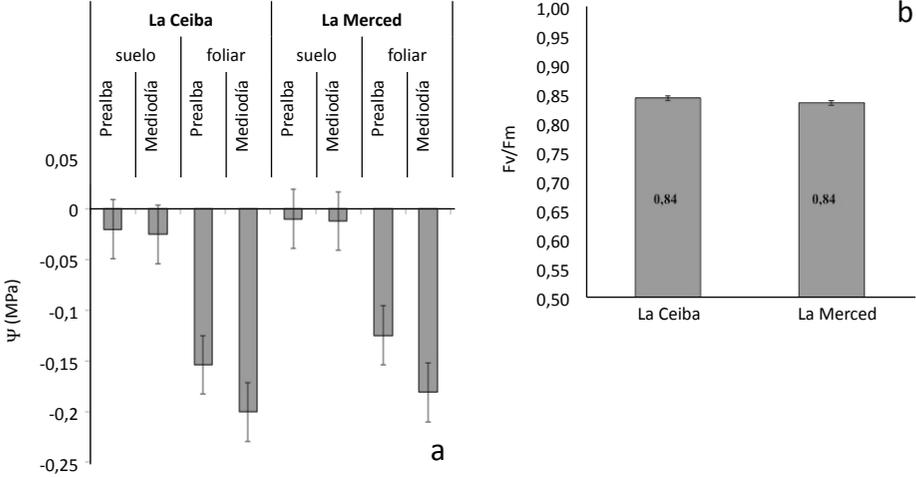


Figura 4. a) Potencial hídrico foliar y del suelo (MPa) y b) Máxima eficiencia cuántica del PSII (Fv/Fm) en plantas de granadilla en estado vegetativo juvenil. Las barras representan el error estándar (n = 15).

desempeño ecofisiológico ya que estas plantas pueden registrar altas tasas fotosintéticas a una menor intensidad de luz y tener un mejor estado hídrico como se ha registrado en otras especies de *Passiflora* (Pérez-Martínez y Melgarejo, 2015; Abreu *et al.*, 2014; Fernández *et al.*, 2014; Pires *et al.*, 2011).

Estado vegetativo adulto: 40 semanas después de siembra

En estado vegetativo adulto no se observan diferencias en la tasa fotosintética (A) de las plantas de las localidades de estudio (Figura 5a). Sin embargo, la tasa fotosintética (A) en vegetativo adulto es menor para las plantas de La Ceiba (Figura 5a), en comparación al estado juvenil donde pasa de aproximadamente 14 a 12 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$ en las horas de mayor radiación (Figura 3a). Este comportamiento sucede también en la tasa transpiratoria (E) y la conductancia estomática (gs) (Figura 5b, c). Esta disminución puede estar relacionada con el desarrollo o edad de las hojas y la planta, ya que la fotosíntesis disminuye después de la madurez de las hojas o a medida aumenta la edad de la planta, o por una acumulación de carbohidratos o por limitación de la capacidad fotosintética (Campostrini *et al.*, 2001; Rojas *et al.*, 2012). Durante el desarrollo de la hoja ocurren procesos simultáneos como síntesis de clorofilas, multiplicación de cloroplastos, expansión del área foliar y otros, que varían en el tiempo y alteran procesos del aparato fotosintético (Niinemets *et al.*, 2012).

En general, se observa un descenso de la conductancia estomática (gs) y de la tasa transpiratoria (E) (Figura 5) en comparación al estado juvenil (Figura 3). Este descenso es ligeramente menor hacia el mediodía (mayor radiación) asociado a un aumento en el uso eficiente del agua intrínscico (WUEi). Este aumento en el WUEi puede ser un mecanismo de las plantas al estrés generado por altas radiaciones hacia el mediodía para evitar perder agua, que se refleja en una disminución de la tasa fotosintética (A) y la conductancia estomática (gs) (Niglas *et al.*, 2014). Los valores de Φ_{PSII} son similares a los reportados en el estado juvenil (Figura 3g y Figura 5g).

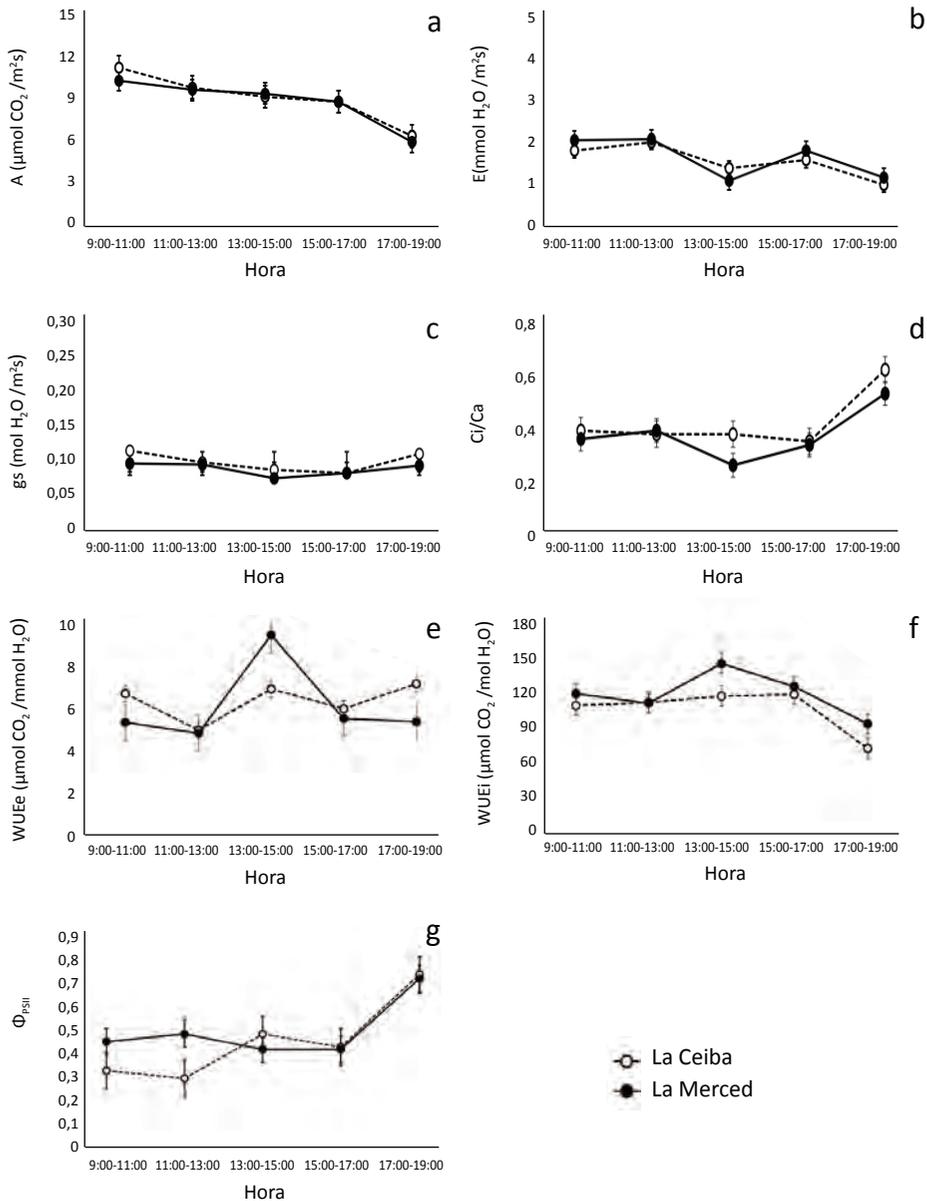


Figura 5. Parámetros de intercambio gaseoso y fluorescencia en plantas de granadilla en estado vegetativo adulto. a) Tasa fotosintética (A), b) Tasa transpiratoria (E), c) Conductancia estomática (g_s), d) Carbono interno/Carbono atmosférico (Ci/Ca), e) Uso eficiente del agua extrínseco (WUE_e), f) Uso eficiente del agua intrínseca (WUE_i) y g) rendimiento cuántico del fotosistema II (PSII). Las barras representan el error estándar (n = 10).

El potencial hídrico del suelo fue similar en las dos fincas, aunque ligeramente menos negativo en La Merced. En prealba los potenciales hídricos foliares fueron similares aunque ligeramente menos negativos en las plantas de La Ceiba; en tanto que el potencial hídrico foliar a mediodía fue más negativo para plantas de La Ceiba (Figura 6a). Adicionalmente se encontraron potenciales hídricos menos negativos respecto al estado juvenil.

La disponibilidad de agua en el suelo es una variable que afecta los parámetros de intercambio gaseoso; se ha reportado que valores altos de WUE bajo alta radiación están relacionados con respuestas de las plantas al estrés por agua como estrategia para evitar pérdida de agua (Abreu *et al.*, 2014). El aumento del potencial hídrico hacia el mediodía afecta la tasa de transpiración (E) y la conductancia estomática (gs) que disminuyen, y aumenta el uso eficiente del agua intrínseco (WUEi). Los valores de Fv/Fm registrados para las dos localidades fueron de 0,87 (Figura 6b), indicando que no hay daño del fotosistema ni síntomas de estrés en las plantas (Maxwell y Johnson, 2000), similar a lo que sucede en el estado juvenil (Figura 4b).

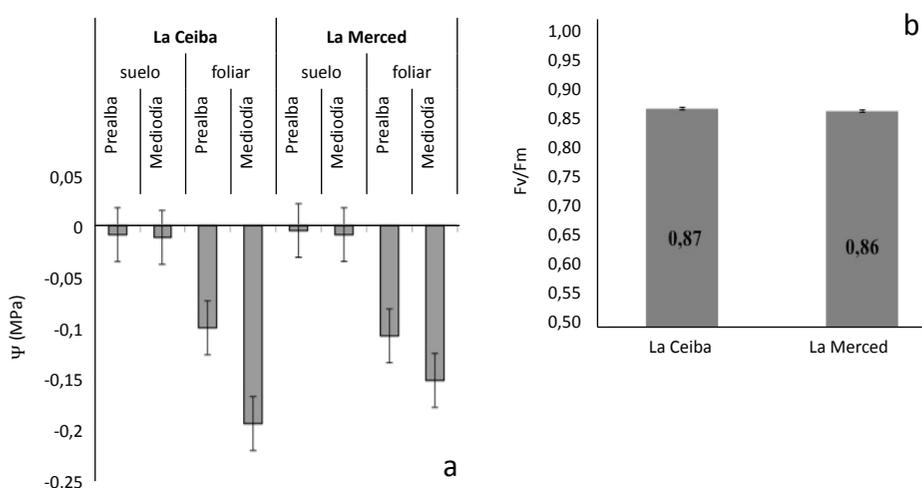


Figura 6. a) Potencial hídrico foliar y del suelo (MPa) y b) Máxima eficiencia cuántica del PSII (Fv/Fm) en plantas de granadilla en estado vegetativo adulto. Las barras representan el error estándar (n=15).

Curva de respuesta a la luz en estado reproductivo

Las curvas de respuesta a la luz para las plantas de estas dos localidades no muestran diferencias (Figura 7 y Tabla 3). El punto de compensación por luz (PCL) y la tasa fotosintética máxima a saturación por luz ($A_{m\acute{a}x}$) es similar entre las plantas de estas localidades. La PAR saturante y la tasa fotosintética máxima a saturación por luz ($A_{m\acute{a}x}$) es menor respecto al estado vegetativo (Tabla 2), esto puede ser porque en el estado vegetativo las hojas de las plantas tienen como principal función ser los \u00f3rganos fuente asimilando el CO_2 para producir mayor contenido de fotoasimilados para el crecimiento y desarrollo de los frutos (Niinemets *et al.*, 2012; Marchi *et al.*, 2005; Campostrini *et al.*, 2001). Los valores

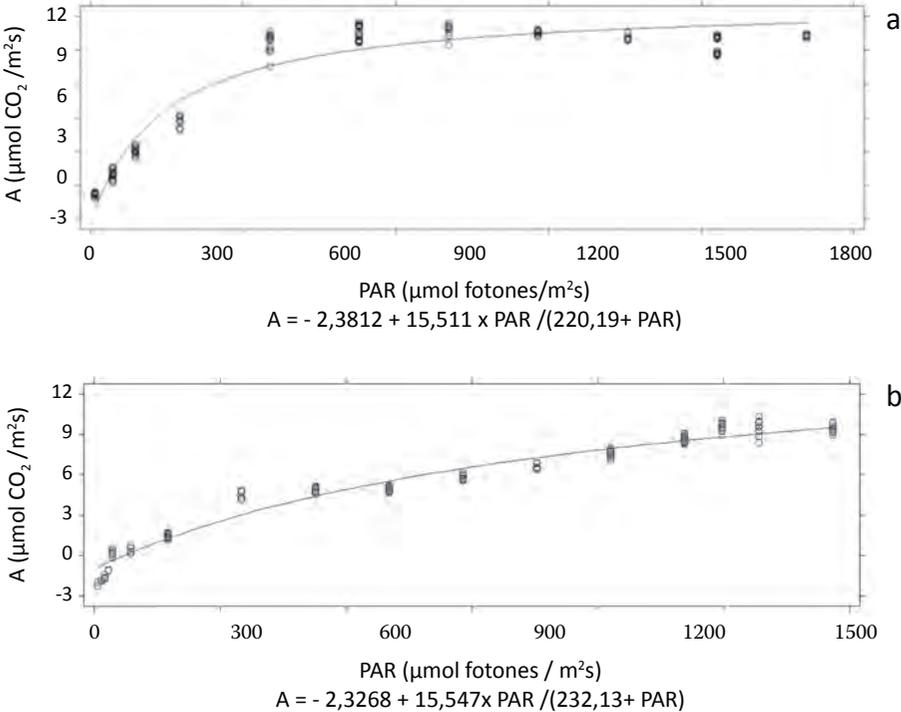


Figura 7. Curvas de saturaci\u00f3n lum\u00ednica de la fotos\u00edntesis en plantas de granadilla en estado reproductivo. a) La Ceiba - Santa Mar\u00eda ($R^2 = 0,92$) y b) La Merced - La Argentina ($R^2 = 0,96$). ($n = 4$).

Tabla 3. Parámetros estimados a partir del ajuste de las curvas de luz (A /PPFD) en plantas de granadilla en estado reproductivo. $A_{m\acute{a}x}$ = Tasa fotosintética máxima, PCL = Punto de compensación por luz, R_d = Respiración por oscuridad, $PPFD_{m\acute{a}x}$ = Punto de saturación por luz, Φ PPFD = Rendimiento cuántico de PSII.

LOCALIDAD	MODELO	$A_{m\acute{a}x}$ ($\mu\text{mol CO}_2$ / m^2s)	PCL (μmol / m^2s)	R_d ($\mu\text{mol CO}_2$ / m^2s)	$PPFD_{m\acute{a}x}$ (μmol fotones/ m^2s)	Φ_{PPFD} (μmol fotones/ $\mu\text{mol CO}_2$)
La Ceiba	Michaelis Menten	15,51	39,93	2,38	440,38	0,034
La Merced	Michaelis Menten	15,55	40,85	2,32	232,13	0,034

de la tasa fotosintética máxima a saturación por luz ($A_{m\acute{a}x}$) y del punto de compensación por luz (PCL) son característicos de plantas adaptadas a condiciones de sombra (Taiz y Zeiger 2010; Aleric y Kirkman, 2005), así como para otras especies de *Passiflora* (Abreu *et al.*, 2014; Pires *et al.*, 2011). Las plantas adaptadas a estas condiciones deben maximizar la absorción de luz. Por otra parte, y teniendo en cuenta el sistema de siembra en emparrado en el que se realizó el estudio, la disminución de la $A_{m\acute{a}x}$ en estado reproductivo respecto al estado vegetativo, es un indicio de que esta especie presenta una alta plasticidad que les permite adaptarse a las condiciones de radiación (Abreu *et al.*, 2014; Pires *et al.*, 2011).

Estado de botón floral: 46 semanas después de siembra

En el primer estado reproductivo correspondiente a la formación botón floral, la tasa fotosintética (A) fue similar para las plantas de las dos localidades durante el día, excepto al final de la tarde donde la tasa disminuyó en plantas de La Ceiba respecto a plantas de La Merced (Figura 8a). Además, se encontró aumento de la tasa de transpiración (E) en plantas de La Merced que no se observó en los estados vegetativos, relacionado con una disminución considerable en el uso eficiente del agua extrínseco (WUE_e) (Figura 8e). En general, la tendencia de

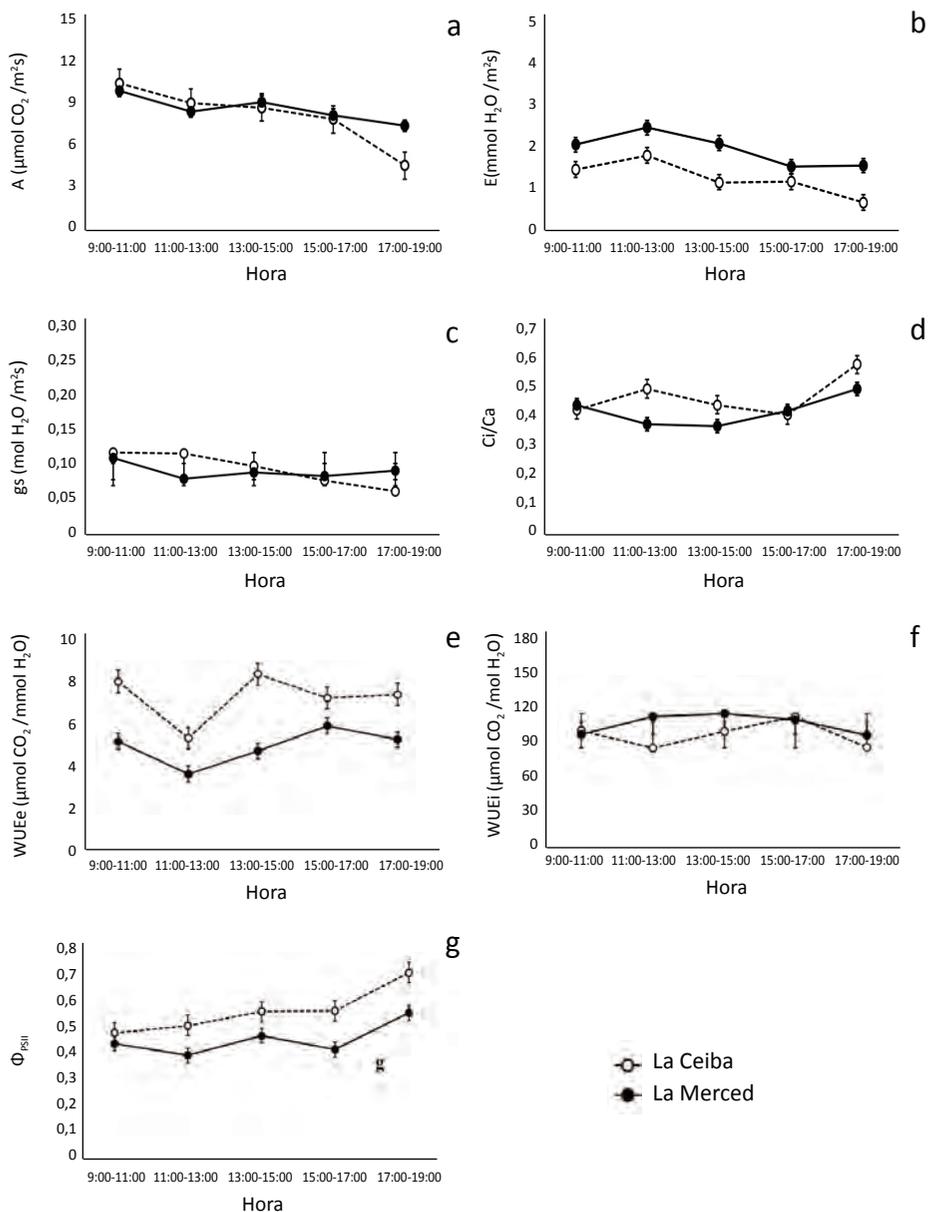


Figura 8. Parámetros de intercambio gaseoso y fluorescencia de la clorofila en plantas de granadilla en estado reproductivo botón floral. a) Tasa fotosintética (A), b) Tasa transpiratoria (E), c) Conductancia estomática (g_s), d) Carbono interno/Carbono atmosférico (Ci/Ca), e) Uso eficiente del agua extrínseco (WUE_e), f) Uso eficiente del agua intrínseco (WUE_i) y g) rendimiento cuántico del fotosistema II (PSII). Las barras representan el error estándar (n = 10).

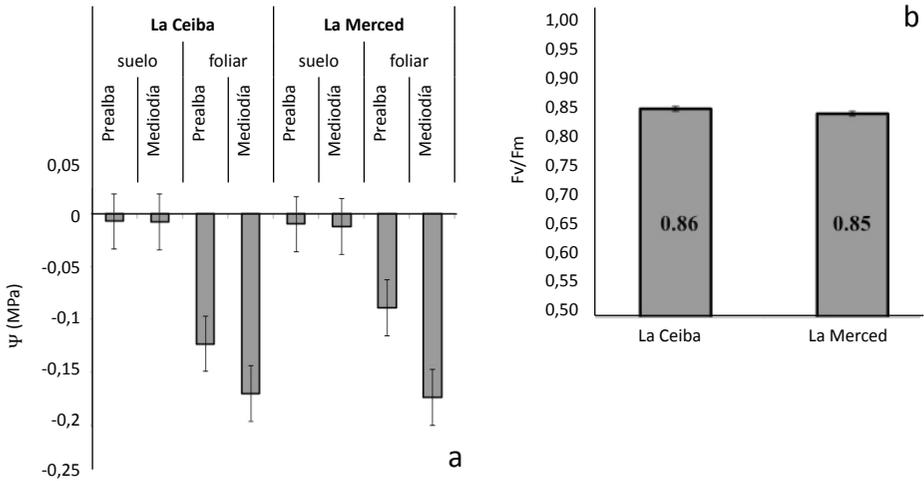


Figura 9. a) Potencial hídrico foliar y del suelo (MPa) y b) Máxima eficiencia cuántica del PSII (Fv/Fm) en plantas de granadilla en estado reproductivo botón floral. Las barras representan el error estándar (n=15).

disminución de la conductancia estomática (gs) y la tasa transpiratoria (E) cuando se presenta alta radiación al comienzo del día está sujeto a un aumento en la temperatura acompañado de una disminución de la humedad relativa, por lo tanto la planta usa como mecanismo minimizar pérdida de agua por transpiración, por lo que aumenta los valores del uso eficiente del agua o WUEe (Ocheltree *et al.*, 2014). Este comportamiento se presenta en gulupa (*Passiflora edulis* Sims) y otras especies bajo condiciones ambientales similares (Pérez-Martínez y Melgarejo, 2015; Buckley *et al.*, 2003). El menor rendimiento cuántico fotoquímico del fotosistema II (Φ_{PSII}) coincide con una mayor radiación durante el día, plantas de La Ceiba registra valores más altos respecto a La Merced (Figura 8g).

El potencial hídrico del suelo en prealba y al mediodía fue similar para ambas localidades (Figura 9a) indicando que no hay problema de déficit de agua. En cuanto al potencial hídrico foliar tanto en prealba como al medio día no se observan diferencias significativas, aunque el del pre alba fue menos negativo en plantas de La Merced. Sin embargo, teniendo en cuenta lo reportado para otras especies de *Passiflora* (Pérez-Martínez y Melgarejo, 2015; Turner *et al.*, 1996) las plantas de

granadilla utilizadas en el presente estudio no presentaron algún tipo de estrés hídrico. Los valores de Fv/Fm registrados para las dos localidades estuvieron cerca de 0,86, indicando que no hay daño del fotosistema ni síntomas de estrés en las plantas (Figura 9b) (Maxwell y Johnson, 2000). Adicionalmente, estos valores de Fv/Fm al igual que en otras especies de *Passiflora* (Abreu *et al.*, 2014).

Estado reproductivo de floración: 55 semanas después de siembra

En el estado de floración, se observa que la tasa de fotosíntesis (A) para las plantas de las dos localidades es mayor en las horas de la mañana (Figura 10a), donde la radiación aun no es máxima. La tasa transpiratoria (E) y la conductancia estomática (gs) son bajas en comparación a los valores registrados en etapas tempranas de desarrollo de las plantas. En el momento de mayor radiación en el día (13:00 a 15:00 h) para La Merced, la conductancia estomática (gs), la relación Ci/Ca y rendimiento cuántico fotoquímico del fotosistema II (Φ_{PSII}) son menores, mientras que el uso eficiente del agua intrínseca (WUEi) presenta mayor valor comparado con La Ceiba (Figura 10).

Este comportamiento de disminuir la fotosíntesis en etapas del desarrollo de estructuras reproductivas ha sido reportado para otras especies (Antlfinger y Wendel, 1997); sin embargo, también ha sido reportado que esta variación en la tasa fotosintética depende de la época del año y cambios diarios en las condiciones ambientales (Zhang *et al.*, 2005).

El potencial hídrico foliar fue más negativo en las plantas de La Ceiba en comparación a La Merced, principalmente en los valores registrados hacia el mediodía que coincide con los valores más altos de radiación (Figura 11a). Por otro lado, el potencial hídrico del suelo fue más negativo en La Merced que en La Ceiba tanto en prealba como al mediodía. Sin embargo, las plantas presentan un buen estado hídrico bajo cualquiera de las dos condiciones.

La Fv/Fm (Figura 11b) registró valores óptimos en las dos localidades, indicando que a pesar de la alta radiación no genera algún tipo de estrés

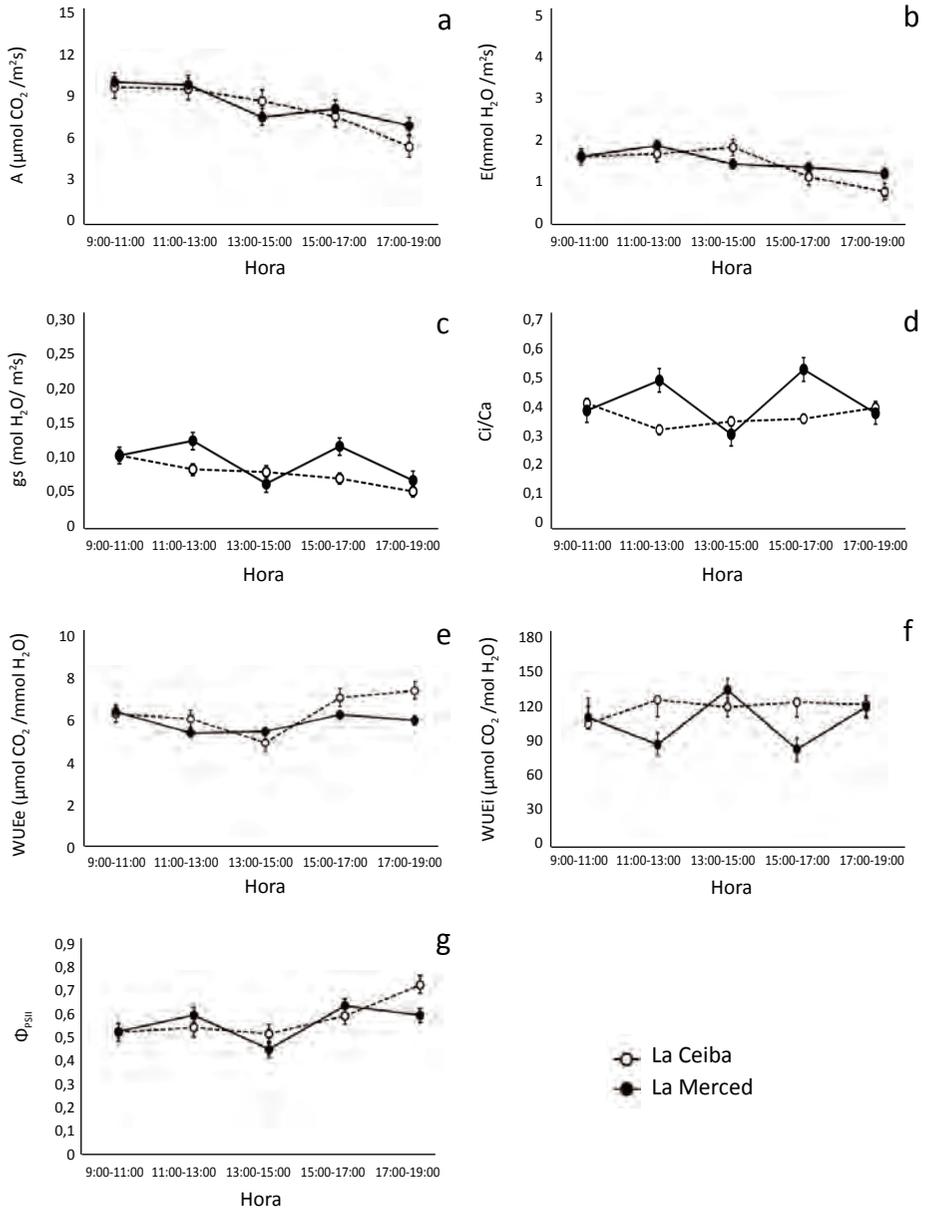


Figura 10. Parámetros de intercambio gaseoso y fluorescencia de la clorofila en plantas de granadilla en estado reproductivo floración. a) Tasa fotosintética (A), b) Tasa transpiratoria (E), c) Conductancia estomática (g_s), d) Carbono interno/Carbono atmosférico (C_i/C_a), e) Uso eficiente del agua extrínseco (WUE_e), f) Uso eficiente del agua intrínseca (WUE_i) y g) rendimiento cuántico del fotosistema II (Φ_{PSII}). Las barras representan el error estándar ($n = 10$).

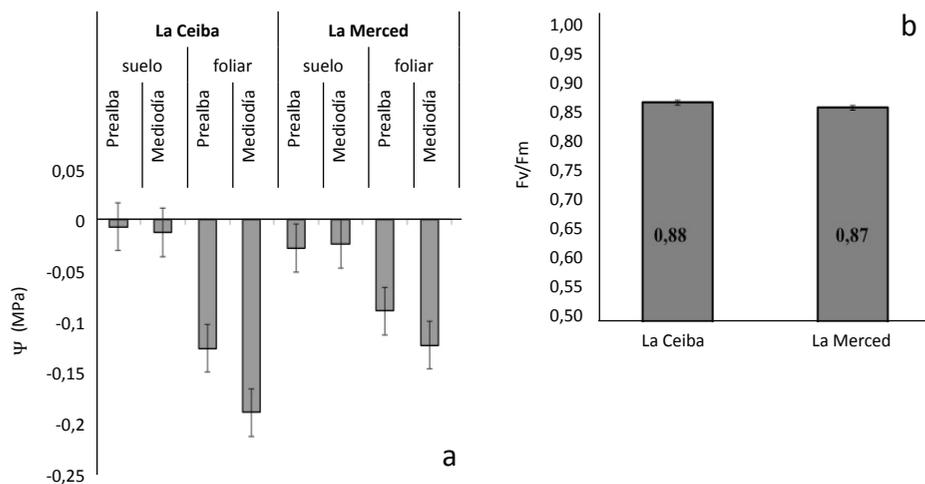


Figura 11. a) Potencial hídrico foliar y del suelo (MPa) y b) Máxima eficiencia cuántica del PSII (Fv/Fm) en plantas de granadilla en estado reproductivo floración. Las barras representan el error estándar (n=15).

o daño en el fotosistema II. Este valor de Fv/Fm indican una conversión eficiente de la energía lumínica (Abreu *et al.*, 2014).

Estado reproductivo de fruto verde: 56 semanas después de siembra

En este estado se encontraron diferencias en los parámetros ecofisiológicos. La tasa fotosintética (A), la conductancia estomática (gs), la relación Ci/Ca y el uso eficiente del agua extrínseco (WUEe) es mayor en plantas de La Ceiba en comparación a plantas de La Merced (Figura 12). El menor rendimiento cuántico fotoquímico del fotosistema II (Φ_{PSII}) coincide con una mayor radiación durante el día, donde las plantas de La Ceiba registra los valores más altos respecto a las plantas de La Merced (Figura 12g) como se observa también en el estado vegetativo. A pesar de que las plantas de La Merced registra valores más bajos en la mayoría de los parámetros ecofisiológicos, las plantas en esta localidad presentan un mayor uso eficiente del agua intrínseco (WUEi) como un posible mecanismo para reducir la pérdida de agua durante las horas de mayor radiación.

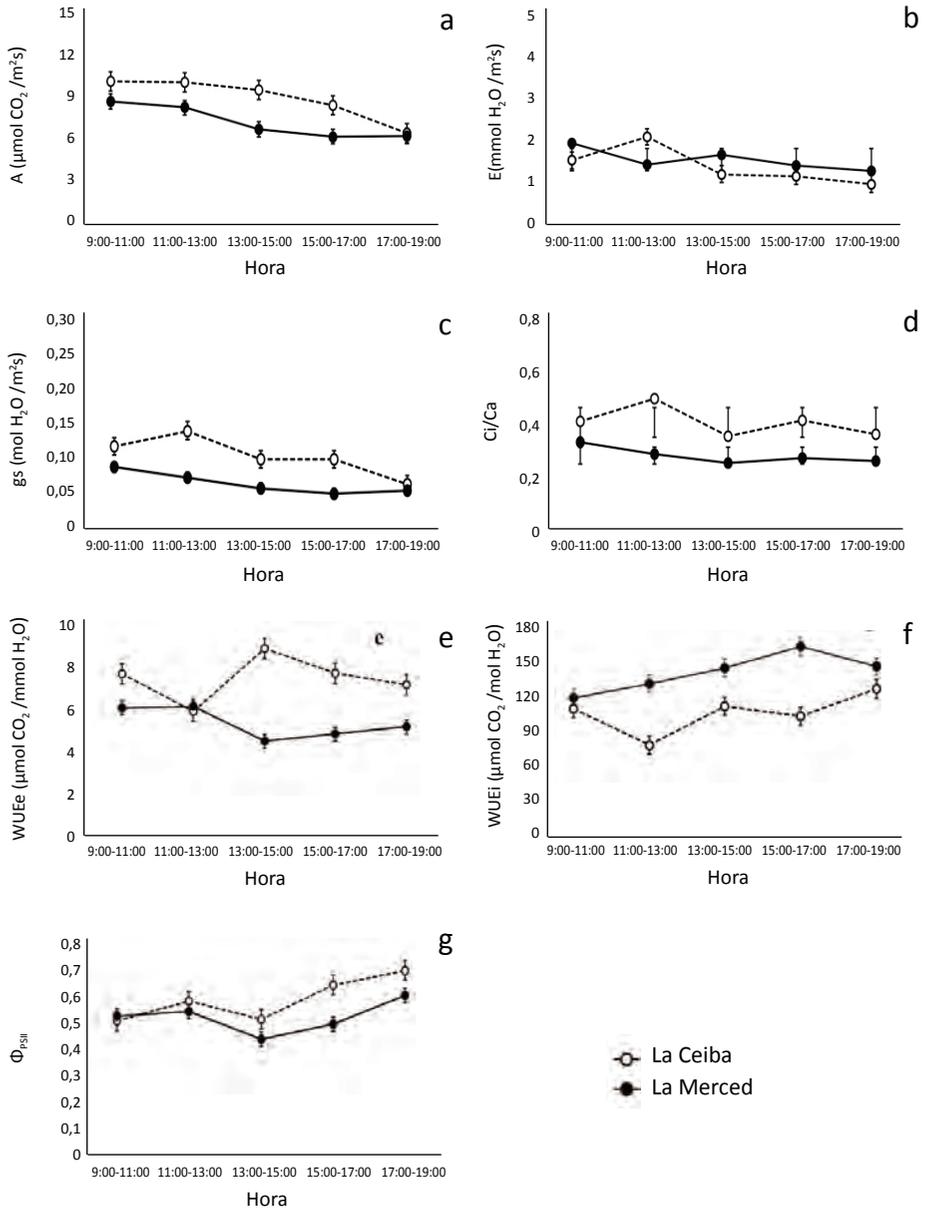


Figura 12. Parámetros de intercambio gaseoso y fluorescencia de la clorofila en plantas de granadilla en estado reproductivo fruto verde. a) Tasa fotosintética (A), b) Tasa transpiratoria (E), c) Conductancia estomática (g_s), d) Carbono interno/Carbono atmosférico (Ci/Ca), e) Uso eficiente del agua extrínseco (WUE_e), f) Uso eficiente del agua intrínseca (WUE_i) y g) rendimiento cuántico del fotosistema II (PSII). Las barras representan el error estándar (n = 10).

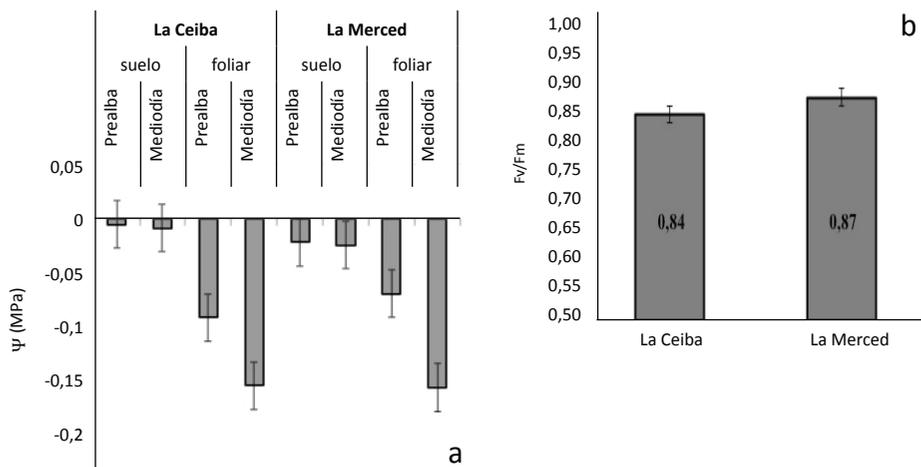


Figura 13. a) Potencial hídrico foliar y del suelo (MPa) y b) Máxima eficiencia cuántica del PSII (Fv/Fm) en plantas de granadilla en estado reproductivo fruto verde. Las barras representan el error estándar (n=15).

En cuanto al potencial hídrico foliar no se observaron diferencias entre las dos localidades (Figura 13a). Aunque en prealba, en plantas de La Merced, este potencial es ligeramente menos negativo indicando un buen estado hídrico de las plantas para las dos localidades, ya que como se ha mencionado en los demás estados fenológicos los valores no indican algún grado de estrés por déficit hídrico. El potencial hídrico del suelo fue ligeramente más negativo en La Merced respecto a La Ceiba (Figura 13a).

Las plantas de La Ceiba registraron una eficiencia cuántica máxima del fotosistema II o Fv/Fm ligeramente menor respecto a las plantas de La Merced (Figura 13b); aunque los valores están por encima de los reportados en literatura (Maxwell y Johnson, 2000), indicando que no presentan algún grado de estrés.

Estado reproductivo de fruto maduro: 63 semanas después de siembra

En este estado de fruto maduro, es el estado fenológico donde el fruto en la planta ha adquirido las condiciones adecuadas y requeridas por el mercado (color, tamaño y forma).

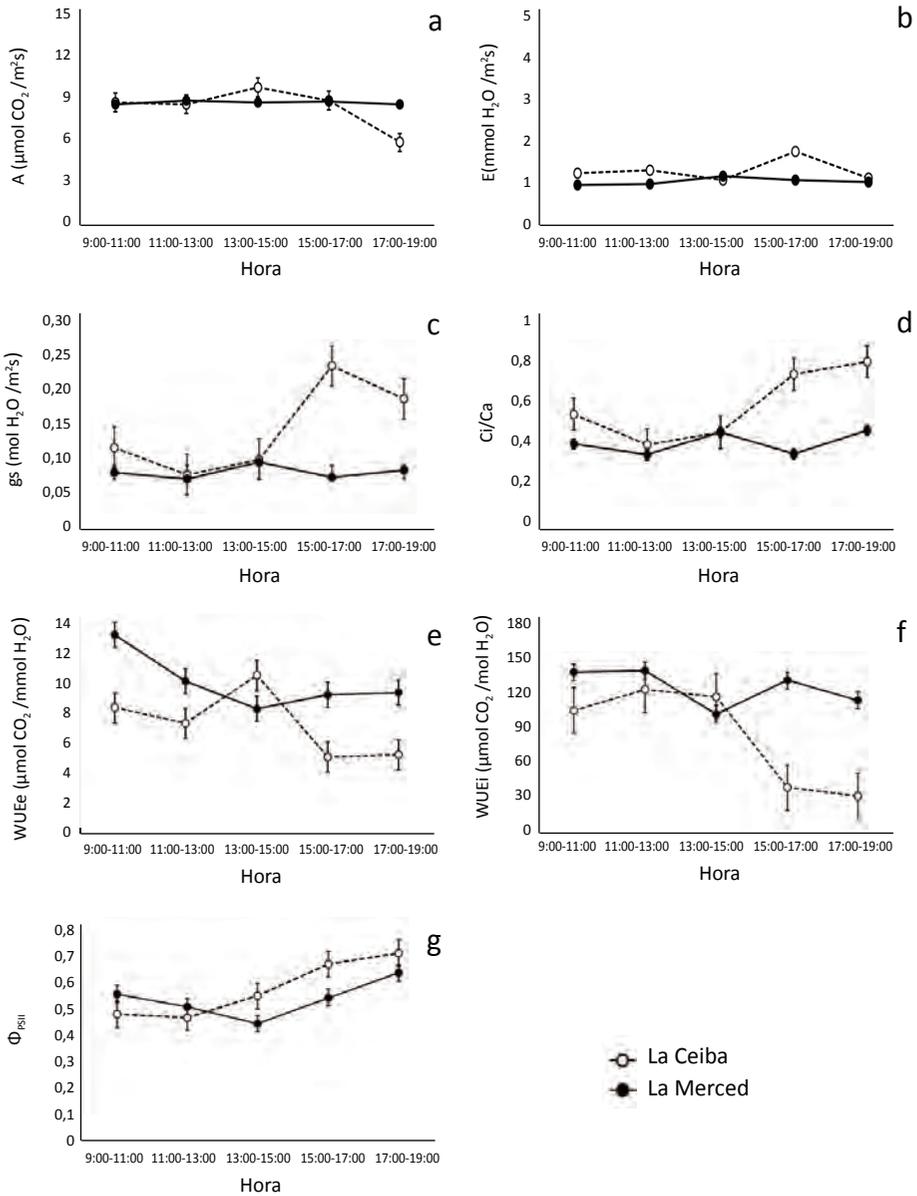


Figura 14. Parámetros de intercambio gaseoso y fluorescencia de la clorofila en plantas de granadilla en estado reproductivo fruto maduro. a) Tasa fotosintética (A), b) Tasa transpiratoria (E), c) Conductancia estomática (g_s), d) Carbono interno/Carbono atmosférico (Ci/Ca), e) Uso eficiente del agua extrínseco (WUE_e), f) Uso eficiente del agua intrínseca (WUE_i) y g) rendimiento cuántico del fotosistema II (PSII). Las barras representan el error estándar ($n = 10$).

En la figura 14, se observa tendencia de la tasa fotosintética (A) a mantenerse en el tiempo; aunque para las plantas de La Ceiba, se observa aumento de la conductancia estomática (gs) y de la relación Ci/Ca, y disminución de la tasa fotosintética (A) en las horas de la tarde (13:00 a 17:00 h). Se ha reportado que en este estado es donde los frutos (vertedero) tienen mayor demanda de asimilados por parte de las hojas (fuente), lo que puede generar competencia de los asimilados entre los frutos y las hojas adyacentes a estos, resultando en una limitación del desarrollo y del suministro nutricional de las hojas fuente (Zhang *et al.*, 2005).

En plantas de La Ceiba en las horas de la tarde (13:00 a 17:00 h), se observa que el uso eficiente del agua intrínseco (WUEi) disminuye en tanto que la conductancia estomática aumenta (Figura 14), indicando menor uso eficiente del agua en horas de la tarde.

El potencial hídrico foliar no evidencia algún tipo de estrés hídrico en las plantas de las dos localidades, como ya se ha observado en los demás estados fenológicos. En plantas de La Merced el potencial hídrico foliar en prealba es más negativo respecto a La Ceiba (Figura

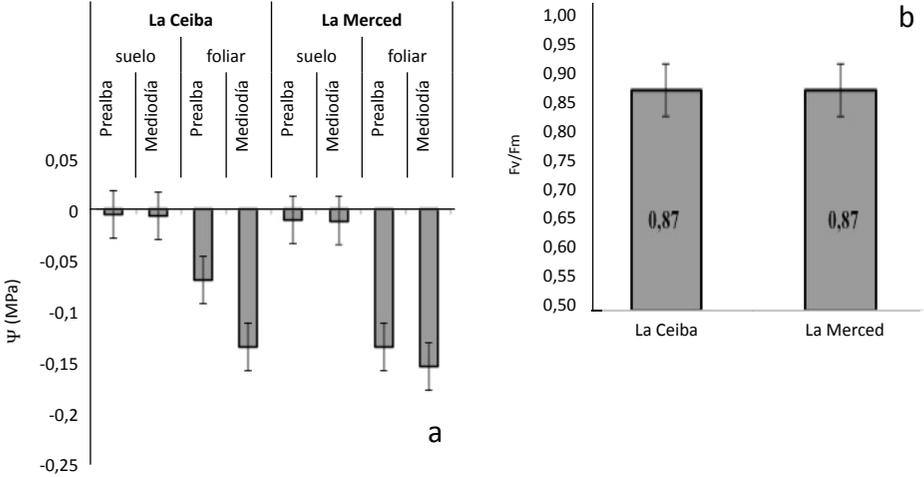


Figura 15. a) Potencial hídrico foliar y del suelo (MPa) y b) Máxima eficiencia cuántica del PSII (Fv/Fm) en plantas de granadilla en estado reproductivo fruto maduro. Las barras representan el error estándar (n = 15).

15a). El potencial hídrico del suelo referencia un buen estado hídrico del suelo ya que los valores son cercanos a 0 MPa (Figura 15b). Por otra parte, los valores de F_v/F_m se encuentran dentro del rango que indica no evidencia de algún tipo de daño del fotosistema II (Maxwell y Johnson, 2000).

A partir de los resultados obtenidos del análisis ecofisiológico de plantas de granadilla bajo dos condiciones en el departamento del Huila, se concluye que las plantas presentan un buen estado hídrico en cada una de las localidades de estudio, de acuerdo con los valores reportados por Turner *et al.* (1996) para hojas de *Passiflora* sp. con rangos de -0,9 MPa en plantas bien drenadas y -3,1 a -3,7 MPa en plantas sometidas a estrés por déficit hídrico. Las plantas de granadilla registraron valores de potencial hídrico en horas de mayor radiación por debajo de -0,25 MPa en los diferentes estados fenológicos, pero por encima de lo registrado en el estado de fructificación para plantas de *Passiflora edulis* donde se registraron valores entre -0,80 a -1,3 MPa (Pérez-Martínez y Melgarejo, 2015). Por lo tanto, no hay indicio de algún tipo de estrés hídrico porque para llegar a un estado de estrés leve se requiere que el potencial esté alrededor de -1,5 MPa en donde se presenta cierre estomático parcial y aumento en la fotorrespiración (Reigosa *et al.*, 2003).

En cuanto al potencial hídrico del suelo, los valores promedio registrados están por debajo de -15kPa (-0,015 MPa), esto evidencia que estas plantas no se encuentran sometidas a déficit hídrico. Montenegro y Malagón (1990) han reportado que valores entre -60 a -80kPa (-0,06 y -0,08 MPa, respectivamente) es donde el rendimiento del cultivo puede verse afectado.

Según Tardieu y Simmoneau (1998), de acuerdo al comportamiento del potencial hídrico a lo largo del día, las plantas de granadilla parece exhiben un comportamiento anisohídrico, donde el estado hídrico de la planta cambia de acuerdo a las condiciones cambiantes del día; es decir, el potencial hídrico no se mantiene cuando la demanda evaporativa o el potencial hídrico del suelo varían a medida que cambian las variables climáticas en el ambiente (Pérez, 2013). Como se evidencia,

los valores de tasa transpiratoria (E) son altos; según Comstock y Mencuccini (1998) este comportamiento está ligado a aumentos de DPV en plantas anisohídricas, como se observó en los estados fenológicos de la granadilla.

De acuerdo a los resultados obtenidos durante el crecimiento y desarrollo de la granadilla bajo los ambientes evaluados, se puede considerar que las mejores condiciones para un buen desempeño fisiológico de la planta es el que se reporta en la tabla 4.

Tabla 4. Promedio diario de las variables ambientales más importantes para el desarrollo de las plantas de granadilla en La Ceiba (Santa María) y La Merced (La Argentina).

VARIABLE AMBIENTAL		LOCALIDAD	
		LA CEIBA (SANTA MARÍA)	LA MERCED (LA ARGENTINA)
PAR (horas de máxima radiación μmol fotones/m ² s)		1.267	1.474
Temperatura atmosférica (°C) promedio diaria	Diurna (7:00-17:00 h)	19,2	19,3
	Nocturna (18:00-6:00h)	14,7	14,4
Humedad relativa (%)	Diurna (7:00-17:00 h)	84	73
	Nocturna (18:00-6:00h)	93	89
Déficit de presión de vapor (kPa)		0,23	0,40
Precipitación media anual (mm)		1.200	1.380

En la tabla 4 se muestran las condiciones ambientales diarias de cada una de las localidades de estudio. Se observa que las dos localidades presentan condiciones óptimas para la producción de granadilla. Además, las plantas de estas localidades presentan alta plasticidad fenotípica a los cambios en la intensidad de luz, que se refleja en mayor eficiencia fotosintética a baja intensidad de luz. Es importante resaltar que el aumento en el rendimiento de los cultivos debe ir acompañado

de un manejo adecuado y preventivo de otras prácticas culturales como planes de fertilización, manejo fitosanitario, entre otros.

REFERENCIAS

ABREU, P.; SOUZA, M.; ALMEIDA, A-AF.; SANTOS, E.; FREITAS, C.; FIGUEIREDO, A. (2014). Photosynthetic responses of ornamental passion flower hybrids to varying light intensities. *Acta Physiologiae Plantarum*. Publicado en línea: 25 de mayo de (2014).

ALERIC, K.M.; KIRKMAN, K. (2005). Growth and photosynthetic responses of the federally endangered shrub, *Lindera melissifolia* (Lauraceae), to varied light environments. *American Journal of Botany*. 92: pp. 682-689.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; SMITH, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. p. 1-265.

ANTLIFINGER, A.E.; WENDEL, L.F. (1997). Reproductive effort and floral photosynthesis in *Spiranthes cernua* (Orchidaceae). *American Journal of Botany*. 84: pp. 769-780.

BACON, M.A. (2004). Water use efficiency in plant biology. En: Bacon M.A. (Ed.), *Water use efficiency in plant biology*. Blackwell. pp. 1-26.

BAKER, N. (2008). *Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis in vivo*. *Annual Review of Plant Biology*. 59: pp. 89-113.

BERNACCHI, C.; DÍAZ-ESPEJO, A.; FLEXAS, J. (2012). Chap. 9. Gas-exchange analysis: basics and problems. En: *Terrestrial photosynthesis in a changing environment: a molecular, physiological, and ecological approach*. Jaume Flexas, Francesco Loreto y Hipólito Medrano (Eds). Cambridge University Press. pp. 115-130.

BRESTIC, M.; ZIVCAK, M. (2013). PSII fluorescence techniques for measurement of drought and high temperature stress signal in crop plants: protocols and applications. En: *Molecular stress physiology of plants*. Rout G.R. y Das A.B. (Eds) Springer. pp. 87-131.

BUCKLEY, T.N.; MOTT, K.A.; FARQUHAR, G.D. (2003). A hydromechanical and biochemical model of stomatal conductance. *Plant Cell Environment*. 26(10): pp. 1767-1785.

CAMPOSTRINI, E.; KIYOSHI, O.; MARTÍNEZ, C. (2001). Leaf gas exchange characteristics of four papaya genotypes during different stages of development. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 23(3): pp. 522-525.

CASTRO, L. (2001). *Guía básica para el establecimiento y mantenimiento del cultivo de la granadilla*. Asociación Hortofrutícola de Colombia ASOHOFRUCOL. Bogotá, Colombia. p. 75.

CAVENDER-BARES, J.; BAZZAZ, F.A. (2004). Chapter 29. From leaves to ecosystems: using chlorophyll fluorescence to assess photosynthesis and plant function in ecological studies. En: *Advances in Photosynthesis and Respiration*. Volumen 19. Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis. George C. Papageorgiou y Govindjee editores. Springer, Dordrecht, Holanda. pp. 737-755.

CHAUMONT, M.; MOROT-GAUDRY, J.; FOYER, C.H. (1994). Seasonal and diurnal changes in photosynthesis and carbon partitioning in *Vitis vinifera* leaves in vines with and without fruit. *Journal of Experimental Botany*. 45: pp. 1235-1243.

COMSTOCK, J.; MENCUCINI, M. (1998). Control of stomatal conductance by water potential in *Hymenoclea salsola* (T & G), a desert subshrub. *Plant, Cell and Environment*. 21: pp. 1029-1038.

CRUZ-AGUILAR, M.; HOYOS-CARVAJAL, L.; MELGAREJO, L.M. (2012). Respuesta fisiológica de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims) frente al ataque por *Fusarium* spp. Melgarejo, L.M. (eds). *Ecofisiología del cultivo de la Gulupa (Passiflora edulis Sims)*. Universidad Nacional de Colombia. pp. 91-113.

DIDIER, C. (2001). Growing passion fruit. *Tropical Fruits Newsletter*. 38-39, pp. 24-27.

EHLERINGER, J.R.; CERLING, T.E. (1995). Atmospheric CO₂ and the ratio of intercellular to ambient CO₂ concentrations in plants. *Tree Physiology*. 15: pp. 105-111.

FERNÁNDEZ, G.E.; MELGAREJO, L.M.; RODRÍGUEZ, N.A. (2014). Algunos aspectos de la fotosíntesis y potenciales hídricos de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) en estado reproductivo en el Huila, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 8 (2): pp. 206-216.

FISCHER, G.; CASIERRA-POSADA, F.; PIEDRAHÍTA, W. *et. al.* (2009). *Ecofisiología de las especies pasifloráceas cultivadas en Colombia*. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá, Colombia. pp. 45-67.

LAMBERS, H.; CHAPIN, F.; PONS, T. (2008). *Plant physiological ecology*. Segunda edición. Springer, New York, USA. p. 605.

LEE, H.; CHOW, W.; HONG, Y. (1999). Photoinactivation of photosystem II in leaves of *Capsicum annum*. *Physiologia Plantarum*. 105: pp. 377-384.

MARCHI S.; SEBASTIANI L. (2005). Sink-source Transition in Peach Leaves during Shoot Development. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 130(6): pp. 928-935.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. (2000). Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *Journal of Experimental Botany*. 51(345): pp. 659-668.

MELO, A.; SILVA, J.; FERNANDES, P.; DUTRA A.; BRITO M.E.; SILVA F. (2014). Gas exchange and fruit yield of yellow passion fruit genotypes irrigated with different rates of ETo replacement. *Journal of Biosciences*, 30 (1): pp. 293-302.

MENZEL, C.M.; SIMPSON, D.R.; DOWLING, A.J. (1986). Water relations in passion fruit: effect of moisture stress on growth flowering and nutrient uptake. *Scientia Horticulturae*. 29: pp. 239-249.

MENZEL, C.M.; TURNER, D.W.; DOOGAN, V.J.; SIMPSON, D.R. (1994). Root-shoot interactions in passion fruit (*Passiflora* sp.) under the influence of changing root volumes and soil temperatures. *Journal of Horticultural Science*. 69: pp. 553-564.

MONTENEGRO, H.; MALAGÓN, D. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. p 342-353.

NIGLAS, A.; KUPPER, P.; TULLUS, A.; SELLIN, A. (2014). Responses of sap flow, leaf gas exchange and growth of hybrid aspen to elevated atmospheric humidity under field conditions. *AoB Plants*. 6: pp. 1-14.

NIINEMETS, Ü.; GARCÍA-PLAZAOLA, J.I.; TOSENS, T. (2012). *Photosynthesis during leaf development and ageing*. En: *Terrestrial Photosynthesis in a Changing Environment. The Molecular, Physiological and Ecological Bases of Photosynthesis Driving Its Response to the Environmental Changes* (eds J. Flexas, F. Loreto y H. Medrano). Cambridge University Press, Cambridge, UK.

NOVO-GAMA, V.; TAVARES-CUNHA, J.; MELO-LIMA, I.; BACARIN, M.A.; MAOURA-SILVA, D. (2013). Photosynthesis characteristics and quality of five passion fruit varieties under field conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*. 35: pp. 941-948.

OCHELTREE, T.W.; NIPPERT, J.B.; PRASAND., V.V. (2014). Stomatal responses to changes in vapor pressure deficit reflect tissue-specific differences in hydraulic conductance. *Plant Cell Environment*. 37(1): pp. 132-139.

PÉREZ-MARTÍN, A.; FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; BOTA, J.; TOMÁS, M.; INFANTE, J.M.; DÍAZ-ESPEJO, A. (2009). Interactive effects of soil water deficit and air vapour pressure deficit on mesophyll conductance to CO₂ in *Vitis vinifera* and *Olea europaea*. *Journal of Experimental Botany*. 60 (8): pp. 2391-2405.

PÉREZ-MARTÍNEZ, L.; MELGAREJO, LM. (2015). Photosynthetic performance and leaf water potential of gulupa (*Passiflora edulis* Sims, *Passifloraceae*) in the reproductive phase in three locations in the Colombian Andes. *Acta Biológica Colombiana*. 20 (1): pp. 83-194.

PÉREZ-MARTÍNEZ, L.; MELGAREJO, LM. (2012). Capítulo 1. Caracterización ecofisiológica de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) bajo tres condiciones ambientales en el departamento de Cundinamarca. En: Melgarejo L.M., editora. *Ecofisiología del cultivo de gulupa (Passiflora*

edulis Sims). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. pp. 11-32.

PÉREZ, L. (2013). *Evaluación ecofisiológica de gulupa Passiflora edulis SIMS, bajo tres condiciones ambientales* (Tesis de maestría). Bogotá: Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia.

PIRES, M.V.; ALMEIDA, A-AF.; FIGUEIREDO, A.L.; GOMES, F.P.; SOUZA, M.M. (2011). Photosynthetic characteristics of ornamental passion flowers grown under different light intensities. *Photosynthetica*. 49: pp. 593-602.

POLLET, B.; STEPPE, K.; VAN LABEKE Y LEMEURE, R. (2009). Diurnal Cycle of chlorophyll fluorescence in Phalaenopsis. *Photosynthetica*. 47 (2): pp. 309-312.

REIGOSA, M.; PEDROL, N.; SÁNCHEZ, A. (2003). *La ecofisiología vegetal: una ciencia de síntesis*. Thomson. España. p. 1195.

ROJAS, A.; MORENO, L.; MELGAREJO, L.M.; RODRÍGUEZ, M.A. (2012). Physiological response of gmelina (*Gmelina arborea* Roxb) to hydric conditions of the colombian Caribbean. *Agronomía Colombiana* 30(1): pp. 52-58

SLAYTER, R.O.; TAYLOR, S.A. (1960). Terminology in plant and soil-water relations. *Nature*. 187: pp. 922-924.

SOLARTE, M.; PÉREZ-MARTÍNEZ, L.; MELGAREJO, L.M. (2010). Ecofisiología vegetal. En: Melgarejo L.M., editora. *Experimentos en fisiología vegetal*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. pp. 137-166.

STAVELEY, J.W.; WOLSTENHOLME, B.N. (1990). Effects of water stress on growth and flowering of *Passiflora edulis* (SIMS) grafted to *P. caerulea* L. *Acta Horticulturae*. 275: pp. 551-558.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. (2010). Capítulo 7. Photosynthesis, The light reactions. En: *Plant physiology*. Sinauer Associates Inc. Quinta Edición. USA. pp. 111-143.

TARDIEU, F.; SIMONNEAU, T. (1998). Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modeling isohydric and anisohydric behaviours. *Journal of Experimental Botany*. 49: pp. 419-432.

TURNER, D.W.; MENZEL, C.M.; SIMPSON, D.R. (1996). Short term of half the root systems reduces growth but not water status of photosynthesis in leaves of passion fruit (*Passiflora* sp.). *Scientia Horticulturae*. 65: 25-36.

YAMORI, W.; NOGUCHI, K.; HANBA, Y.T.; TERASHIMA, I. (2006). Effects of internal conductance on the temperature dependence of the photosynthetic rate in spinach leaves from contrasting growth temperatures. *Plant Cell Physiology*. 47: pp. 1069-1080.

ZHANG, S.; HU, H.; ZHOU, Z.; XU, K.; YAN, N.; LI, S. (2005). Photosynthesis in Relation to Reproductive Success of *Cypripedium flavum*. *Annals of Botany*. 96: pp. 43-49.



CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN FENOLÓGICA DE GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss) CRECIDA A DIFERENTES ALTITUDES EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA

*Adriana Katherine Rodríguez-León¹,
Adalberto Rodríguez Carlosama², Luz Marina Melgarejo^{3*},
Diego Miranda Lasprilla⁴, Gerhard Fischer⁵,
Orlando Martínez Wilches⁶.*

¹ Adriana Katherine Rodríguez León, akrodriguezl@unal.edu.co, Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Departamento de Biología – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Ingeniera Agrónoma.

² Adalberto Rodríguez Carlosama, adalberto.rodriguez@cepass.org, Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras de Colombia (CEPASS), Ingeniero Agrónomo. Estudiante de maestría en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia.

³ Luz Marina Melgarejo, lmelgarejom@unal.edu.co, Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Departamento de Biología – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Bióloga. Ph.D.

⁴ Diego Miranda Lasprilla, dmirandal@unal.edu.co, Departamento de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Ingeniero Agrónomo. Ph.D.

⁵ Gerhard Fischer, gfischer@unal.edu.co, Departamento de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Ingeniero Agrónomo. Ph.D.

⁶ Orlando Martínez Wilches, ormawi@hotmail.com, Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Departamento de Biología – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Ingeniero Agrónomo. Ph.D.

* Autor para correspondencia.

INTRODUCCIÓN

La fenología es una herramienta ampliamente utilizada para entender mejor los ciclos de crecimiento de las plantas (Ramírez *et al.*, 2013), es la ciencia que estudia los fenómenos biológicos que se presentan periódicamente acomodados a ritmos estacionales y que tienen relación con el clima y el curso anual del tiempo atmosférico en un determinado lugar (García, 2006). A lo largo de la historia ha sido utilizada para determinar el efecto del clima y del tiempo en particular en relación con la agricultura, pero solo a partir de los dos últimos siglos se ha convertido en una ciencia en sí misma (Schwartz, 2013). La palabra fenología proviene del vocablo griego *phaino* que significa presentar o mostrar y el vocablo *logos* = tratado, y es el estudio de las etapas periódicas del ciclo de vida de las plantas y animales, especialmente en su sincronización y las relaciones de éstas con el tiempo y el clima en particular (Schwartz, 2013).

Por ser la granadilla una especie semiperenne, está sujeta a superposición de fases vegetativas y reproductivas al mismo tiempo después del primer ciclo de producción, tal como sucede para otras especies como la uchuva (Fischer, 2000). Esta superposición de etapas fue descrita por Rivera *et al.* (2002), quienes reportaron que durante el ciclo del cultivo comercial existe la superposición de cerca de tres ciclos de cultivo (ciclo 1, 2 y 3), cada uno de ellos con sus respectivas fases y etapas, cuya duración va a depender de las condiciones climáticas predominantes en la zona de producción y del manejo sanitario del cultivo (ciclo 1: final de maduración de frutos, ciclo 2: transición floración y formación de frutos, ciclo 3: desarrollo de nuevas ramas).

La escala BBCH (*Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry*) surgió como respuesta a la necesidad de crear un vocabulario común que permitiera unificar bajo un solo código las

diferentes especies vegetales basado únicamente en características fenológicas de las plantas (Meier, 2001), aplicable tanto para monocotiledóneas como dicotiledóneas. Su estructura fundamental se compone de estadios principales y secundarios codificados con números del cero al nueve (0 - 9) para los dos casos, siendo los estadios principales los que describen tiempos amplios de desarrollo dentro de la planta y los secundarios los que describen fases cortas dentro de cada estadio principal. Al unir la numeración del estado principal más el secundario se obtiene un código de dos dígitos, que tiene una correspondencia para todas las especies, así el código 15 significa que una especie se encuentra en pleno desarrollo de hojas y que cuenta con 5 hojas o pares de hojas verdaderas. A pesar de que los estados principales tienen una numeración ascendente no necesariamente suceden de manera cronológica en la planta, por lo que varios estados se pueden presentar de manera simultánea o simplemente pueden no tener lugar dentro del ciclo normal de desarrollo de una especie (Meier, 2001).

El estudio fenológico se centra en identificar y describir las fases más importantes que se presentan durante el crecimiento y desarrollo de una planta, y que marcan la aparición, transformación o desaparición de órganos vegetativos y reproductivos, tales como la emergencia de las plantas, aparición de nudos, brotes, flores y frutos (Salazar, 2006) que resultan de gran interés en el ciclo de vida de una especie. Schwartz (2013) menciona que el comienzo y el final los estados fenológicos son buenos indicadores de las tasas de desarrollo de las plantas, y de acuerdo con lo manifestado por Angulo (2003) dicha tasa de desarrollo puede ser calculada conociendo el lapso de tiempo que transcurre desde que un nudo aparece hasta la aparición del siguiente nudo, lo que se realiza normalmente con el conteo de nudos semanalmente (Scholberg *et al.*, 2000).

En granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) no se encuentran reportes de la descripción fenológica relacionados con la escala BBCH, ni se tenían datos de crecimiento y desarrollo en diferentes altitudes de producción; por ello se planteó el presente estudio a fin de identificar los estados fenológicos y los tiempos aproximados de duración de cada etapa para generar una guía efectiva que ayude a un manejo integral

del cultivo y la planeación de las prácticas culturales enfocado hacia los estados de desarrollo y no solo a días calendario, aumentando la eficiencia de todas las actividades y buscando el aumento de la producción o reducción de costos.

El presente estudio fue realizado entre diciembre de 2013 y marzo de 2015 en los municipios de Santa María y La Argentina en el Departamento del Huila, donde se seleccionaron fincas de productores de granadilla ubicadas en diferentes altitudes, y en las que se estableció una parcela experimental de granadilla de 100 plantas. En la tabla 1, se especifican las coordenadas geográficas, altitud sobre el nivel del mar y demás datos de identificación de las fincas incluidas en el proyecto.

Tabla 1. Datos de ubicación y altura de las fincas productoras de granadilla, incluidas en el presente estudio, en el Departamento del Huila.

FINCA	MUNICIPIO	VEREDA	COORDENADAS		ALTITUD msnm
			N	O	
La Ceiba	Santa María	Mirador	02° 57' 48,7"	75° 37' 13,2"	2.060
Yerbabuena	Santa María	Mirador	02° 57' 53,9"	75° 37' 50,4"	2.270
Betania	La Argentina	Betania	02° 12' 55,7"	75° 56' 54,7"	1.845
Providencia	La Argentina	Sinaí	02° 09' 14,0"	76° 58' 45,0"	1.935
La Merced	La Argentina	Alto Carmen	02° 11' 58,6"	75° 55' 36,3"	2.232

Para el seguimiento de las condiciones ambientales propias de cada microclima se instalaron en campo estaciones meteorológicas (Marca Coltein, Colombia) para el registro diario de temperatura (T°C), humedad relativa (HR), radiación fotosintéticamente activa (PAR) y precipitación (mm). El registro climático se llevó a cabo con intervalos de 15 minutos durante las 24 horas del día haciendo un seguimiento detallado de las variaciones ambientales que se presentaban en las diferentes zonas de estudio; en algunos casos se perdió información climática debido a fallas temporales en los sensores instalados en campo (Figura 1).

El seguimiento a los estados fenológicos se realizó en 15 plantas por parcela determinando el crecimiento de tallo principal, registrando su longitud y el número de nudos semanalmente; para las ramas primarias y secundarias se seleccionaron tres ramas representativas en 15 plantas para seguimiento de los cambios de magnitud midiendo la longitud y el

número de nudos. Para la curva de crecimiento y registro de desarrollo del botón floral y fruto se marcaron en campo 100 estructuras florales a las cuales se les registró los diámetros longitudinales y transversales semanalmente así como el estado fenológico. Adicionalmente, se relacionaron los diferentes estados fenológicos definidos en campo para granadilla con la escala BBCH: lapso de tiempo (días) necesario para alcanzar cada fase de desarrollo para cada parcela estudiada.

El análisis estadístico de los cambios de magnitud de las diferentes partes de la planta en seguimiento se realizó por medio del programa estadístico Statistix 9[®] determinando si existían diferencias estadísticamente significativas entre las fincas analizadas, dando como resultado que para todos los casos las diferencias son altamente significativas. Posteriormente, se realizaron ajustes a las curvas de crecimiento de acuerdo al modelo logístico de tres parámetros, el cual es el que más se ajusta al comportamiento de crecimiento de los seres vivos.

CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

El comportamiento de las variables climáticas de temperatura, humedad relativa, PAR y precipitación en las fincas evaluadas se presenta en la figura 1; en cuanto a la temperatura promedio de los sitios evaluados (Figura 1a) se observa una tendencia oscilante similar entre las fincas con valores altos para los meses de diciembre de 2013, septiembre de 2014 y enero de 2015 para casi todos los casos, de igual manera, valores bajos para los meses febrero-marzo y agosto de 2014. Adicionalmente, se resalta la relación casi directa de la altitud de cada finca con su respectiva temperatura promedio (Tabla 2), siendo la finca Betania (menor altitud) la que presentó el mayor promedio de temperatura (18,11 °C) seguida de las fincas Providencia (17,61 °C), La Ceiba (16,91 °C) y muy cercanas Yerbabuena (15,87 °C) y La Merced (15,24 °C). A pesar de tener mayor altitud en Yerbabuena, la finca La Merced presenta otras condiciones climáticas (mayor HR y menor PAR) que influyen la temperatura promedio, además presenta un promedio mensual de temperatura casi constante respecto a las demás fincas evaluadas.

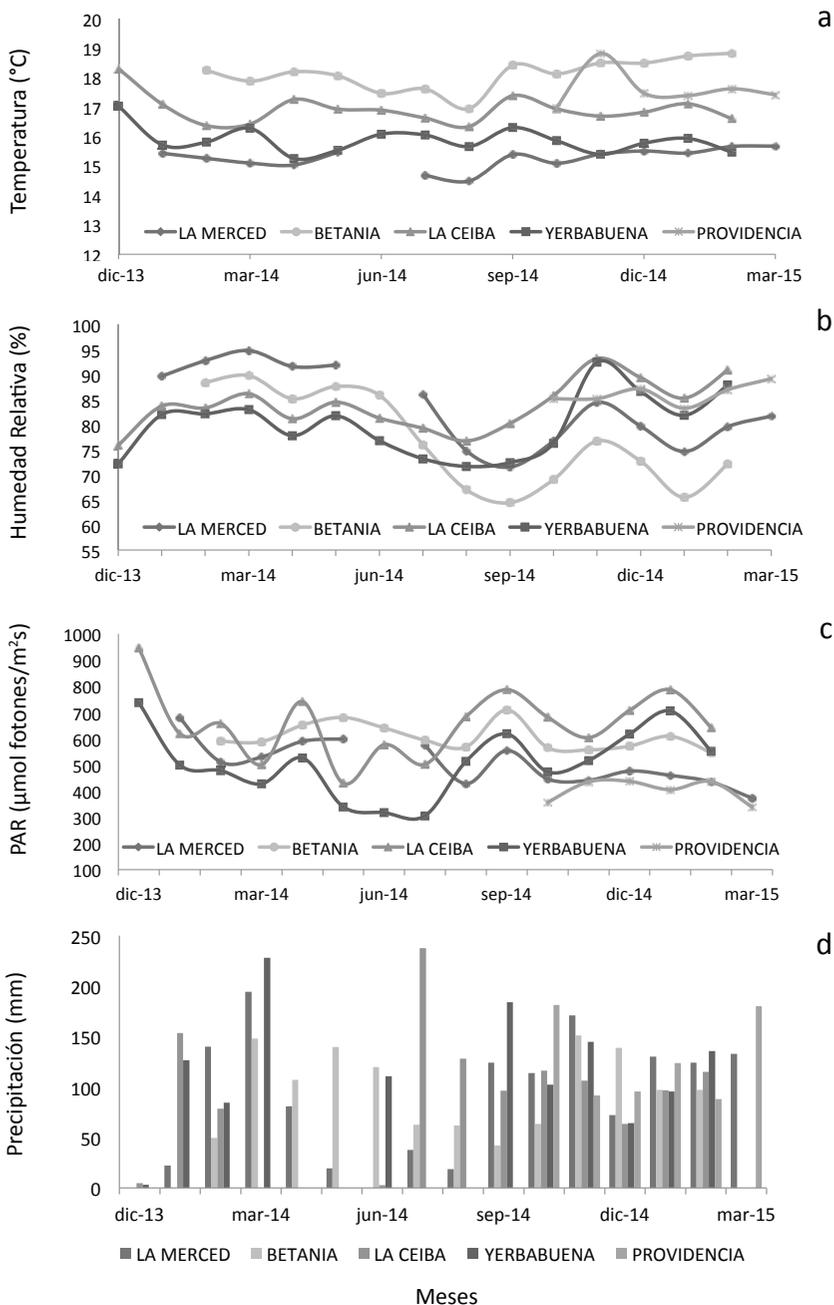


Figura 1. Promedios de a) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) Humedad relativa (%), c) PAR ($\mu\text{mol fotones}/\text{m}^2\text{s}$) y d) Precipitación acumulada mensual (mm) durante el estudio en las fincas productoras de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en el Departamento del Huila.

Tabla 2. Promedios de las variables climáticas de los sitios de estudio del cultivo de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en el Departamento del Huila.

PARCELA	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)	PAR ($\mu\text{mol fotones}/\text{m}^2\text{s}$)	PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)
La Merced	15,25	83,64	506,71	98,62
Betania	18,11	77,02	605,34	98,30
La Ceiba	16,91	83,87	657,38	99,93
Yerbabuena	15,87	79,93	508,32	116,37
Providencia	17,61	86,23	401,51	126,73

En cuanto a la humedad relativa (Figura 1b), se observó un comportamiento similar de esta variable para las fincas productoras a través de los meses de seguimiento con picos marcados para los meses de marzo de 2014, noviembre de 2014 y febrero-marzo de 2015; igualmente, valores bajos en los meses de abril 2014, agosto-octubre 2014 y enero 2015 son inversos en el mismo lapso de tiempo con los aumentos de temperatura presentados durante los meses de estudio (Figura 1b). En promedio la finca Providencia presenta la mayor HR con un 86,23% seguida de La Ceiba con 83,87%, muy de cerca La Merced con 83,64%, Yerbabuena con 79,93% y con el valor más bajo en promedio la finca Betania con un 77,02% (Tabla 2).

La Radiación Fotosintéticamente Activa – PAR, para las fincas evaluadas se presenta en la figura 1c, donde se observa una tendencia oscilatoria similar entre las fincas durante los meses monitoreados, con picos marcados en el caso de La Ceiba y bajos considerables para la Yerbabuena durante la primera mitad del tiempo evaluado. Los mayores valores de PAR se presentaron en los meses de diciembre de 2013, abril de 2014, septiembre de 2014 y enero de 2015, que coinciden con las mayores temperaturas y en parte con los menores valores de humedad relativa (Tabla 2). En promedio la finca La Ceiba presentó la mayor PAR ($657,38 \mu\text{mol fotones}/\text{m}^2\text{s}$) respecto a las demás, seguido de Betania ($605,34 \mu\text{mol fotones}/\text{m}^2\text{s}$), muy similar en Yerbabuena ($508,32 \mu\text{mol fotones}/\text{m}^2\text{s}$) y La Merced ($506,71 \mu\text{mol fotones}/\text{m}^2\text{s}$), y finalmente Providencia ($401,51 \mu\text{mol fotones}/\text{m}^2\text{s}$).

La precipitación acumulada durante los meses de estudio fue muy diversa (Figura 1d), con mayor incidencia en los meses de octubre-

noviembre y febrero-marzo, con algunos casos aislados como en La Ceiba para el mes de junio de 2014. Se presentó mayor precipitación promedio mensual (Tabla 2) en la finca Providencia con 126,73 mm registrada en 6 meses, seguido de Yerbabuena con 116,37 mm de lluvia en promedio durante 11 meses, y con menor intensidad mensual La Ceiba (99,93 mm en 12 meses), La Merced (98,62 mm en 14 meses) y Betania (98,30 mm en 13 meses).

CARACTERIZACIÓN FENOLÓGICA DE LA GRANADILLA DE ACUERDO CON LA ESCALA BBCH

Descripción de estados fenológicos bajo condiciones de vivero

El seguimiento fenológico de esta etapa se llevó a cabo en el municipio de Santa María (Huila) en la finca La Ceiba desde el 10 de octubre hasta el 12 de diciembre de 2014, donde se encontró que el ciclo fenológico identificado para la granadilla bajo condiciones de vivero hasta antes de su establecimiento en campo se caracteriza por presentar dos eventos de crecimiento principal según la escala BBCH: el primero es el Estado 0 donde ocurre la germinación y la emergencia de la plántula (Tabla 3, Figura 2) y el segundo, el Estado 1 que corresponde al desarrollo foliar (Tabla 4, Figura 2).

El estado de crecimiento 0 para el cultivo de granadilla bajo las condiciones edafoclimáticas presentadas tuvo una duración promedio de 20

Tabla 3. Escala BBCH establecida para el Estado 0: germinación de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss), ensayo establecido en el municipio de Santa María (Huila).

CÓDIGO BBCH	DDS*	DESCRIPCIÓN
00	0	Semilla seca.
01	5	Comienza la imbibición de la semilla.
07	12	Protusión radicular. El hipocótilo con los cotiledones salen a través de la cubierta seminal.
08	18	El hipocótilo con los cotiledones crecen, dirigiéndose hacia la superficie del suelo.
09	20	Emergencia: Los cotiledones salen a través de la superficie del suelo.
*Días después de siembra.		

días, donde se resaltaron como eventos importantes la imbibición de la semilla (día 5), la protusión radicular (emergencia de las estructuras a través de la testa de la semilla, día 12), el crecimiento de los cotiledones (día 18) y finalmente la emergencia de los cotiledones sobre la superficie del suelo (día 20). En el estado principal 1 (Tabla 4) se lograron identificar los estados secundarios correspondientes al desarrollo completo de los cotiledones (código 10) para el día 26 después de siembra (DDS), así como la aparición de la primera hoja verdadera (código 11) el día 34 DDS iniciando el proceso de desarrollo foliar hasta obtener nueve hojas verdaderas (código BBCH 19) para el día 58 DDS, a partir de ahí continúa el desarrollo de nuevas hojas en la planta y es posible observar la aparición del primer zarcillo acompañando a alguna hoja comprendida entre la novena y treceava hoja del tallo principal (63 DDS en este caso); este fenómeno es importante dentro del crecimiento de la planta de granadilla ya que es un indicador de la activación del hábito trepador característico de la especie y localmente es uno de los parámetros que utilizaban los productores para realizar el trasplante a sitio definitivo, y actualmente es la señal para empezar la conducción de la planta hacia el sistema de soporte.

Tabla 4. Escala BBCH establecida para el Estado 1: desarrollo de hojas de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss), ensayo establecido en el municipio de Santa María (Huila).

CÓDIGO BBCH	DDS*	DESCRIPCIÓN
10	26	Cotiledones completamente desarrollados.
11	34	Desarrollo de la primera hoja.
12	40	Desarrollo de la segunda hoja.
13	44	Desarrollo de la tercera hoja.
14	46	Desarrollo de la cuarta hoja.
15	49	Desarrollo de la quinta hoja.
16	51	Desarrollo de la sexta hoja.
17	53	Desarrollo de la séptima hoja.
18	55	Desarrollo de la octava hoja.
19	58	Desarrollo de la novena hoja
19	63	Desarrollo del primer arcillo y demás hojas del tallo principal.
*Días después de siembra.		

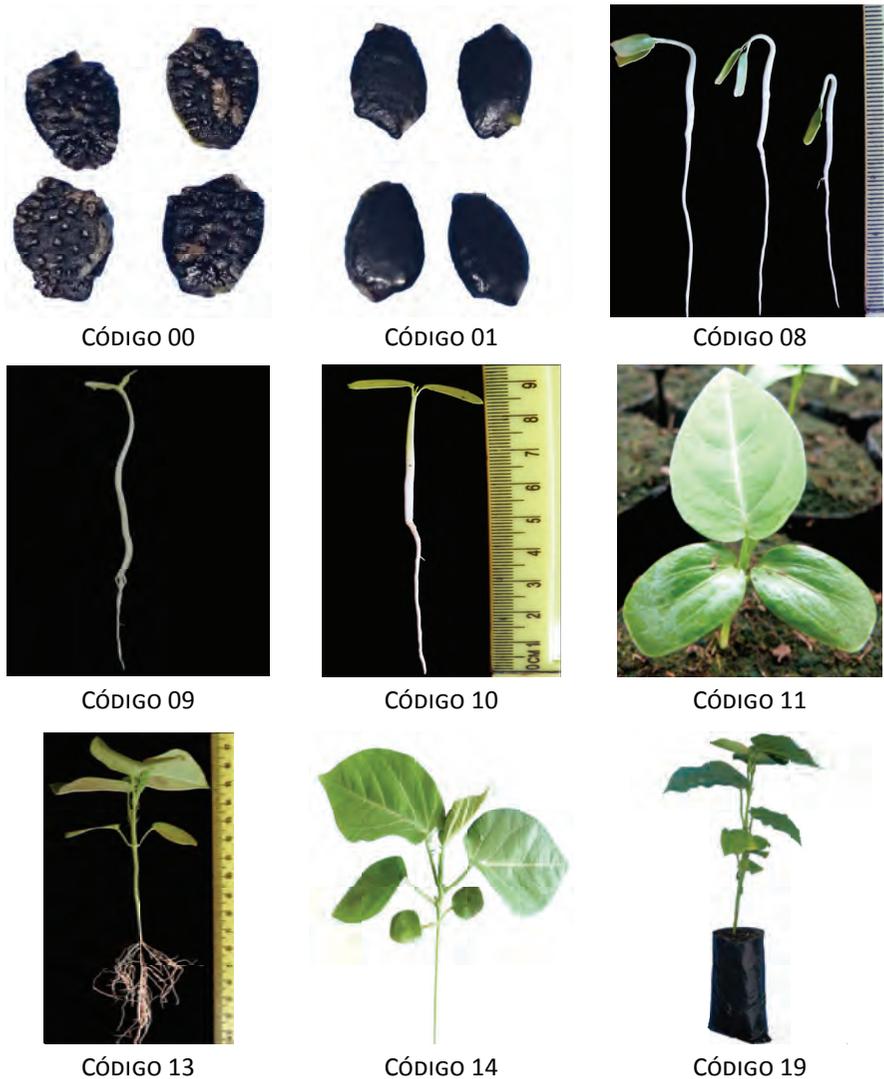


Figura 2. Estados fenológicos más importantes de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) de acuerdo a la escala BBCH, bajo condiciones de vivero. Estado 00: semilla seca, Estado 01: comienza la imbibición de la semilla; Estado 08: el hipocótilo con los cotiledones crecen, dirigiéndose a la superficie del suelo; Estado 09: emergencia, los cotiledones salen a través de la superficie del suelo; Estado 10: cotiledones completamente desarrollados; Estado 11: desarrollo de la primera hoja verdadera; Estado 13: desarrollo de la tercera hoja; Estado 14: desarrollo de la cuarta hoja; Estado 19: desarrollo de nueve o más hojas, desarrollo del primer zarcillo. Fotografías tomadas por Adalberto Rodríguez-Carlosama y Katherine Rodríguez-León.

Los estados fenológicos iniciales (Estado 0-1) para la granadilla determinados en este trabajo, son similares a los reportados por Rivera *et al.*, (2002), allí llamados V0 que concluye con la germinación de la semilla y los estados V1, V2 y parte del estado V3 refiriéndose el primero a los eventos de emergencia y trasplante a bolsa durante la fase de vivero, el segundo hasta el trasplante a sitio definitivo y el último al desarrollo vegetativo como tal, donde la planta genera tanto hojas como zarcillos y brotes laterales, en el caso de la presente investigación al desarrollo de hojas hasta la aparición del primer zarcillo. La germinación del 100% de las semillas ocurrió a los 20 días después de siembra, lo que concuerda con lo reportado por Rivera *et al.* (2002). En el estado 1, el tiempo transcurrido entre la germinación y la emisión del primer zarcillo fue de 43 días, para un ciclo total de 63 días hasta obtener una planta para trasplante definitivo, este período es similar aunque un poco menor a los obtenidos por Castro (2001) y Rivera *et al.* (2002).

Descripción de estados fenológicos bajo condiciones de campo en parcelas experimentales

La siembra del material vegetal de granadilla en condiciones de campo se llevó a cabo los días 27 de diciembre de 2013 en la finca La Merced (La Argentina, Huila), el 30 de diciembre de 2013 en la finca La Ceiba (Santa María, Huila), para la finca Yerbabuena (Santa María, Huila) el día 19 de marzo de 2014 y finalmente para la finca Betania el 24 de mayo de 2014. Adicionalmente se incluyó una quinta finca, La Providencia, dentro de la investigación, con cultivo comercial de granadilla de un año y medio de siembra para complementar los resultados en la etapa reproductiva del cultivo, la cual se monitoreó a partir de octubre de 2014.

Fenología en estado vegetativo de granadilla

El inicio del muestreo de las parcelas experimentales fue en el mes de marzo de 2014 en la Finca La Merced y La Ceiba, en el mes de mayo de 2014 en la finca Yerbabuena y en Betania en el mes de junio de 2014. Durante el estado vegetativo de las parcelas experimentales

se identificaron los estados de desarrollo E1 (Desarrollo de hojas), E3 (Elongación tallo principal) de acuerdo con la escala BBCH (Meier, 2001) y el estado E2 (Ramificación lateral) que para esta especie se presenta posteriormente a la elongación del tallo principal. El estado E4 de la escala BBCH (Desarrollo de las partes vegetativas cosechables de la planta) no aplica para el cultivo de granadilla, por lo tanto no se presenta. Los tiempos se presentan en días después de trasplante (DDT) promediando la fecha en la cual se alcanzó cada estado de desarrollo en las diferentes parcelas monitoreadas.

En el Estado 1: Desarrollo de hojas de granadilla (Tabla 5), el código 19 que corresponde al desarrollo de 9 hojas verdaderas y de manera simultánea a la aparición del primer zarcillo se observó en campo durante la primera medición (70 DDT aproximadamente) para todas las fincas. En la tabla 6 se presenta la descripción del Estado 3: Elongación del tallo principal de acuerdo con la escala BBCH ajustada para las plantas de granadilla de las parcelas experimentales, para el caso de esta especie se tomó como máxima longitud del tallo principal 3,0 m teniendo en cuenta que el sistema de tutorado tiene una altura promedio de 2 m y los productores de la zona permiten el crecimiento del tallo por espacio de 0,7 – 1 m después de alcanzar el emparrado antes de realizar el despunte y estimular el crecimiento de las ramas primarias. El 10% del crecimiento del tallo principal de granadilla se alcanzó a los 81 DDT en promedio para las fincas analizadas, el 30% a los 133 DDT, el 50% a los 164 DDT, el 80% para el día 213 DT y finalmente el 100% se obtuvo a los 262 DDT aproximadamente.

Tabla 5. Escala BBCH establecida para el Estado 1: Desarrollo de hojas de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en parcelas experimentales establecidas en campo.

CÓDIGO BBCH	DDT*	DESCRIPCIÓN
19.	70	Desarrollo de nueve o más hojas verdaderas.
19.	70	Desarrollo del primer zarcillo y demás hojas del tallo principal.
* Días después de trasplante.		

Como se mencionó anteriormente, los estados fenológicos BBCH 2 y 3 en granadilla suceden de manera inversa, ya que la emisión de ramas primarias y secundarias (Estado 2: Brotación lateral) inicia cuando está terminando el crecimiento del tallo principal de acuerdo con el sistema de producción de esta especie. En campo se evidenció el desarrollo de ramas primarias en el 50% de las plantas de granadilla evaluadas hacia los 250-255 DDT (Tabla 7), donde el tallo principal ya se encuentra en el 90-100% de su longitud. Se estableció un lapso de tiempo en que ocurre la aparición de las primeras ramas primarias hasta los 265 DDT.

Dentro del Estado 2 se encuentra una división en mesoestadios ya que en granadilla el crecimiento de brotes laterales es sucesivo; es decir, se generan en primera estancia ramas primarias a partir del tallo

Tabla 6. Escala BBCH establecida para el Estado 3: Elongación del tallo principal de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en parcelas experimentales establecidas en campo.

CÓDIGO BBCH	DDT*	DESCRIPCIÓN
31	81	El tallo principal de la planta ha alcanzado el 10% de su longitud máxima.
32	110	El tallo principal de la planta ha alcanzado el 20% de su longitud máxima.
33	133	El tallo principal de la planta ha alcanzado el 30% de su longitud máxima.
34	148	El tallo principal de la planta ha alcanzado el 40% de su longitud máxima.
35	164	El tallo principal de la planta ha alcanzado el 50% de su longitud máxima.
36	179	El tallo principal de la planta ha alcanzado el 60% de su longitud máxima.
37	194	El tallo principal de la planta ha alcanzado el 70% de su longitud máxima.
38	213	El tallo principal de la planta ha alcanzado el 80% de su longitud máxima.
39	238 - 262	El tallo principal de la planta ha alcanzado el 90% - 100% de su longitud máxima.
* Días después de trasplante.		

principal (Tabla 7) y luego ramas secundarias provenientes de los nudos de las ramas primarias (Tabla 8) que en un cultivo joven (primer ciclo de producción) conforman el grupo de ramas llamadas “cargadoras o productoras” junto con algunas ramas terciarias. Comercialmente, una planta de granadilla posee entre 4 y 6 ramas principales que establecen los “brazos” de la planta, a partir de ahí se generan entre 4 a 6 ramas secundarias por cada rama primaria para dar la forma típica de sombrilla utilizada por los productores para el manejo individual de las plantas. La emisión de las primeras ramas secundarias en el 50% de las plantas evaluadas se observó desde el día 285 al día 300 DDT bajo las condiciones climáticas predominantes en las fincas. De acuerdo al hábito de crecimiento de la granadilla se siguen emitiendo nuevas ramas secundarias y posteriormente ramas terciarias y cuaternarias que conformarán el siguiente grupo de ramas productoras para el segundo ciclo de producción del cultivo.

Tabla 7. Escala BBCH establecida para el Estado 2: Ramificación lateral (Ramas primarias) de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en parcelas experimentales establecidas en campo.

CÓDIGO BBCH	DDT*	DESCRIPCIÓN
201	255	Primera rama primaria visible.
202	260	Segunda rama primaria visible.
203	265	Tercera rama primaria visible.
20.		Los estados continúan hasta la quinta - sexta rama primaria visible.
* Días después de trasplante.		

Tabla 8. Escala BBCH establecida para el Estado 2: Ramificación lateral (Ramas secundarias) de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en parcelas experimentales establecidas en campo.

CÓDIGO BBCH	DDT*	DESCRIPCIÓN
211	285	Primera rama secundaria visible.
212	290	Segunda rama secundaria visible.
213	295	Tercera rama secundaria visible.
21.		Los estados continúan hasta la quinta - sexta rama secundaria visible.
* Días después de trasplante.		

Los estados fenológicos determinados durante la etapa vegetativa de plantas de granadilla de acuerdo con la escala BBCH, E1 (desarrollo de hojas), E3 (Elongación del tallo principal) y E2 (Ramificación lateral) corresponden al estado V3 establecido por Rivera *et al.* (2002) en donde se produce el desarrollo vegetativo (principalmente hojas, zarcillos y chupones). Los tiempos presentados por estos mismos autores para el desarrollo vegetativo de la granadilla a partir de semilla son menores (100 días aproximadamente) a los encontrados en la presente investigación, siendo necesarios 290 días para producir la transición entre el estado vegetativo y reproductivo (inicio de emisión ramas secundarias - productivas); pero determinar las causas de estas diferencias no es posible ya que no se reportan datos de condiciones climáticas de crecimiento de las plantas para el caso de Rivera *et al.* (2002).

En otras especies de plantas que necesitan sistema de soporte para la producción comercial como la vid, diversos autores establecen en la etapa vegetativa solo los estados E0 (Germinación) y E1 (Desarrollo de hojas) para luego enfocarse en los estados BBCH de la etapa reproductiva (Almanza, 2011; Meier, 2001). En el caso de la uchuva, la escala BBCH descrita por Ramírez *et al.* (2013) solo se reportan los estados fenológicos principales E0, E1 y E2 para la etapa vegetativa, omitiendo los estados E3 y E4 por no ser aplicables al cultivo comercial. Un caso similar al de descripción fenológica de granadilla es el de kiwi (*Actinidia deliciosa* 'Hayward'); siguiendo los lineamientos de la escala BBCH, Salinero *et al.* (2009) identificaron los mismos estados de crecimiento vegetativo, E0 (Germinación), E1 (Desarrollo de hojas) y E3 (Elongación del tallo principal).

Por la facilidad de aplicación y ajuste de la escala BBCH, es común que en algunas especies los estados correspondientes al desarrollo vegetativo no se refieren a procesos de germinación y crecimiento de plántulas, sino de activación de yemas vegetativas después de períodos de reposo, vernalización y/o podas, siendo muy útil para los cultivos perennes y semiperennes. Este es el caso reportado por Hernández *et al.* (2011) para mango (*Mangifera indica* L.) donde se describe los estados E0: desarrollo de yemas, E1: desarrollo de hojas y E3: desarrollo del tallo como parte de la etapa vegetativa del cultivo. En guayaba

(*Psidium guajava* L.) la caracterización y descripción fenológica ha sido ajustada tomando como punto de inicio la activación de yemas vegetativas invernales y su posterior desarrollo (Salazar *et al.*, 2006). Por lo tanto, en las especies anteriormente mencionadas al igual que en granadilla, existe una etapa de crecimiento totalmente vegetativa (estado juvenil del cultivo) y posteriores ciclos anuales de crecimiento donde los estados vegetativos y reproductivos se presentan de manera simultánea o ligeramente superpuestas. Este ajuste de la escala extendida BBCH puede ser aplicado para describir los subsiguientes ciclos de producción de granadilla a partir del crecimiento de nuevas yemas vegetativas laterales (ciclos anuales de producción).

Fenología en estado reproductivo de granadilla

Mediante la observación en campo del desarrollo reproductivo de las plantas de granadilla se han identificado las estructuras florales, floración, crecimiento y maduración del fruto que se presentan en la figura 3, y en las tablas 9, 10, 11 y 12. Comparando los estados establecidos mediante observación en campo con la escala BBCH se lograron identificar los siguientes: a) Estado 51: Botón floral visible, b) Estado 52: Cartucho floral y posterior crecimiento (Estados 53 al 57: porcentajes de tamaño final del cartucho floral), c) Estado 58: Máximo tamaño del cartucho floral, d) Estado 65: Plena floración (antesis), e) Estado 69: Fin de la floración: Cuajado de fruto, f) Estado 70: Fruto visible, g) Estado 71: El fruto alcanza el 10% de su tamaño final, h) Estado 75: El fruto alcanza el 50% de su tamaño final, i) Estado 79: El fruto alcanza el tamaño propio de su especie, j) Estado 83: El fruto presenta en un 30% de su corteza el color característico para su especie, k) Estado 85: El fruto presenta en un 50 - 60% de su corteza el color característico para su especie y l) Estado 89: El fruto se encuentra en madurez plena.

El Estado 5: Aparición y desarrollo del órgano floral de granadilla se presentan en la tabla 9, este proceso tiene lugar principalmente en las ramas secundarias de los cultivos de primer ciclo de producción y en las ramas secundarias, terciarias y cuaternarias para los cultivos de granadilla en pleno estado productivo. Los intervalos de tiempo se establecieron a partir de la emergencia del botón floral (días después de brotación del

botón floral - DDB) identificada en campo (Estado 51). A medida que la estructura floral se desarrolla se le conoce como cartucho floral (Estado 52) que se produce a los 8 DDB en promedio y continúa su crecimiento durante aproximadamente 30 días, hasta alcanzar el máximo tamaño del cartucho floral (Estado 58) donde todas las partes de la flor están completamente desarrolladas e inicia el proceso de apertura floral y se pueden apreciar los primeros pétalos visibles (Estado 59) a los 39 DDB aproximadamente. Se registró en campo las primeras estructuras florales (Estado 51) en el 50% de las plantas monitoreadas a los 340 DDT en promedio para las fincas evaluadas, el máximo tamaño del cartucho floral (Estado 58) entre los días 365-370 DDT y la plena floración (Estado 65) entre los 375-380 DDT.

Tabla 9. Escala BBCH establecida para el Estado 5: Aparición y desarrollo del órgano floral (Ramas secundarias) de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en parcelas experimentales establecidas en campo y cultivos comerciales de la zona.

CÓDIGO BBCH	DDB*	DESCRIPCIÓN
51	1	Botón floral visible.
52	8	Cartucho floral con un 10% del tamaño característico de la especie.
53	10	Cartucho floral con un 30% del tamaño característico de la especie.
54	15	Cartucho floral con un 40% del tamaño característico de la especie.
55	19	Cartucho floral con un 50% del tamaño característico de la especie.
5.		Los estados continúan hasta
58	37	Máximo tamaño del cartucho floral.
59	39	Inicio apertura floral, primeros pétalos visibles.
* Días después de brotación del botón floral.		

La floración propiamente dicha corresponde al Estado 6 según la escala BBCH: Floración. La descripción detallada de este proceso se presenta en la tabla 10 y los estados principales en la figura 3, se hace énfasis en que las estructuras reproductivas y por ende la producción de frutos y semillas en granadilla no se lleva a cabo en el tallo principal de la planta sino en las ramas secundarias y subsiguientes según el

Tabla 10. Escala BBCH establecida para el Estado 6: Floración (Ramas secundarias) de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en parcelas experimentales establecidas en campo y cultivos comerciales de la zona.

CÓDIGO BBCH	DDB*	DESCRIPCIÓN
60	40	Primeras flores abiertas.
61	n.d.	Inicio de floración. 10% de las flores en antesis.
62	n.d.	20% de las flores en antesis.
63	n.d.	30% de las flores en antesis.
64	n.d.	40% de las flores en antesis.
65	43	Plena floración. 50% de las flores en antesis.
6.		Los estados continúan hasta
67	n.d.	Floración llegando a su final: la mayoría de flores han cerrado.
69	45	Fin de la floración: Fruto cuajado.
* Días después de brotación del botón floral.		

estado de desarrollo (primer ciclo de cosecha o plena producción). Las primeras flores abiertas (Estado 60) se obtuvieron hacia el día 40 DB, los siguientes porcentajes de floración no se observaron en campo por ello se denominan “n.d.” refiriéndose a “no determinados en campo”, pero la floración plena (Estado 65) se estableció para el día 43 DDB en promedio para los sitios de estudio evaluados, y el fin de la floración o cuajado de fruto (Estado 69) se produjo para el día 45 DDB. Cabe resaltar que en el cultivo de granadilla el proceso de apertura floral, posibilidad de polinización y posterior cierre de la flor tiene lugar en 24 horas y el cuajado de fruto se aprecia aproximadamente a los 2 días después de antesis – DDA; pero por su hábito de crecimiento, esta especie presenta estructuras florales en diferentes estados de desarrollo en un mismo momento, por ello se promedia un lapso de 5 a 10 días en el proceso de floración de la mayoría de las plantas.

En la tabla 11 se presentan los códigos BBCH con su respectiva descripción para el Estado 7: Formación del fruto de granadilla y en la figura 3. El estado 70: Fruto visible para este estudio se identificó 3 días después de antesis-DDA que equivale a un fruto entre el 7-10% del

tamaño final, los siguientes estados BBCH se refieren al crecimiento del fruto (Estados 71-78) donde se aprecia que el 50% del tamaño del fruto se alcanza en los primeros 12 DDA, el 75% del tamaño se logra hacia el día 18 DDA, el 90% para el día 23 DDA y finalmente el máximo tamaño se da el día 42 DDA en promedio para las fincas monitoreadas.

Se logró identificar que los cambios de coloración de la corteza del fruto de granadilla, que es la señal evidente de la maduración de los frutos de esta especie tiene lugar a partir el día 70 DDA aproximadamente en el ciclo evaluado (Tabla 12), indicando que hay un período de al menos 30 días entre el momento en que alcanza el máximo tamaño (Estado 79) y el inicio de la maduración del fruto (Estado 81). Se encontró que el 25% de la coloración típica para la especie (Estado 83) se alcanza el día 78 DDA y el proceso se hace relativamente rápido desde ese momento, logrando el 50% del color característico del fruto de granadilla (Estado 85) el día 85 DDA y finalmente la madurez plena el día 92 DDA.

Tabla 11. Escala BBCH establecida para el Estado 7: Formación del fruto de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en parcelas experimentales establecidas en campo y cultivos comerciales de la zona.

CÓDIGO BBCH	DDA*	DESCRIPCIÓN
70	3	Fruto visible.
71	3	El fruto alcanza el 10% del tamaño final.
72	6	El fruto alcanza el 20% del tamaño final.
73	8	El fruto alcanza el 30% del tamaño final.
74	11	El fruto alcanza el 40% del tamaño final.
75	12	El fruto alcanza el 50% del tamaño final.
76	15	El fruto alcanza el 60% del tamaño final.
77	18	El fruto alcanza el 75% del tamaño final.
78	23	El fruto alcanza el 90% del tamaño final.
79	42	El fruto alcanza el tamaño propio de su especie.
* Días después de antesis.		

Tabla 12. Escala BBCH establecida para el Estado 8: Maduración de frutos de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en parcelas experimentales establecidas en campo y cultivos comerciales de la zona.

CÓDIGO BBCH	DDA*	DESCRIPCIÓN
81	70	Inicio de la maduración / coloración del fruto.
82	n.d.	La corteza del fruto presenta el 10% del color típico para la especie.
83	78	La corteza del fruto presenta el 25% del color típico para la especie.
84	n.d.	La corteza del fruto presenta el 40% del color típico para la especie.
85	85	La corteza del fruto presenta el 50% del color típico para la especie.
8.		Los estados continúan hasta
88	n.d.	La corteza del fruto presenta el 90% del color típico para la especie, disminución de la consistencia del fruto.
89	92	Maduración plena, de recolección. Fin de la coloración típica según la especie.

* Días después de antesis.

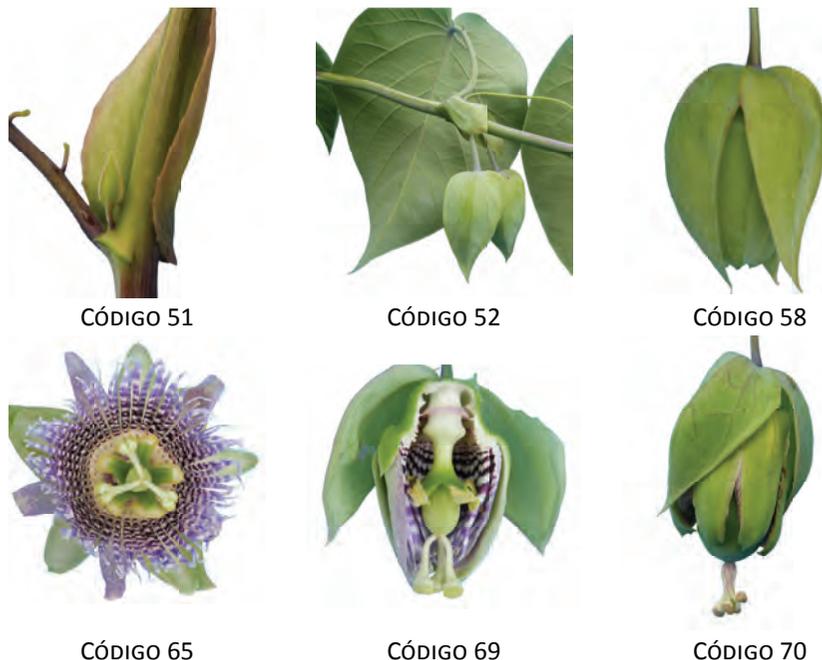


Figura 3.

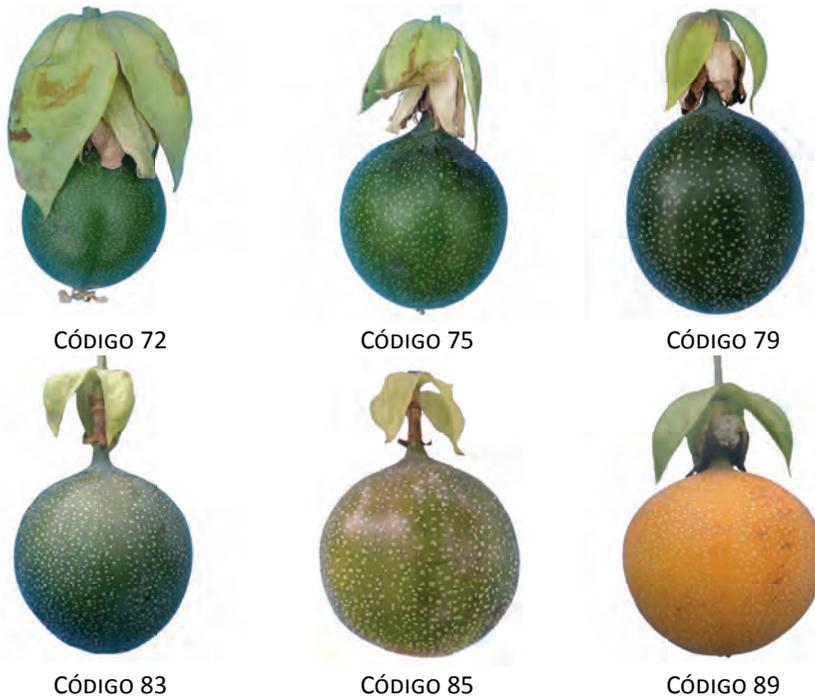


Figura 3. Estados fenológicos más importantes de la floración y fructificación de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) de acuerdo a la escala BBCH. Estado 51: Botón floral visible, Estado 52: Cartucho floral, Estado 58: Máximo tamaño de la flor, Estado 65: Plena floración (antesis), Estado 69: Fin de la floración, Cuajado de fruto, Estado 70: Fruto visible, Estado 71: El fruto alcanza el 20% de su tamaño final, Estado 75: El fruto alcanza el 50% de su tamaño final, Estado 79: El fruto alcanza el tamaño propio de su especie, Estado 83: El fruto presenta en un 25% de su corteza el color característico para su especie, Estado 85: El fruto presenta en un 50-60% de su corteza el color característico para su especie y Estado 89: El fruto se encuentra en madurez plena. Fotografías tomadas por Adalberto Rodríguez-Carlosama, y Katherine Rodríguez-León.

Los mismos estados de desarrollo identificados para granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en este estudio fueron definidos para gulupa (*Passiflora edulis* Sims) con pequeñas diferencias en la denominación de los estados (Flórez *et al.*, 2012) pero no incluyen la codificación de acuerdo con la escala BBCH. Esta inclusión en el caso del cultivo de la granadilla se convierte en otra herramienta más que permite tomar decisiones de manejo, programación de cosechas y en general de todas las labores propias del cultivo de manera más precisa.

DESARROLLO FENOLÓGICO Y DURACIÓN DE LAS FASES FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE GRANADILLA

Cambios de magnitud y desarrollo del tallo principal de granadilla

Las gráficas que representan crecimiento ajustado para la longitud y el número de nudos del tallo principal de granadilla se presentan en la figura 4 y los modelos con sus respectivos R^2 se aprecian en la tabla 13. Las tendencias de las curvas obtenidas para la longitud del tallo corresponden a curvas tipo sigmoide caracterizadas por una fase inicial de crecimiento lento que va hasta los 91-100 DDT, una fase exponencial que inicia a partir de los 110-120 días y con valores máximos a los 305 días. Para el número de nudos las curvas obtenidas son también de tipo sigmoidal pero con menores pendientes, lo que podría indicar que los nudos del tallo principal de las plantas se desarrollan de manera lenta hasta los 120 días en todas las localidades.

El crecimiento del tallo principal (longitud) al inicio de las mediciones es similar en las localidades evaluadas hasta el día 150 DDT aproximadamente, donde se hace evidente que las plantas de la finca Yerbabuena crecen a una mayor tasa comparadas con las demás a pesar de ser la ubicación a mayor altitud (2.270 msnm), seguida de Betania (1.845 msnm), de cerca La Ceiba (2.060 msnm) y por último La Merced (2.232 msnm). La longitud final de las plantas de granadilla evaluadas osciló entre 267 y 304 cm, el primer caso para La Merced y el segundo para Yerbabuena. El número de nudos del tallo principal es muy similar entre las localidades a través del tiempo con excepción de las plantas establecidas en la finca Yerbabuena que presenta una tasa de generación de nudos mayor, teniendo que al final del ciclo de crecimiento el número promedio de nudos es de 83 para las plantas de Yerbabuena comparado con los otros sitios de estudio con un promedio de 55 nudos.

La diferencia en la tasa de crecimiento del tallo principal de granadilla parece estar directamente relacionada con las condiciones microclimáticas de las fincas evaluadas, teniendo que a mayor altitud el crecimiento es menor en el tiempo; sin embargo, las plantas de la

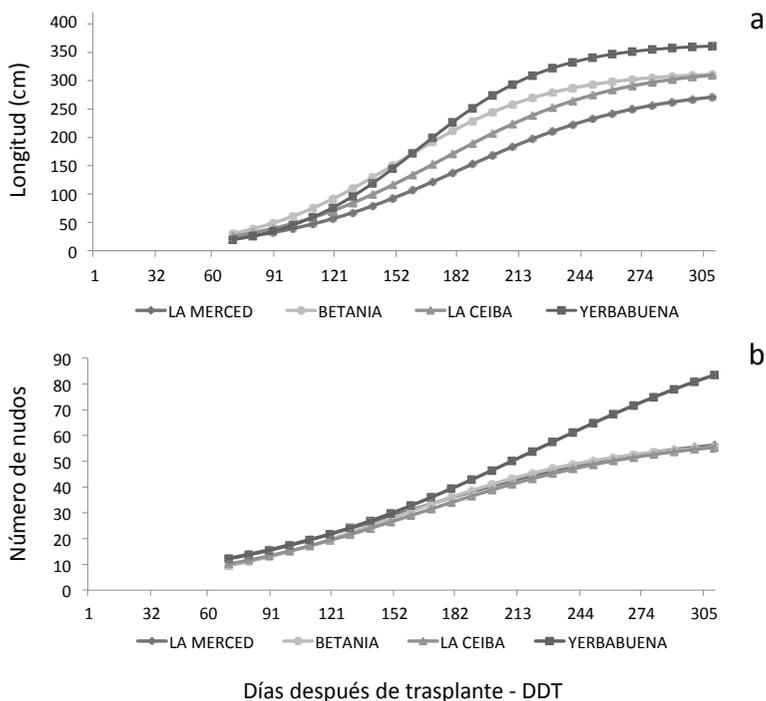


Figura 4. Promedio de a) Longitud (cm) y b) Número promedio de nudos del tallo principal de plantas de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) durante el estudio en las fincas productoras en el Departamento del Huila. n= 15 plantas/ parcela.

finca Yerbabuena a pesar de ser la segunda localidad más alta presentó un crecimiento más acelerado y mayores longitudes, que puede estar asociado al manejo del cultivo por parte del productor durante esta etapa de desarrollo. Principalmente evidenciado en una menor incidencia y severidad en el ataque de plagas, fertilización fraccionada con mayor regularidad y labores culturales como el deschupone más oportunamente.

Tabla 13. Modelos logísticos de tres parámetros ajustados para la longitud y número de nudos del tallo principal de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) durante el estudio en las fincas productoras en el Departamento del Huila. DDT: días después de transplante.

LOCALIDAD	MODELO LOGÍSTICO DE TRES PARÁMETROS AJUSTADO PARA LONGITUD DE TALLO	MODELO LOGÍSTICO DE TRES PARÁMETROS AJUSTADO PARA NÚMERO DE NUDOS
La Merced	$Y = \frac{284,74}{1 + \text{Exp}(4,0001 - 0,0217 * \text{DDT})}$ Pseudo R ² : 0,8048	$Y = \frac{61,59}{1 + \text{Exp}(2,4788 - 0,0156 * \text{DDT})}$ Pseudo R ² : 0,8990
Betania	$Y = \frac{311,37}{1 + \text{Exp}(4,0666 - 0,0265 * \text{DDT})}$ Pseudo R ² : 0,8149	$Y = \frac{58,2}{1 + \text{Exp}(2,9887 - 0,0193 * \text{DDT})}$ Pseudo R ² : 0,7926
La Ceiba	$Y = \frac{318,84}{1 + \text{Exp}(4,023 - 0,023 * \text{DDT})}$ Pseudo R ² : 0,7407	$Y = \frac{60,078}{1 + \text{Exp}(2,7771 - 0,0169 * \text{DDT})}$ Pseudo R ² : 0,8230
Yerbabuena	$Y = \frac{359,94}{1 + \text{Exp}(4,9614 - 0,0303 * \text{DDT})}$ Pseudo R ² : 0,9035	$Y = \frac{108}{1 + \text{Exp}(3,0227 - 0,0137 * \text{DDT})}$ Pseudo R ² : 0,9301

Cambios de magnitud y desarrollo de ramas primarias de granadilla

El registro del cambio de magnitud y desarrollo de las ramas primarias de granadilla se presenta en la figura 5 y las ecuaciones de ajuste al modelo en la tabla 14. Las tendencias de las curvas obtenidas para la longitud de la ramificación primaria corresponden a curvas tipo sigmoide caracterizadas por una fase inicial de crecimiento muy rápido debido a la respuesta de brotación (fuerza de brotación) de las yemas vegetativas después de un despunte, que se favorecen por las condiciones climáticas predominantes en las fincas de mayor altitud. Se observa que la velocidad de crecimiento de las plantas de la finca Yerbabuena fue mayor logrando antes que las demás la máxima longitud de las ramas primarias cerca del día 70 después de marcación (DDM); sin embargo, la mayor longitud (215 cm) se obtuvo en La Ceiba

al igual que el mayor número de nudos (31) en el lapso de tiempo evaluado. La diferencia en el número de nudos de las ramas primarias es evidente para Yerbabuena con un máximo de 31 nudos frente a 23 y 24 nudos para La Merced y La Ceiba, respectivamente. Como ya se había mencionado, las condiciones climáticas de La Merced (menor temperatura, alta humedad relativa y PAR baja) parecen influenciar en gran medida el crecimiento y desarrollo de las plantas que se hace evidente en la menor longitud alcanzada por las ramas primarias y mayor tiempo necesario para alcanzarla. Sin embargo, durante las observaciones en campo no se identificaron síntomas de posibles atrofas o retrasos del desarrollo normal de las plantas de granadilla.

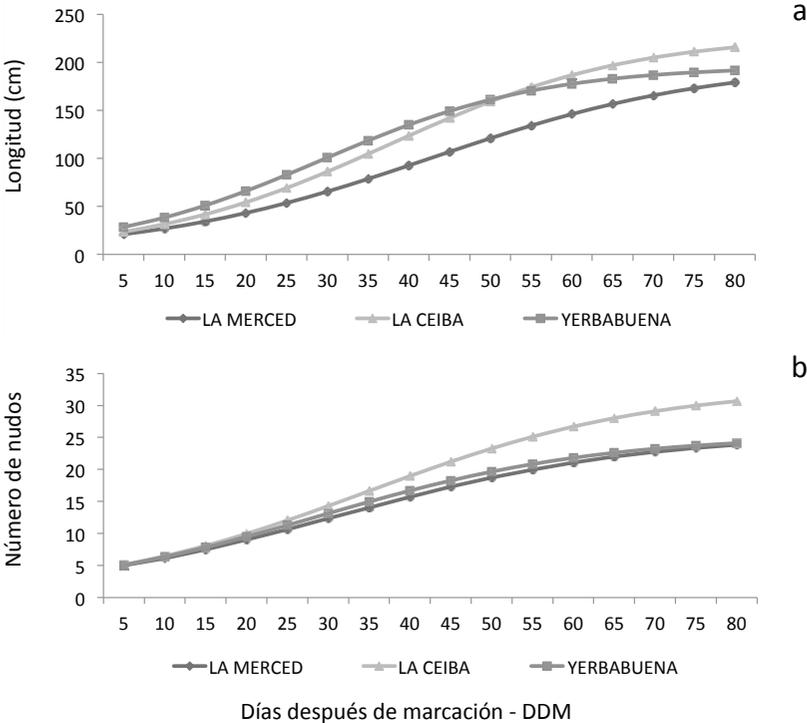


Figura 5. Promedio de a) Longitud (cm) y b) Número promedio de nudos de ramas primarias de plantas de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) durante el estudio en las fincas productoras en el Departamento del Huila. n= 3 ramas/planta y 15 plantas/parcela.

Tabla 14. Modelos logísticos de tres parámetros ajustados para la longitud y número de nudos de ramas primarias de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) durante el estudio en las fincas productoras en el Departamento del Huila. DDM: días después de marcación.

LOCALIDAD	MODELO LOGÍSTICO DE TRES PARÁMETROS AJUSTADO PARA LONGITUD	MODELO LOGÍSTICO DE TRES PARÁMETROS AJUSTADO PARA NÚMERO DE NUDOS
La Merced	$Y = \frac{200,33}{1 + \text{Exp}(2,4353 - 0,0571 * \text{DDM})}$ Pseudo R ² : 0,8162	$Y = \frac{25,566}{1 + \text{Exp}(1,6865 - 0,0539 * \text{DDM})}$ Pseudo R ² : 0,8380
La Ceiba	$Y = \frac{228,49}{1 + \text{Exp}(2,5007 - 0,0666 * \text{DDM})}$ Pseudo R ² : 0,8119	$Y = \frac{196,18}{1 + \text{Exp}(2,1508 - 0,0735 * \text{DDM})}$ Pseudo R ² : 0,8308
Yerbabuena	$Y = \frac{196,18}{1 + \text{Exp}(2,1508 - 0,0735 * \text{DDM})}$ Pseudo R ² : 0,8609	$Y = \frac{25,321}{1 + \text{Exp}(1,6768 - 0,0584 * \text{DDM})}$ Pseudo R ² : 0,8242

Cambios de magnitud y desarrollo de ramas secundarias de granadilla

La longitud y el número de nudos de las ramas secundarias de granadilla ajustadas al modelo logístico de tres parámetros a través del tiempo se observa en la figura 6 y las ecuaciones respectivas en la tabla 15. Se aprecian diferencias marcadas en cuanto a la longitud de las ramas secundarias, siendo La Ceiba la localidad donde se obtuvo el mayor valor promedio con 145 cm contra 110 cm de Providencia, y 84 cm en los casos de Yerbabuena y La Merced, aunque la velocidad de crecimiento de las ramas secundarias en Yerbabuena fue superior a los demás sitios de estudio, alcanzando su máxima longitud aproximadamente en el día 30 después de marcación (DDM).

Situación similar se presentó en el número de nudos (Figura 6b), donde el número máximo de nudos se logró en 30-35 DDM para la misma finca siendo más rápida la aparición de nudos en comparación con las otras localidades pero el número final de nudos fue menor (13 nudos). En el caso de La Merced el número de nudos fue el mayor

con 18 nudos en promedio al final del ciclo evaluado, esta condición se debió principalmente a problemas fitosanitarios relacionados con ataque de plagas (Trips) que retrasan el crecimiento de las ramas pero no la emisión de nudos dando como resultado ramas con entrenudos más cortos frente a ramas sanas (entrenudos más largos).

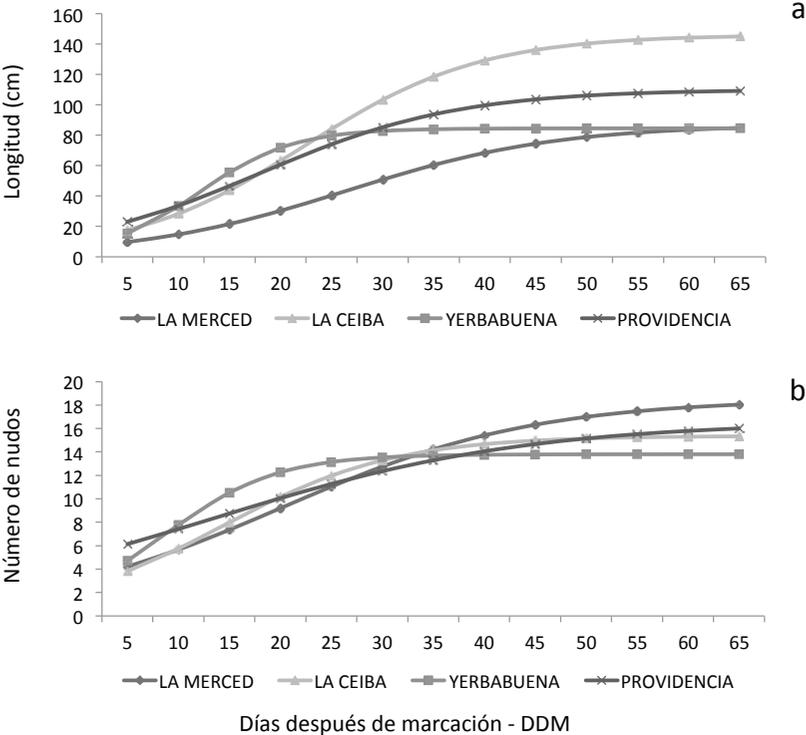


Figura 6. Promedio de a) Longitud (cm) y b) Número promedio de nudos de ramas secundarias de plantas de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) durante el estudio en las fincas productoras en el Departamento del Huila. n= 3 ramas/planta y 15 plantas/parcela.

Tabla 15. Modelos logísticos de tres parámetros ajustados para la longitud y número de nudos de ramas secundarias de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) durante el estudio en las fincas productoras en el Departamento del Huila. DDM: días después de marcación.

LOCALIDAD	MODELO LOGÍSTICO DE TRES PARÁMETROS AJUSTADO PARA LONGITUD	MODELO LOGÍSTICO DE TRES PARÁMETROS AJUSTADO PARA NÚMERO DE NUDOS
La Merced	$Y = \frac{86,935}{1 + \text{Exp}(2,5541 - 0,0965 * \text{DDM})}$ Pseudo R ² : 0,8348	$Y = \frac{18,523}{1 + \text{Exp}(1,6265 - 0,0806 * \text{DDM})}$ Pseudo R ² : 0,9040
La Ceiba	$Y = \frac{146,05}{1 + \text{Exp}(2,5785 - 0,1154 * \text{DDM})}$ Pseudo R ² : 0,9291	$Y = \frac{15,369}{1 + \text{Exp}(1,6948 - 0,1181 * \text{DDM})}$ Pseudo R ² : 0,9232
Yerbabuena	$Y = \frac{84,537}{1 + \text{Exp}(2,5798 - 0,2152 * \text{DDM})}$ Pseudo R ² : 0,8835	$Y = \frac{13,801}{1 + \text{Exp}(1,5695 - 0,1821 * \text{DDM})}$ Pseudo R ² : 0,9296
Providencia	$Y = \frac{110,06}{1 + \text{Exp}(1,8478 - 0,1027 * \text{DDM})}$ Pseudo R ² : 0,7021	$Y = \frac{16,581}{1 + \text{Exp}(0,8534 - 0,0642 * \text{DDM})}$ Pseudo R ² : 0,7268

Cambios de magnitud y desarrollo del botón floral de granadilla

Los diámetros longitudinales y transversales de la estructura floral de granadilla registrados en campo se sometieron al análisis estadístico y se ajustaron los valores al modelo logístico de tres parámetros (Figura 7) y las respectivas ecuaciones y R² se presentan en la tabla 16. La diferencia de las dimensiones entre los botones florales de las localidades evaluadas es más marcada en el diámetro transversal que en el longitudinal, sobresaliendo Yerbabuena con las mayores dimensiones en los dos casos, seguido de La Ceiba, Providencia y por último La Merced. No se presentan los datos de crecimiento transversal del botón floral para la finca La Ceiba ya que no se ajustaron al modelo logístico.

El crecimiento de los botones florales se ajusta igual que el crecimiento de frutos a un patrón de crecimiento sigmoide, logrando el 70% del tamaño final en los primeros 30 DDB para los dos parámetros y el 15% restante se logra hacia el día 40 DDB. La Merced presenta una

mayor pendiente de crecimiento del botón floral de granadilla, teniendo en cuenta que para el día 5 DDB presentaba los menores diámetros en comparación con las demás localidades, con un crecimiento acelerado entre los 5 y 25 DDB.

En Providencia y La Merced la forma del botón floral de acuerdo a la relación entre diámetro transversal y longitudinal es alargada u ovoide (1,68 y 1,65, respectivamente); mientras en Yerbabuena la forma del botón se acerca más a esférica, ya que la relación entre los diámetros fue de 1,26. Sabiendo que una relación de 1:1 indica forma esférica, valores mayores a 1 se refieren a formas más alargadas y menores a 1 a formas achatadas. La forma alargada es la que más se aprecia en las observaciones en lotes comerciales de granadilla, aunque este factor depende mucho del cultivar.

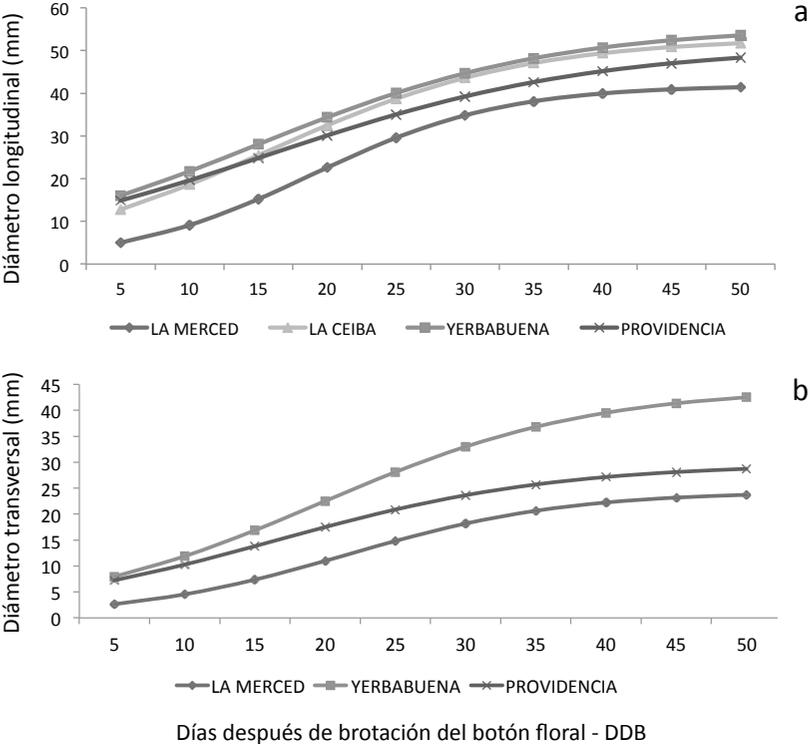


Figura 7. Promedio de a) Diámetro longitudinal (mm) y b) Diámetro transversal de botones florales de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) durante el estudio en las fincas productoras en el Departamento del Huila. n= 12 botones/rama, 3 ramas/planta y 15 plantas/parcela.

Tabla 16. Modelos logísticos de tres parámetros ajustados para diámetro longitudinal y transversal de botones florales de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) durante el estudio en las fincas productoras en el Departamento del Huila. DDB. Días después de brotación del botón floral.

LOCALIDAD	MODELO LOGÍSTICO DE TRES PARÁMETROS AJUSTADO PARA DIÁMETRO LONGITUDINAL	MODELO LOGÍSTICO DE TRES PARÁMETROS AJUSTADO PARA DIÁMETRO TRANSVERSAL
La Merced	$Y = \frac{41,874}{1 + \text{Exp}(2,7158 - 0,1437 * DDB)}$ Pseudo R ² : 0,8246	$Y = \frac{24,346}{1 + \text{Exp}(2,7497 - 0,1277 * DDB)}$ Pseudo R ² : 0,8190
La Ceiba	$Y = \frac{53,026}{1 + \text{Exp}(1,6858 - 0,1072 * DDB)}$ Pseudo R ² : 0,9498	Crecimiento no ajustado al modelo logístico.
Yerbabuena	$Y = \frac{55,61}{1 + \text{Exp}(1,3714 - 0,0926 * DDB)}$ Pseudo R ² : 0,9248	$Y = \frac{44,374}{1 + \text{Exp}(2,0403 - 0,1035 * DDB)}$ Pseudo R ² : 0,9655
Providencia	$Y = \frac{51,058}{1 + \text{Exp}(1,3108 - 0,0837 * DDB)}$ Pseudo R ² : 0,8114	$Y = \frac{29,742}{1 + \text{Exp}(1,6361 - 0,0997 * DDB)}$ Pseudo R ² : 0,8131

Crecimiento y desarrollo del fruto de granadilla

El monitoreo del crecimiento de frutos de granadilla en las fincas de los municipios de La Argentina y Santa María (Huila) se presenta de manera ajustada al modelo logístico de tres parámetros en la figura 8 y las ecuaciones respectivas en la tabla 17. El crecimiento de los frutos de granadilla en todas las localidades evaluadas muestra un patrón sigmoide simple (Figura 8), teniendo que el 80% del tamaño final del fruto se alcanza hacia los días 20 después de antesis – DDA en ambos parámetros; esta etapa se caracteriza por una alta tasa de división y alargamiento celular, que resulta en aumento de tamaño y de peso de manera acelerada (ver capítulo 3 bioquímica de fruto del presente libro). El 20% de crecimiento restante se logró entre los 40 y 45 DDA. Se resalta que el diámetro transversal del fruto requiere en promedio 5 días más para completar su desarrollo frente al diámetro longitudinal.

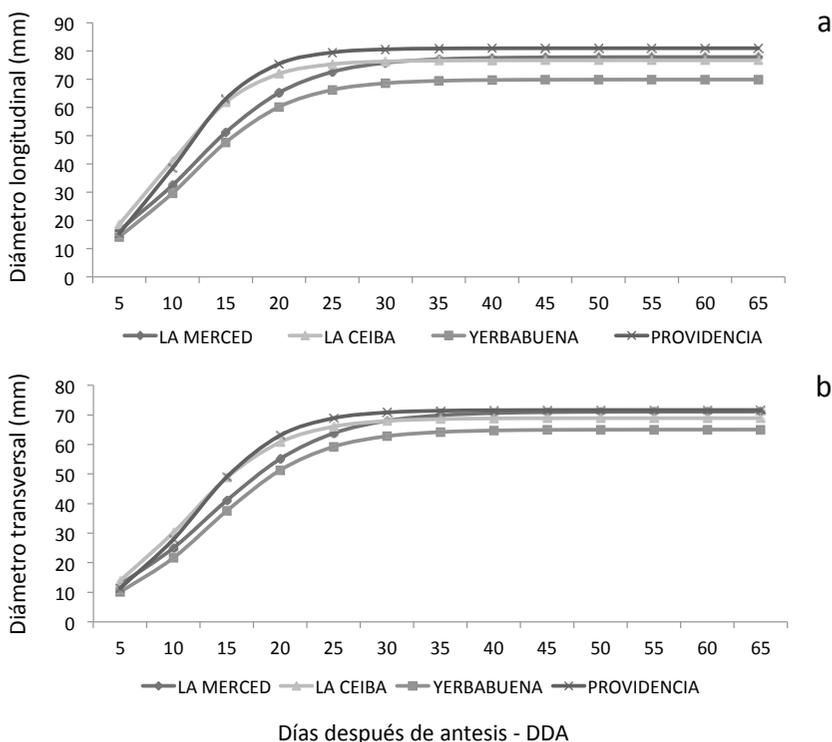


Figura 8. Promedio de a) Diámetro longitudinal (mm) y b) Diámetro transversal durante la fase de crecimiento de frutos de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) durante el estudio en las fincas productoras en el Departamento del Huila. n= 120 flores en antesis/parcela, dos repeticiones por cultivo.

La longitud final de los frutos en el intervalo de crecimiento estuvo comprendida entre 69, 90 y 81 mm. Los frutos de mayor diámetro se obtuvieron en la finca Providencia, seguido por La Merced y La Ceiba con diámetro similar y por último La Yerbabuena. El mismo panorama se observa para el diámetro transversal que osciló entre 65,02 y 71,65 mm con el mismo orden antes mencionado. En La Yerbabuena se presentaron algunos inconvenientes de manejo del cultivo y condiciones climáticas durante la fase de crecimiento de los frutos monitoreados que condicionó el tamaño final ya que en campo se apreciaron frutos en otros lotes comerciales con mayores dimensiones durante toda la investigación; sin embargo, estos diámetros se encuentran dentro del intervalo de tamaño para frutos comercializados comúnmente como categoría I.

Tabla 17. Modelos logísticos de tres parámetros ajustados para diámetro longitudinal y transversal de crecimiento de frutos de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) durante el estudio en las fincas productoras en el Departamento del Huila. DDA: días después de antesis.

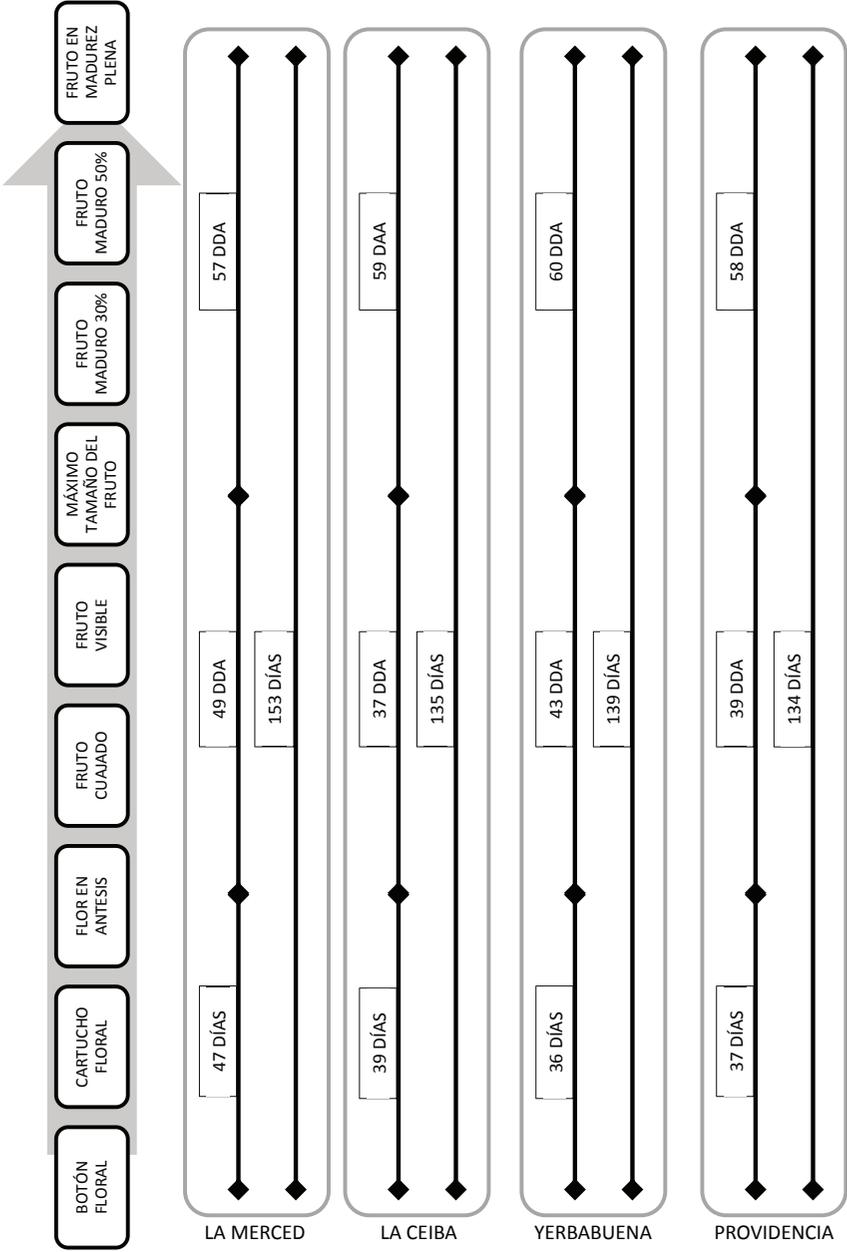
LOCALIDAD	MODELO LOGÍSTICO DE TRES PARÁMETROS AJUSTADO PARA DIÁMETRO LONGITUDINAL	MODELO LOGÍSTICO DE TRES PARÁMETROS AJUSTADO PARA DIÁMETRO TRANSVERSAL
La Merced	$Y = \frac{77,866}{1 + \text{Exp}(2,3068 - 0,1973 * DDA)}$ Pseudo R ² : 0,9017	$Y = \frac{71,112}{1 + \text{Exp}(2,4591 - 0,1849 * DDA)}$ Pseudo R ² : 0,9155
La Ceiba	$Y = \frac{76,723}{1 + \text{Exp}(2,4223 - 0,2564 * DDA)}$ Pseudo R ² : 0,9610	$Y = \frac{68,894}{1 + \text{Exp}(2,5005 - 0,2257 * DDA)}$ Pseudo R ² : 0,9669
Yerbabuena	$Y = \frac{69,904}{1 + \text{Exp}(2,4369 - 0,2132 * DDA)}$ Pseudo R ² : 0,9299	$Y = \frac{65,032}{1 + \text{Exp}(2,7046 - 0,2012 * DDA)}$ Pseudo R ² : 0,9591
Providencia	$Y = \frac{81,001}{1 + \text{Exp}(2,8045 - 0,2708 * DDA)}$ Pseudo R ² : 0,9484	$Y = \frac{71,658}{1 + \text{Exp}(2,8892 - 0,2442 * DDA)}$ Pseudo R ² : 0,9449

FENOGRAMA DEL CULTIVO DE GRANADILLA

La duración de las etapas principales que ocurren durante la fase reproductiva del cultivo de granadilla se presentan en la figura 9, donde se observan los tiempos requeridos en cada una de las fincas monitoreadas desde la aparición del botón floral (Estado 51) hasta flor en antesis (Estado 65), de la flor en antesis hasta obtener el máximo tamaño del fruto (Estado 79), desde el máximo tamaño del fruto hasta la maduración plena (Estado 89) y finalmente la duración total del ciclo.

De manera general, se observa que los menores tiempos requeridos en las fases de desarrollo del fruto de granadilla se obtuvieron en las fincas Providencia y La Merced, seguidos de la finca Yerbabuena; por último y con un desfase de ocho a diez días respecto a las demás (botón a antesis, máximo tamaño a maduración y total del ciclo de producción), la finca La Merced, que por su condición de menor temperatura promedio se hace necesario una mayor cantidad de días para completar

Figura 10. Duración de los eventos fenológicos durante la fase reproductiva en las fincas productoras de granadilla en La Argentina y Santa María (Huila).



el proceso de crecimiento y desarrollo tanto de la planta de granadilla como de los frutos específicamente. Los tiempos totales requeridos para completar el ciclo reproductivo son variados, van desde los 134 hasta los 153 días contados a partir de la emergencia del botón floral. En las fincas Providencia y La Ceiba se obtuvieron los menores tiempos (134 y 135 días, respectivamente), se encuentran en las altitudes más bajas (1.935 y 2.060 msnm, respectivamente) indicando que las condiciones climáticas de las zonas más bajas reducen la cantidad de días necesarios para completar el ciclo de producción. En el caso de la finca Yerbabuena se requirieron 139 días a partir del botón floral para obtener frutos en madurez plena de cosecha y en la finca La Merced transcurrieron 153 días hasta la madurez plena de los frutos.

CONSIDERACIONES FINALES

De acuerdo al seguimiento fenológico realizado en las cinco fincas productoras de granadilla pertenecientes a los municipios de La Argentina y Santa María (Huila) durante el período evaluado, se logró establecer que a una altitud inferior a los 1.900 msnm la producción de granadilla presenta muchos inconvenientes relacionados con problemas fitosanitarios, más precisamente con ataques de Trips, factor que dificulta el desarrollo normal de las plantas ya que produce daños severos en los puntos de crecimiento vegetativo, además que requiere de un manejo del cultivo más demandante para controlar este problema. Otro inconveniente que se observó en campo fue la falta de agua en el cultivo debido a las condiciones ambientales impetrantes, que puede generar estrés hídrico en las plantas si no se cuenta con sistema de riego permanente. Estas situaciones sugieren que la producción de granadilla en este lugar demanda mayores costos de producción por el monitoreo, control de plagas y la instalación de un sistema de riego.

Las condiciones climáticas presentadas en fincas La Ceiba (2.060 msnm) y Yerbabuena (2.270 msnm) favorecen el desarrollo rápido de las plantas de granadilla durante su fase vegetativa, logrando los mayores cambios de magnitud en el tiempo evaluado. En la finca La

Merced se observó que el crecimiento se da de una manera un poco más lenta que en los demás sitios de estudio, pero sin evidencia de efectos negativos sobre el desarrollo de las diferentes partes y estructuras de las plantas.

El tamaño de las estructuras florales fue mayor en la finca Yerbabuena, seguido muy de cerca de La Ceiba, Providencia y La Merced, sin mayores diferencias en este aspecto entre las localidades evaluadas. En cuanto a la generación de frutos, la finca Providencia (1.935 msnm) presentó los mayores tamaños de estructuras, seguidos de La Merced y La Ceiba con tamaños similares y por último Yerbabuena. El tamaño de los frutos obtenidos de manera general fue bueno y se catalogan dentro de la categoría I comercializada en el país, indicando que todas las localidades son apropiadas para la producción de frutos de granadilla.

Se concluye que en localidades con características similares a las presentadas en las fincas La Ceiba, Yerbabuena y Providencia, son óptimas para el cultivo de granadilla, debido a que no cuentan con limitantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas y su posterior producción comercial.

En localidades con condiciones similares a las presentadas en la finca La Merced también son apropiadas para la producción de granadilla, aunque es preciso se tenga en cuenta que la duración de las fases de crecimiento y desarrollo de las plantas pueden ser un poco mayores a las registradas normalmente para esta especie. Sin embargo, no son limitantes para la producción comercial de granadilla ya que se obtienen frutos de buen tamaño y color, características apetecidas por el mercado tanto local, como nacional y de exportación.

REFERENCIAS

ALMANZA, P. (2011). *Determinación del crecimiento y desarrollo del fruto de vid (Vitis vinifera L.) bajo condiciones de clima frío tropical*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. p. 166.

ANGULO, C. (2003). *Frutales exóticos de clima frío*. Bayer CropScience, Bogotá.

CASTRO, L. (2001). *Guía básica para el establecimiento y mantenimiento del cultivo de la granadilla (Passiflora ligularis Juss)*. Asohofrucol, FNFH. Bogotá.

FISCHER, G. (2000). Ecofisiología en frutales de clima frío moderado. En: *Memorias III Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado*. CDTF Manizales, Colombia. pp. 51-59.

FLÓREZ, L.; PÉREZ, L.; MELGAREJO, L.M. (2012). Manual calendario fenológico y fisiología del crecimiento y desarrollo del fruto de gulupa (*Passiflora edulis Sims.*) de tres localidades del departamento de Cundinamarca. pp. 33 -51. En: Melgarejo M. (Ed.). *Ecofisiología del cultivo de gulupa (Passiflora edulis Sims.)*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. p. 144.

GARCÍA, J. (2006). *La observación fenológica en agrometeorología*. Servicio de Aplicaciones meteorológicas. I. N. M. *Ambienta*. 53: 64-70.

HERNÁNDEZ, P.; ARANGUREN, M.; REIG, C.; FERNÁNDEZ, D.; MESEJO, C.; MARTÍNEZ, A.; GALÁN, V.; AGUSTÍ, M. (2011). Phenological growth stages of mango (*Mangifera indica L.*) according to the BBCH scale. *Scientia Horticulturae*. 130: pp. 536-540.

MEIER, U. (2001). *Estadios de las plantas mono- y dicotiledóneas, BBCH Monografía*. Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura. 2° Edición. p. 149.

RAMÍREZ, F.; FISCHER, G.; DAVENPORT, T.; PINZÓN, J.; ULRICH, C. (2013). Cape gooseberry (*Physalis peruviana L.*) phenology according to the BBCH phenological scale. *Scientia Horticulturae*. 162: pp. 39-42.

RIVERA, B.; MIRANDA, D.; ÁVILA, L.; NIETO, A. (2002). *Manejo integrado del cultivo de la granadilla (Passiflora ligularis Juss.)*. Editorial Litoas, Manizales Colombia. p. 123.

SALAZAR, M. (2006). *Un modelo simple de producción potencial de uchuva (Physalis peruviana L.)*. Tesis doctoral. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. p. 114.

SALAZAR, M.; MELGAREJO, P.; MARTÍNEZ, R.; MARTÍNEZ, J.; HERNÁNDEZ, F.; BURGUERA, M. (2006). Phenological stages of the guava tree (*Psidium guajava L.*). *Scientia Horticulturae*. 108: pp. 157-161.

SALINERO, M.; VELA, P.; SAINZ, M. (2009). Phenological growth stages of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* 'Hayward'). *Scientia Horticulturae*. 121: 27-31.

SCHWARTZ, M. (2013). Chapter 1. Introduction. En: Schwartz, M. D. (Ed.). *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Second Edition. Springer Science + Business Media. p. 610.

SCHOLBERG, J.; MCNEAL, B.; JONES, J.; BOOTE, K.; STANLEY, C.; OBREZA, T. (2000). Growth and canopy characteristics of field-grown tomato. *Agronomy Journal*. 92: pp. 152-159.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA, FISIOLÓGICA Y BIOQUÍMICA DEL FRUTO DE GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss)

*Diana Sofía Espinosa*¹, *Walter Hernando Pérez*²,
*María Soledad Hernández*³, *Luz Marina Melgarejo*^{4*},
*Diego Miranda*⁵, *Gerhard Fischer*⁶, *Juan Pablo Fernández-Trujillo*⁷

-
- ¹ Diana Sofía Espinosa Puentes, dsespinosap@unal.edu.co, Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Departamento de Biología – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Bióloga. Estudiante de maestría en Ciencias Agrarias.
- ² Walter Hernando Pérez, whperez@unal.edu.co, Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Departamento de Biología – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Químico. Maestría en Ciencias-Química.
- ³ María Soledad Hernández, mshernandez@unal.edu.co, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Instituto SINCHI. Bióloga. Ph.D.
- ⁴ Luz Marina Melgarejo, lmelgarejom@unal.edu.co, Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Departamento de Biología – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Bióloga. Ph.D.
- ⁵ Diego Miranda Lasprilla, dmirandal@unal.edu.co, Departamento de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Ingeniero Agrónomo. Ph.D.
- ⁶ Gerhard Fischer, gfischer@unal.edu.co, Departamento de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Ingeniero Agrónomo. Ph.D.
- ⁷ Juan Pablo Fernández-Trujillo, juanp.fdez@upct.es, Universidad Politécnica de Cartagena. Departamento de Ingeniería de Alimentos y E.A., Cartagena (Murcia), España. Ph.D.
- * Autor para correspondencia.

INTRODUCCIÓN

Las frutas tropicales están adquiriendo en las últimas décadas una mayor importancia por su alto contenido de nutrientes, minerales, vitaminas y azúcares. Según la FAO (2004), la producción y comercialización de frutas tropicales frescas aumentará en el próximo decenio y los países en desarrollo continuarán produciendo el 98% de dicha producción. La granadilla se clasifica dentro del grupo de “frutas tropicales secundarias”, que por su producción e importancia en la comercialización podrían ocupar un nicho muy interesante en los mercados.

La granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) es un fruto tropical originario de América, que pertenece a la familia Passifloraceae. Se distribuye desde México Central hasta América Central y Suroccidente de América. Es conocida con el nombre de badea, parcha granadina, granadilla real, y parchita amarilla (Nagy *et al.*, 1990).

El comportamiento pre y postcosecha (entre otros aspectos) de la granadilla no está claramente definido porque es una especie semisilvestre, el material de propagación es aún muy diverso, y la fisiología de su maduración está aún por entenderse plenamente. De hecho, en especies como la pera que llevan más de un siglo bajo riguroso estudio, Villalobos-Acuña y Mitcham (2008) indican que su fisiología aún no está bien entendida. Solo a través del conocimiento del desarrollo y maduración en general de los frutos de granadilla, se logrará establecer un marco de competitividad para ella en los mercados. Prueba de esta variabilidad se encuentra en los resultados de Cárdenas-Hernández *et al.* (2011) y Bernal-Parra *et al.* (2014) quienes indicaron la carencia de estructuración y la alta variabilidad intraespecífica debida al fenómeno de alogamia presente en la especie y el intercambio de semillas entre productores.

La maduración es un proceso irreversible y coordinado que se produce en la fase final del desarrollo de los frutos y de los vegetales que conduce a cambios fisiológicos, bioquímicos y sensoriales que producen un órgano comestible con parámetros de calidad deseables (Valero y Serrano, 2010). Dentro de los cambios bioquímicos y fisiológicos que presenta el fruto durante la maduración y que están regulados genéticamente se encuentran la biosíntesis de pigmentos, la síntesis de volátiles de aroma y sabor, el cambio en el metabolismo de los azúcares, las modificaciones en la estructura de la pared celular que afectan la textura (Giovannoni, 2001; Valero y Serrano, 2010).

El proceso de maduración en las frutas se clasifica de acuerdo a la tasa de respiración y producción de etileno, dividiendo los frutos en climatéricos y no climatéricos, como una clasificación arbitraria. Los frutos climatéricos presentan un pico de respiración asociado a la maduración organoléptica y coincide con un aumento perceptible y sostenido de la producción de etileno autocatalítico, el cual es necesario para que se inicie y progrese el proceso de la maduración; mientras los frutos no climatéricos pueden responder a etileno exógeno pero este no es un requerimiento para la maduración (Giovannoni, 2001; Hiwasa-Tanase y Ezura, 2014).

Existen diferentes conceptos de madurez, la madurez de cosecha es aquella etapa fisiológica en el desarrollo del fruto en la cual se desprende del árbol y puede llegar a desarrollar su madurez de consumo. Esta última es aquel momento del desarrollo donde el fruto alcanza todas las características sensoriales propias de la especie, como el sabor, color, aroma y textura, si se trata de un fruto climatérico. Sin embargo, los frutos no climatéricos desarrollan sus características sensoriales en la planta y solo hasta este momento pueden ser cosechados. La madurez fisiológica se define cuando la fruta se encuentra fisiológicamente en su máximo estado de crecimiento y desarrollo, y todas sus partes, especialmente la semilla, están formadas, maduras y aptas para su reproducción (Pinzón *et al.*, 2007; Bouzayen *et al.*, 2010).

El estudio del cultivo de la granadilla se ha abordado desde enfoques generales y multidisciplinarios (Miranda *et al.*, 2009; Rivera *et al.*, 2002; Perea *et al.*, 2010), sobre su ecofisiología (Fernández *et al.*, 2014), sobre

las plagas y enfermedades (Angulo, 2008), las características del fruto y las semillas (Linares *et al.*, 2013; Cárdenas-Hernández *et al.*, 2011; Cañar y Caetano, 2012; Villamizar, 1992), los usos en la industria alimenticia y propiedades medicinales (Carvajal-de Pabón, 2014; Saravanan y Parimelazhagan, 2014; Kannan *et al.*, 2011), maduración postcosecha (Dussán *et al.*, 2011; Fernández-Trujillo, 2006) y la caracterización de la cadena productiva y comercialización (Parra *et al.*, 2013). A pesar que el cultivo de granadilla se encuentra en Venezuela, Ecuador, Kenya y Sudafrica, así como en Australia, además de Colombia, es en nuestro país donde más investigación se ha hecho, debido posiblemente a que es la segunda passiflora de importancia en la exportación (CORPOICA, 2011).

La cosecha es una operación crítica en el buen desempeño de los frutos durante la posrecolección, por lo que es necesario profundizar en el conocimiento de la fisiología del crecimiento y maduración de la granadilla en planta, establecer el punto óptimo de cosecha analizando las variables fisiológicas, fisicoquímicas y bioquímicas para mejorar la calidad y longevidad de la vida poscosecha. De igual manera, es preciso conocer el efecto del medio ambiente en la expresión del genotipo para mejorar la producción y la calidad del cultivo, considerando además que la diversidad de la especie no permite un comportamiento homogéneo de las plantas en los sistemas de producción (Bernal-Parra *et al.*, 2014). Los avances en caracterización del crecimiento del fruto y los indicadores de recolección son un significativo avance que se presenta en esta publicación, para el departamento del Huila, en el Municipio de La Argentina donde actualmente se concentra gran parte de las 53000 Tn que se producen anualmente en el país (CORPOICA, 2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron frutos de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) cada ocho días desde antesis hasta madurez comercial, en la finca La Merced (2232 msnm), en el municipio de La Argentina en el departamento del Huila (N: 02°11'58,6'' y O: 075°55'36,3'').

La unidad de estudio estuvo constituida por diez plantas y en cada una se colectaron tres frutos por planta durante cada muestreo. Las variables que se consideraron y que darían una mejor idea del proceso de desarrollo del fruto se agruparon en físicas: 1) Peso fresco y peso seco con una balanza analítica (Mettler AB204). 2) Diámetro longitudinal y ecuatorial con un calibrador digital (Fischer *Scientific* 0-150mm). 3) Firmeza de los frutos por penetrometría usando un penetrómetro (con punta de 6 mm de diámetro), aplicando medida en el diámetro ecuatorial del fruto. 4) Cambios de color del exocarpo en cuatro puntos en el eje ecuatorial del fruto, por medio de un espectrocolorímetro (MiniScan XE Plus), se identificaron las coordenadas colorimétricas L (luminosidad), a* y b* que se transformaron a croma y hue (tono) respectivamente. Químicas: 5) Contenido de sólidos solubles totales (SST) del zumo de la fruta, con base en lo descrito en el método de AOAC 932.14, expresados como °Brix por medio de un refractómetro de precisión (marca *Hanna Instruments* Woonsocket, USA) con escala de 0-85 % en masa), como medida es proporcional a la concentración de azúcares en una solución (Rodríguez, 2009). 6) Acidez total titulable (%ATT) en el zumo de la fruta, por medio de la titulación de la muestra con NaOH 0,1 N en presencia del indicador fenofaleína hasta el viraje (Carrillo *et al.*, 2011; Flórez *et al.*, 2012; Hernández *et al.*, 2007; Hernández *et al.*, 2010; Melgarejo, 2010). La acidez total titulable (ATT) es una medida del contenido de ácidos orgánicos totales en las frutas. Se expresa como el contenido de ácido predominante en las frutas, principalmente el ácido cítrico (Rodríguez, 2009). 7) Contenido de los ácidos cítrico, málico y oxálico por cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) a 207 nm y ácido ascórbico a 242 nm. Los zumos de las frutas fueron analizados en un cromatógrafo líquido HPLC Waters (Waters, Milford, Massachusetts, EE.UU.), con una columna HPLC ROA acid organic H⁺ 30 cm x 7,8 mm, con un autoinyector Waters 2707 y un detector de arreglo de diodos PDA Waters 2998. 8) Contenido de azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa) por HPLC con una columna Phenomenex Ca⁺⁺ Monosacharide de 30cm X 8mm, con autoinyector Waters 2707, horno y detector de índice de refracción Waters 2014 (Solarte *et al.*, 2014; Díaz *et al.*, 2012; Chinnici *et al.*, 2005). 9) Tasa respiratoria y producción de etileno por cromatografía de gases usando el método de atmósfera confinada (Kader, 2002; Hernández

et al., 2010), el cual consistió en trasladar transitoriamente los frutos individuales a cámaras herméticas durante 60 minutos a 20 °C, y tras ese tiempo tomar una muestra e inyectar en el cromatógrafo de gases Agilent 7890B, dotado de un detector de ionización de llama (FID) y un metanizador de Níquel. Se usó una columna cromatográfica PoraPLOT QPT de 25 m x 0,35 mm x 20 µm.

RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS FRUTOS

Pesos y diámetro del fruto

El crecimiento de los frutos se describe como el aumento de masa fresca y seca al igual que como el cambio en los diámetros ecuatorial y longitudinal. El crecimiento del fruto de granadilla se presenta de manera acelerada para esta localidad del Huila durante los primeros 34 días después de la antesis o apertura floral (DDA), donde se presenta el máximo crecimiento, el cual se estabiliza y permanece constante y no varía hasta la madurez de cosecha, la cual prácticamente coincide con la madurez comercial. En concordancia con el cambio de masa el crecimiento en dimensiones de los frutos de granadilla fue rápido hasta el día 21 y a partir de allí, la tasa de crecimiento disminuyó hasta alcanzar el tamaño máximo hacia el día 41, con valores promedio de 8,12 cm (Figura 1).

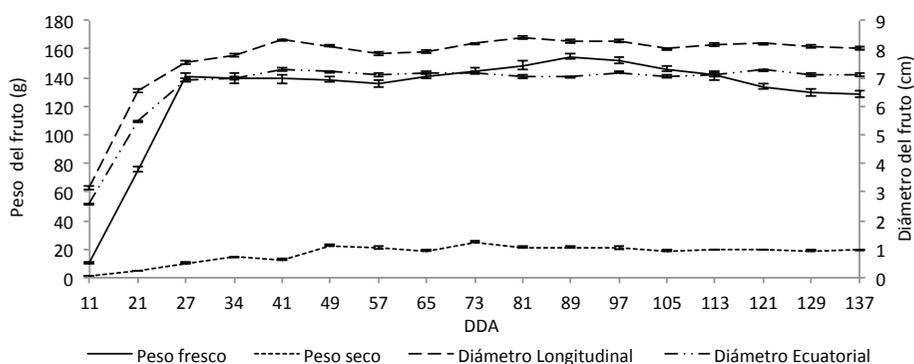


Figura 1. Pesos y diámetros de frutos de granadilla colectados después de antesis hasta madurez comercial (DDA). Las barras representan el error estándar (n=30).

El crecimiento del fruto de granadilla muestra una curva sigmoide simple con una primera fase de división y expansión celular, que se evidencia en el aumento del tamaño de la fruta, y posteriormente con una fase de crecimiento reducido hasta alcanzar el máximo peso fresco hacia el día 49, con un promedio de 141,1 g en las condiciones del Huila (Figura 1).

Variaciones en condiciones de clima y suelo, así como el momento de la vida de la planta hacen que estos tiempos se reduzcan, a veces hasta en un 50% como reportan Rivera *et al.* (2002) que para la misma especie el tiempo de desarrollo es solo de 70-75 días, en condiciones del eje cafetero. La maduración más lenta en condiciones del departamento del Huila lleva a que la madurez fisiológica se alcance solo hasta el día 105 DDA, cuando la semilla es viable para la germinación y se ha terminado la formación del arilo. Se encontró que esta especial condición de retraso en la maduración puede tener interesantes implicaciones en la vida de anaquel o góndola del fruto de granadilla, ya que, de acuerdo con Salisbury (2000), lapsos mayores para alcanzar la maduración están directamente ligados a vida poscosecha más larga en el caso de frutas.

Este comportamiento se presentó en otras passifloras como maracuyá, donde se alcanza el máximo tamaño entre los días 18 y 20 DDA (Akamine y Girolami, 1959; Paull y Chen, 2014), y gulupa (*Passiflora edulis* Sims.) cuyo máximo tamaño fue hacia los días 30 y 48 DDA (Carvajal *et al.*, 2012; Flórez, 2012), respectivamente. Si se revisa esta condición hay una proporción entre el máximo tiempo de desarrollo y el máximo tamaño siendo de 10% del tiempo total.

La relación de masa seca y masa fresca para muchos frutos tropicales y no tropicales, corresponde a un 10% de la masa fresca, condición que se mantiene en el fruto de granadilla y puede, además, explicarse a que la mayor cantidad de frutos están constituidos hasta en un 95% de agua, en casos como la patilla y la pitaya. Para el caso de la granadilla, Fischer *et al.*, (2009) y Fischer (2012), indican que el agua es indispensable para el transporte y metabolismos de carbohidratos, ácidos, y para mantener la turgencia de las células; de allí la importancia del riego durante el llenado de la fruta. Sin embargo, es importante

eliminar el exceso de riego para evitar rajado, o la disminución brusca de la irrigación porque podría provocar un repentino estrés, abscisión prematura, maduración acelerada, o/y otros síntomas indeseables para el fruto o la planta.

Cabe además anotar que la masa fresca de las passifloras se ve incrementada por el crecimiento de estructuras de naturaleza acuosa como el arilo de la semilla. El trabajo desarrollado por Ishihata (1965) en maracuyá, *Passiflora edulis* f. *flavicarpa*, reportó que el arilo durante la antesis es una delgada membrana que rodea a las semillas, hacia los diez DDA su crecimiento se incrementa hasta formar una bolsa, la cual es llamada saco de jugo, a los 25 DDA aparece la pulpa jugosa y a los 75 DDA los sacos de jugo se encuentran completamente desarrollados, similar a lo que se produce en la granadilla y otras passifloras, de acuerdo con su propio acervo genético y las condiciones climáticas del momento del desarrollo del fruto.

Firmeza del fruto de granadilla

La firmeza es una característica mecánica de la textura, utilizada para describir el comportamiento reológico (estudio de la deformación y fluir de la materia) de materiales biológicos y es la máxima fuerza requerida para lograr la compresión, la punción o el corte de un material (Linares *et al.*, 2013).

En el caso de la granadilla, el fruto presenta una firmeza de 69 N (Figura 2) desde el día 113 de desarrollo hasta la madurez de consumo, a diferencia de lo reportado por Linares *et al.*, (2013) y Dussán *et al.*, (2011) quienes registraron en promedio una firmeza de 43 N para frutos muestreados en mercados del departamento del Cauca, respectivamente, quizás asociado a una rápida maduración tras la cosecha en las condiciones de medida. Para el caso de los frutos crecidos bajo las condiciones del Huila, 69 N indican que está en momento oportuno para cosechar y es un fruto apto para su transporte y manipulación (Figura 2).

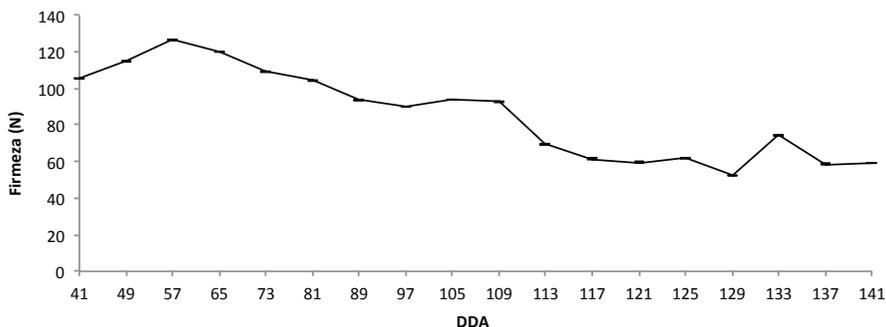


Figura 2. Firmeza de frutos de granadilla colectados después de antesis hasta madurez comercial (DDA). Las barras representan el error estándar (n=30).

La firmeza disminuye debido a cambios en la estructura de la pared celular, los cuales implican la actividad de enzimas como la poligalacturonasa, celulosa y pectinmetilesterasa que degradan los componentes de la misma (Gallo, 1996; Toinoven *et al.*, 2008). La pérdida de firmeza depende de la anatomía de los tejidos vegetales, en particular el tamaño de las células, su forma y disposición en el fruto, de la respuesta a la presión de turgencia, del espesor y de la resistencia de las paredes de las células (Chanliaud *et al.*, 2002).

A pesar de la diversidad de la especie y su condición semisilvestre se encuentran respuestas similares en cuanto a la firmeza de los frutos del Huila, con los previamente estudiados en otras zonas del país y reportados por García, (2008) y Villamizar, (1992) de alrededor de 71 N. Además de ser un indicador de la resistencia del fruto, la firmeza también puede ser utilizada como un indicador de la maduración del fruto, como en maracuyá cuya pérdida de firmeza se constituye en una forma práctica de identificación de la madurez comercial del fruto (Cleves *et al.*, 2009).

Evolución del color de frutos de granadilla a través de su crecimiento

Los parámetros de color (luminosidad, saturación y tono) en una muestra de alimento, designan: L, la luminosidad que va desde negro (0) hasta blanco (100). Los ejes Croma indican la saturación del color,

cuanto mayor sea su valor más vivo será el color, y hue representa el tono y se expresa en grados (Padrón *et al.*, 2012; Castro *et al.*, 2013).

En el caso de frutos de granadilla cultivados en el departamento del Huila se observó un aumento en las coordenadas colorimétricas, luminosidad (L) y croma (C); mientras los valores del hue (h) disminuyeron a partir del día 121 como una consecuencia del inicio de la maduración de la fruta en planta. El aumento en la luminosidad indica incremento en el brillo de la corteza de la fruta; en tanto que el aumento en las coordenadas croma y hue indican el cambio en el color que se aleja del verde oscuro y mate hacia un amarillo-anaranjado más vivo (Figuras 3 y 4).

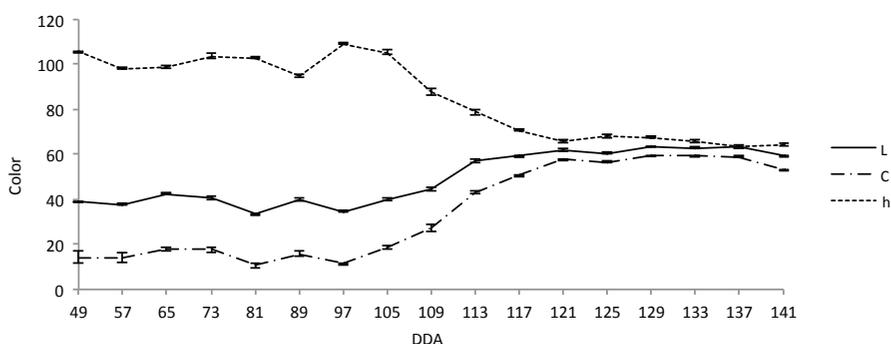


Figura 3. Coordenadas colorimétricas de frutos de granadilla colectados después de antesis hasta madurez comercial (DDA). Las barras representan el error estándar (n=30).

Durante la maduración de las frutas passifloráceas la característica más notable es el cambio del color de la epidermis (Schotsmans y Fischer, 2011). El color es una de los principales atributos en la apariencia de los frutos y es un indicador de la madurez (Nunez, 2008). Los frutos de granadilla cambian de color verde a amarillo-anaranjado durante la maduración (Figura 4), lo cual se debe a la degradación de la clorofila y a la aparición de otros pigmentos, principalmente los carotenoides, responsables de la coloración amarillo a anaranjada (Valpuesta *et al.*, 1996; Valero y Serrano, 2010).



Figura 4. Cambios en la coloración de la cáscara de frutos de granadilla colectados después de antesis hasta madurez comercial en el municipio de La Argentina, Huila. Fotografías tomadas por Diana Espinosa.

CARACTERIZACIÓN FISIOLÓGICA Y BIOQUÍMICA DE FRUTOS DE GRANADILLA

Sólidos Solubles Totales (SST) y azúcares orgánicos

El aumento de sólidos solubles es una característica bien definida en la maduración de todos los frutos la cual se da como una respuesta al desdoblamiento de polisacáridos de mayor tamaño como es el caso de los almidones almacenados en las vacuolas y espacios intercelulares durante el crecimiento del fruto (Wills *et al.*, 2007, Valero y Serrano, 2010). En el caso de la granadilla del Huila, los sólidos solubles totales aumentaron rápidamente hasta el día 109 y posteriormente se mantuvieron valores constantes hasta alcanzar la madurez comercial (día 141), con un valor final de 13,3 °Brix (Figura 5).

Los SST en frutas están constituidos principalmente por azúcares disueltos en el jugo celular. Los principales azúcares en los zumos de las frutas son la sacarosa, glucosa y fructosa, que suman alrededor de los 75% de los SST (Rodríguez, 2009).

En frutos de granadilla se encontró que los azúcares predominantes son sacarosa, glucosa y fructosa (Figura 5). Se observa una acumulación de sacarosa durante el desarrollo del fruto hasta el día 121 DDA para posteriormente mostrar una disminución, y el lógico aumento de los contenidos de glucosa y fructosa, producto de la hidrólisis de la sacarosa. Los contenidos de fructosa y glucosa muestran variaciones durante la maduración pero hacia el día 141 alcanzan valores de

34,57 mg/g pulpa de glucosa y 32,72 mg/g de pulpa de fructosa (Figura 5), lo que permite considerar a esta fruta como dulce comparada con otros frutos de la misma familia. La variación en maduración se encuentra relacionada probablemente con la translocación de fotoasimilados que se da desde las hojas hacia el fruto durante el crecimiento del mismo y el metabolismo de azúcares en los frutos una vez se inicia la maduración (Kays, 1997; Kubo *et al.*, 2001; Álvarez-Herrera *et al.*, 2009) así como con el efecto específico de las condiciones climáticas de la zona de estudio.

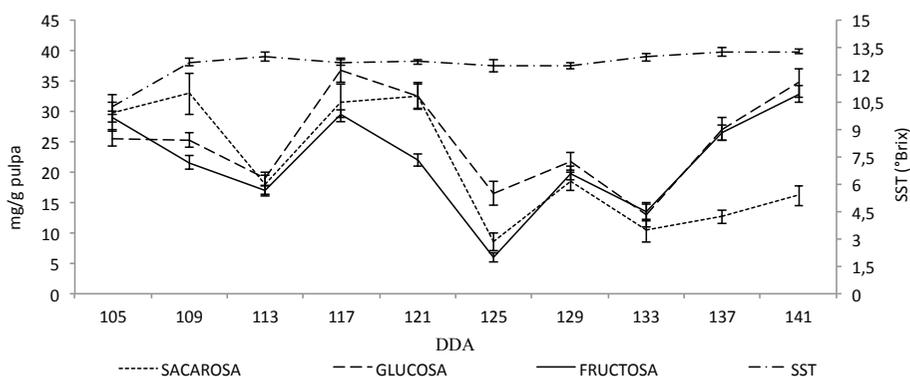


Figura 5. Sólidos solubles totales (°Brix) y contenido de azúcares en pulpa de frutos de granadilla colectados después de anthesis hasta madurez comercial (DDA). Las barras representan el error estándar (n=30).

Es probable, que hacia el día 125, la sacarosa comience a ser el sustrato en el proceso respiratorio del fruto durante su maduración en planta y que todavía exista translocación de sacarosa desde las hojas más cercanas hacia el fruto, siendo este un momento de transición de los azúcares (Hobson, 1996; Fischer y Lüdders, 2003).

Los estudios sobre azúcares orgánicos y sólidos solubles totales que se han realizado en el país en frutos de granadilla originarios de diferentes zonas de producción, coinciden con los valores encontrados para los frutos estudiados en el departamento del Huila (Rivera *et al.*, 2002; Villamizar, 1992; Mogollón, 2009; Dussan *et al.*, 2011; Cabrera, 2006; García, 2008). Sin embargo, frutos provenientes del departamento del Cauca (Colombia), tienen una concentración de sólidos

solubles de 14,5 °Brix (Cañar y Caetano, 2012), lo cual indica posible efecto del clima en la maduración del fruto y sus propiedades organolépticas.

Con el avance de la maduración en los frutos como el maracuyá, clasificado como climatérico ocurre la hidrólisis del almidón, cuyo producto principal es la glucosa, la cual es acumulada principalmente junto con otros azúcares como la fructosa (Oliveira *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2009). En el caso de la granadilla no se registraron contenidos de almidón; sin embargo, los contenidos de sacarosa, fructosa y glucosa presentan niveles importantes durante todo su desarrollo, comportamiento que coincide con lo que sucede con el maracuyá, en el cual los azúcares representan alrededor del 80% de los sólidos solubles de la pulpa, similar a los contenidos de granadilla del Huila.

Acidez total titulable y ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos son respirados, como sustrato del metabolismo primario. Su disminución es producto de su ingreso al ciclo de los ácidos tricarbóxicos para la producción de energía. Los principales ácidos orgánicos en los frutos de granadilla cosechados en el departamento del Huila son: cítrico, málico, y oxálico. El ácido mayoritario es el ácido cítrico, y en mucha menor concentración se encuentran el málico y el ascórbico, siendo minoritario el ácido oxálico (Figura 6). El contenido de ácido cítrico disminuyó a través de la maduración, encontrándose el mayor valor en el día 105 DDA. El ácido málico disminuyó de manera similar a pesar que los últimos días presentó un aumento; muy similar a lo observado para el ácido oxálico. El contenido de ácido ascórbico presenta valores con pocos cambios a través de los estados de madurez, aunque con un aumento hacia el día 137 DDA.

En la granadilla la acidez total titulable se hace máxima a los 109 días del desarrollo, para luego disminuir hacia el día 117 a valores cercanos a 0,66%, los cuales se mantienen hasta la madurez comercial (Figura 6) (Osterloh *et al.*, 1996).

Los resultados obtenidos son acordes con lo reportado por García (2008) donde se reportó un valor de 0,60% en la acidez para la fruta madura; aunque otros estudios han reportado una menor acidez en la

fruta madura con valores de 0,47% (Cabrera, 2006; Villamizar, 1992; Rivera *et al.*, 2002). Estas diferencias pueden estar dadas por factores climáticos como la temperatura y humedad relativa; los frutos de zonas cálidas presentan un desarrollo morfológico y bioquímico acelerado obteniéndose acidez y aroma elevados, pero aumentando la degradación en poscosecha (Fischer, 2005).

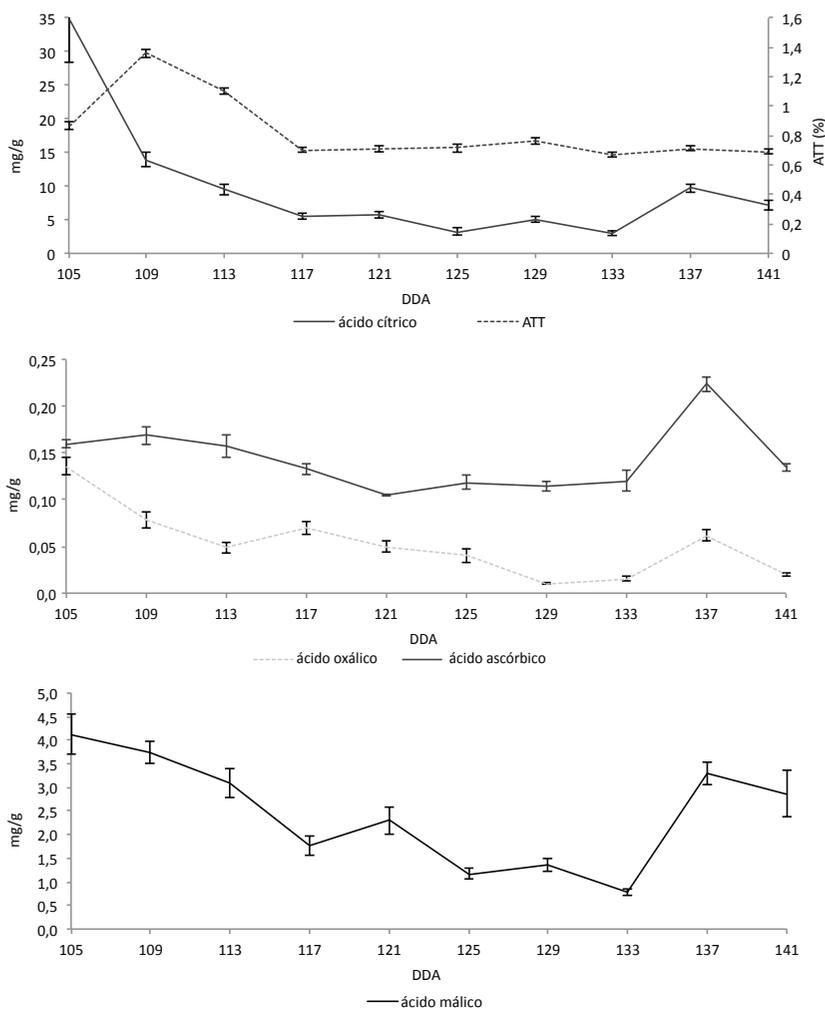


Figura 6. Acidez Total Titulable (%) y contenido de ácidos orgánicos en pulpa de frutos de granadilla colectados después de anéisis hasta madurez comercial (DDA). Las barras representan el error estándar (n=30).

Estudios en passifloras principalmente en maracuyá y en gulupa reportan el ácido cítrico como el predominante seguido por el ácido málico, lo que coincide con nuestros resultados para granadilla (Rodríguez *et al.*, 1992; Shiomi *et al.*, 1996; Flórez *et al.*, 2012).

Diferentes estudios se han enfocado en los contenidos de vitamina C para frutas tropicales. Es una de las vitaminas solubles en agua más importantes presente en los alimentos y un antioxidante natural que puede ayudar a prevenir o retrasar el daño oxidativo. El contenido de ácido ascórbico corresponde a lo encontrado para maracuyá por Zarak *et al.* (2010) (22,0 mg/100g o su equivalente 0.22 mg/g) y un poco menor para lo reportado por Valente *et al.* (2011) (36,3 mg/100 g o su equivalente 0,36 mg/g). Se ha reportado que para frutos maduros de maracuyá el contenido de ácido ascórbico es mayor en las cáscaras de los frutos (41,98 mg/100 g) que en la pulpa (Hernández-Santos *et al.*, 2015).

El contenido de ácidos orgánicos en las frutas va a depender de diferentes variables, Rodríguez *et al.* (1992) indican que los ácidos cítrico, málico y oxálico aumentan durante los estados tempranos del desarrollo del fruto y decrecen en la maduración. Por otra parte, el estudio de Shinohara *et al.* (2013), en maracuyá, mencionan que la variación en el contenido de ácidos orgánicos, principalmente el cítrico, se da cuando se presenta disminución en la temperatura diaria acumulada.

Índice de madurez

El balance entre los azúcares y los ácidos determina el sabor característico del fruto, y su cociente indica el índice de madurez (Villamizar, 1992). Para frutos de granadilla se encontró en valores de 20 a partir del día 117 y se mantuvo hasta la madurez comercial, que es un poco menor que los encontrados por Mogollón (2009) y García (2008) quienes reportaron 25 y 38,7, respectivamente; lo cual indica diferencias que existen en el sabor dulce de la fruta de acuerdo a la procedencia de la misma (Figura 7).

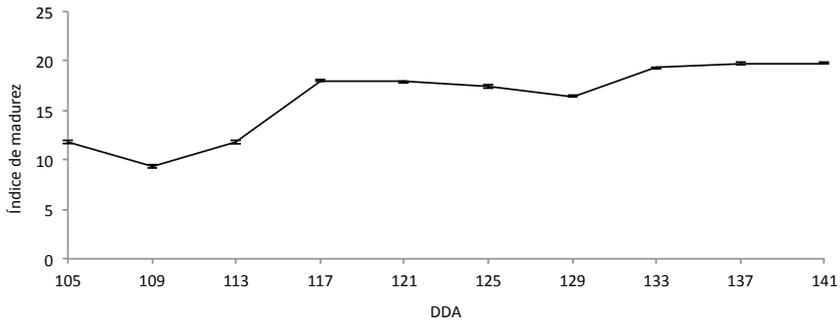


Figura 7. Relación de índice de madurez (sólidos solubles totales divididos por acidez en porcentaje del ácido cítrico predominante) de frutos de granadilla colectados después de antesis hasta madurez comercial (DDA). Las barras representan el error estándar (n=30).

Intensidad respiratoria

La respiración es la actividad de oxidación de las moléculas del metabolismo primario que proceden de la fotosíntesis. La relación existente entre la respiración y la maduración de la fruta climatérica ha sido cuestionada en los últimos años, ya que algunos frutos muestran que la maduración ocurre en ausencia de cualquier aumento en la respiración (Salveit, 1993; Bouzayen *et al.*, 2010). Un trabajo realizado en melón indica que la presencia o ausencia del climaterio respiratorio depende de las condiciones ambientales prevalecientes (Bower *et al.*, 2002).

Durante el inicio del desarrollo se observa un leve aumento en el día 49 que corresponde a 78,39 mg CO₂/Kg*h, pero este no se puede asociar a un climaterio, aunque ya Hernández *et al.* (1992) habían reportado los climaterios de juvenilidad, para el caso de pitaya. Para frutos de granadilla, estudiados en el Departamento del Huila, se encontró una disminución en la producción de CO₂ que se mantiene desde los 105 DDA (Figura 8).

Los resultados de este estudio indican que un pico transitorio a los 105 d (Figura 8) coincide con un inicio del viraje de los frutos (Figura 4), el aumento del índice de madurez posterior (Figura 7), y una acumulación transitoria de sacarosa (Figura 5). Todo este proceso parece desarrollarse entre los 105-117 días y coincidiría con un aumento de la

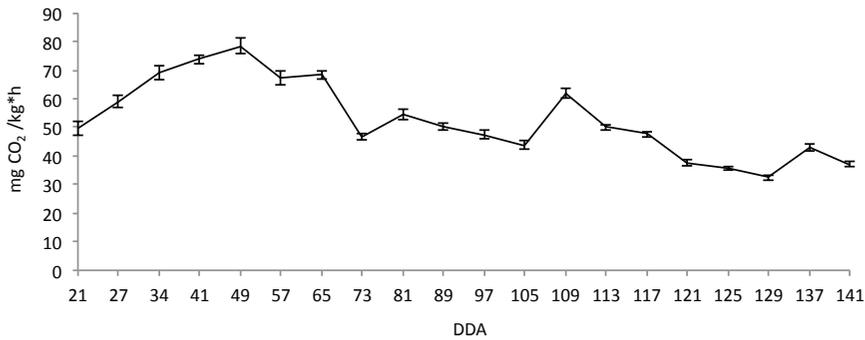


Figura 8. Intensidad respiratoria en frutos de granadilla colectados desde antesis hasta madurez comercial (DDA). Las barras representan el error estándar (n=30).

coloración del fruto, típica de los frutos climatéricos. Sin embargo, no se detectaron cantidades de etileno apreciables en el fruto (datos no mostrados) y el proceso se desarrolla muchísimo antes de la madurez comercial (141 DDA; Figura 8).

Estas evidencias hacen considerar que los frutos de granadilla presentan un climaterio en planta muy débil, coincidente con el inicio de viraje del fruto (Tabla 1) y lo reportado en maracuyá (Biale, 1975; Matta *et al.*, 2006). Las evaluaciones en granadilla procedente del departamento del Huila tras 24 horas de cosechado el fruto, podrían no ser la más representativa para la especie algunos aspectos de la fisiología del fruto quedan aún por aclararse. Otros autores (Villavicencio *et al.*, 2001) han acuñado el término de “comportamiento climatérico intermedio” que puede asociarse a que el fruto se manifiesta claramente climatérico en la planta, pero que el estrés ocasionado por la cosecha, lo lleva a un comportamiento no climatérico, como se mostró en frutos de ají.

Estudios en otras passifloras como curuba (Téllez *et al.*, 1998) y gulupa (Lüdders, 2003; Flórez *et al.*, 2012) las reportan como climatéricas y en el caso de gulupa, así como del maracuyá, el climaterio respiratorio y la emisión de etileno están claramente verificados (Hernández y Fischer 2009) siendo en los arilos más que en las semillas donde se encontró la mayor cantidad de etileno (Mita *et al.*, 1998).

No existe un estudio comparativo en precosecha en granadilla. Los estudios realizados con fruta de granadilla madura en diferentes tiempos de almacenamiento postcosecha (Mogollón, 2009; Villamizar, 1992) concluyen un comportamiento climatérico, aunque sin ninguna variable de respuesta, como la respiración y la producción de etileno, o tratamientos postcosecha con etileno exógeno, que así lo indique claramente. Por otra parte, en frutos de granadilla con aplicación de 1-MCP en tiempos muy reducidos tampoco se encontró incidencia destacable sobre el proceso de maduración durante el almacenamiento, que podría discutirse como que el fruto mismo no presentó una emisión de etileno que fuera controlada por el retardante de maduración (Dussán *et al.*, 2011). Por tanto, son necesarios estudios precosecha en el período de maduración en planta, y con tratamientos postcosecha, así como mediciones de etileno finas, para verificar el comportamiento climatérico en granadilla. Si es que existe intervención de etileno en el proceso, probablemente se trataría de un pico transitorio del gas a niveles bajos pero suficientes para inducir el proceso en planta, por lo que su detección es difícil.

Como conclusión práctica de este estudio podríamos decir que el punto óptimo de cosecha de los frutos de granadilla en La Argentina en el departamento del Huila es el estado 4 (Tabla 1), donde se presenta la mayor concentración de azúcares en el fruto, el contenido de ácido ascórbico muestra valores altos, la fruta ha disminuido su acidez y se alcanza un color homogéneo de la epidermis con la luminosidad característica del recubrimiento de compuestos céreos, característicos del fruto. Eventualmente, para alargar el tiempo de manipulación y comercialización, el fruto puede cosecharse en un estado previo (Estado 3) , porque se completa el proceso de maduración.

Tabla 1. Tabla de calidad de las granadillas (*Passiflora ligularis* Juss). DDA días después de antesis.

ESTADO DE MADUREZ	DESCRIPCIÓN	ESCALA COLOR	°Brix	ACIDEZ (%)	ÍNDICE DE MADUREZ (°Brix/ACIDEZ)	
1		Fruto 100% de crecimiento, 100% verde 49-105 DDA	L= 38,49	10,2	1,4	7,6
			C= 15,08			
			h=102,347			
2		Fruto 100% de crecimiento, 60% verde - 40% amarillo 109-117 DDA	L= 53,65	12,8	1,1	12,2
			C= 40,41			
			h= 79,21			
3		Fruto 100% de crecimiento, 60% amarillo - 40% verde 121 - 129 DDA	L= 61,96	12,5	0,7	17,4
			C= 57,86			
			h= 67,09			
4		Fruto 100% de crecimiento, 100% amarillo 133-141 DDA	L= 61,77	13,1	0,7	18,5
			C= 57,04			
			h= 64,53			

Fotografías tomadas por Diana Espinosa.

REFERENCIAS

AKAMINE, E., GIROLAMI, G. 1959. *Pollination and fruit set in the Yellow Passion Fruit*. Hawaii Agricultural Experiment Station, University of Hawaii.

ÁLVAREZ-HERRERA, J.; GALVIS, J.; BALAGUERA-LÓPEZ, E. (2009). Determinación de cambios físicos y químicos durante la maduración de frutos de champa (*Campomanesia lineatifolia* R. & P.). *Agronomía Colombiana*. 27(2): pp. 253-259.

ANGULO, R. (2008). Granadilla *Passiflora ligularis*. Bogotá: *Crop Science SA*. p. 30.

AOAC Official Method 932.12. (2005). Solids (soluble) in fruit, and fruit products. *Official Method of Analysis of AOAC International*, ed.18, caps 37.

BERNAL-PARRA, N.; OCAMPO-PÉREZ, J.; HERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, J. (2014). Characterization and analysis of the genetic variability of sweet passion fruit (*Passiflora ligularis* Juss) in Colombia using microsatellite markers. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 36(3): pp. 586-597.

BIALE, J.B. 1975. *Synthetic and degradative process in fruit ripening*. Postharvest Biol. & Handling of Fruits & Veg. Symp. AVI, Westport, Conn.

BOUZAYEN, M.; LATCHÉ, A.; NATH, P.; PECH, J. (2010). Mechanism of Fruit Ripening - Chapter 16. In: *Plant Developmental Biology - Biotechnological Perspectives* vol. 1. Springer.

BOWER, J.; HOLFORD, P.; LATCHÉ, A.; PECH, J.C. (2002). Culture conditions and detachment of the fruit influence the effect of ethylene on the climacteric respiration of melon. *Postharvest Biology and Technology*. (26): pp. 135-146.

CABRERA, C. (2006). *Caracterización de las propiedades físicas y químicas del fruto de granadilla, Passiflora ligularis* Juss. Tesis de maestría. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.

CAÑAR, D.; CAETANO, C. (2012). Caracterización fisicoquímica preliminar como estrategia para promoción y conservación de tres frutales neotropicales. *Acta Agronómica*. (61): pp. 83-84.

CÁRDENAS-HERNÁNDEZ, J.; MIRANDA, D.; MAGNITSKIY S.; CARRANZA, C. (2011). Análisis morfológico y anatómico de las cubiertas de semillas de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.). *Agronomía Colombiana*. 29(3): pp. 377-385.

CARRILLO, M.; HERNÁNDEZ, M.S.; BARRERA, J.; MARTINEZ, O.; FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J.P. (2011). 1-Methylcyclopropane delays arazá ripening and improves postharvest fruit quality. *Food Science and Technology*. 44(1): pp. 250-255.

CARVAJAL, V.; ARISTIZÁBAL, M.; VALLEJO, A. (2012). Caracterización del crecimiento del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims). *Agronomy*. 20 (1): pp. 77-88.

CARVAJAL-DE PABÓN, L.; TURBAY, S.; ÁLVAREZ, L.; RODRÍGUEZ, A.; ÁLVAREZ, J.; BONILLA, K.; RESTREPO, S.; PARRA, M. (2014). Relación entre los usos populares de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) y su composición fotoquímica. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 12 (2): pp. 185-196.

CASTRO, J.; CERQUERA, N.; GUTIÉRREZ, N. (2013). Determinación del color del exocarpio como indicador de desarrollo fisiológico y madurez en la guayaba pera (*Psidium guajava* cv. guayaba pera), utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes. *Revista EIA Escuela de Ingeniería de Antioquia*. 10(19): pp. 79-89.

CHANLIAUD, E.; BURROWS, K.; JERONIMIDIS, G.; GIDLEY, M. (2002). Mechanical properties of primary plant cell wall analogues. *Planta*. 215: pp. 989-996.

CHINNICI, F.; SINABELLI, U.; RIPONI, C.; AMATI, C. (2005). Optimization of the determination of organic acids and sugars in fruit juices by ionexclusion liquid chromatography. *Journal of Food Composition and Analysis*. 18: pp. 121-130.

CLEVES, A.; JARMA, A.; FONSECA, J. (2009). Manejo integrado del cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). En: Miranda, D., G. Fischer, C. Carranza, S. Magnitskiy, F. Casierra-Posada, W. Piedrahíta y L.E. Flórez (eds.). *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba*. Bogotá: Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. pp. 97-120.

CORPOICA. (2011). *Manejo fitosanitario del cultivo de la granadilla Passiflora ligularis. Medidas para la temporada invernal Sanidad agropecuaria e inocuidad en la producción primaria*. p. 29.

CORPAS, E.; TAPASCO, O. (2014). Hallazgos de la biosíntesis del etileno en frutas climatéricas y de los factores que afectan la ruta metabólica. *Revista Alimentos Hoy*. 22: pp. 31-46.

DÍAZ, RO.; MORENO, L.; PINILLA, R.; CARRILLO, W.; MELGAREJO, L.M., MARTÍNEZ, O.; HERNÁNDEZ, S.; FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J. (2012).

Postharvest behavior of purple passion fruit in Xtend® bags during low temperature storage. *Acta Horticulturae*. 934: pp. 727-731.

DUSSAN, S.; SERNA, C.; PERENGUEZ, C.A.M. (2011). Efecto de la aplicación de 1-Metilciclopropeno sobre algunas propiedades físico-químicas y organolépticas del fruto de la granadilla. *Acta Agronómica*. 60 (3): 237-244.

FAO, (2004). Perspectivas a plazo medio de los productos básicos agrícolas. Proyecciones al 2010. Roma. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-y5143s.pdf>

FERNÁNDEZ, G.E.; MELGAREJO, L.M.; RODRÍGUEZ, N.A. (2014). Algunos aspectos de la fotosíntesis y potenciales hídricos de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) en estado reproductivo en el Huila, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 8 (2): pp. 206-216.

FISCHER, G. (2005). Aspectos de la fisiología aplicada de los frutales promisorios en cultivo y poscosecha. *Revista Comalfi*. 32(1): pp. 22-34.

FISCHER, G. (ed). (2012). *Manual para el cultivo de frutas tropicales en el trópico*. Bogotá: Produmedios.

FISCHER, G.; LUDDERS, P. (1997). Developmental changes of carbohydrates in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits in relation to the calyx and the leaves. *Agronomía Colombiana*. 14(2): pp. 95-107.

FISCHER, G.; CASIERRA-POSADA, F.; PIEDRAHÍTA, W. (2009). Ecofisiología de las especies pasifloráceas cultivadas en Colombia. En: Miranda, D., G. Fischer, C. Carranza, S. Magnitskiy, F. Casierra-Posada, W. Piedrahíta y L.E. Flórez (eds.). *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba*. Bogotá: Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, pp. 45-68.

FLÓREZ, L. (2012). *Caracterización fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (Passiflora edulis Sims) bajo tres ambientes contrastantes*. Tesis de maestría. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

FLÓREZ, L.M.; PÉREZ, L.V.; MELGAREJO, L.M.; HERNÁNDEZ, S. (2012). Caracterización fisicoquímica, fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) como indicadores para el punto óptimo de cosecha. En: Melgarejo, L.M. (ed.). *Ecofisiología del cultivo de la gulupa (Passiflora edulis Sims)*. Universidad Nacional de Colombia. pp. 53-79.

GALLO, F. (1996). *Manual de fisiología, patología post-cosecha y control de calidad de frutas y hortalizas*. Convenio SENA - NRI, Armenia. pp. 10-41.

GARCÍA, C. (2008). *Manual de manejo cosecha y poscosecha de granadilla*. Bogotá: Corpoica. p. 98.

GIOVANNONI, J. J. (2001). Molecular biology of fruit maturation and ripening. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 52: pp. 725-749.

HERNÁNDEZ, M.S.; RESTREPO, P.; CLAVIJO, J. (1992). Caracterización morfológica, química y fisiológica de fruto de pitaya amarilla. *Agricultura Tropical*. 29(3): pp. 69-75.

HERNÁNDEZ, S.; MARTÍNEZ, O.; FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J.P. (2007). Behavior of Arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh), fruit quality traits during growth, development and ripening. *Scientia Horticulturae*. (111): pp. 220-227.

HERNÁNDEZ, S.; FISCHER, G. (2009). Cosecha y poscosecha en las frutas pasifloráceas. En: Miranda, D., G. Fischer, C. Carranza, S. Magnitskiy, F. Casierra-Posada, W. Piedrahíta y L.E. Flórez (eds.). *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba*. Bogotá: Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. pp. 45-68.

HERNÁNDEZ, S.; BARRERA, J.; MELGAREJO, L. (2010). Fisiología Poscosecha. En: Melgarejo, L.M. (ed.). *Experimentos en fisiología vegetal*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. pp. 167-186.

HERNÁNDEZ-SANTOS, B.; VIVAR-VERA, M.; RODRÍGUEZ-MIRANDA, J.; HERMAN-LARA, E.; TORRUCO-UCO, J.; ACEVEDO-VENDRELL, O.; MARTÍNEZ-SANCHEZ, C. (2015). Dietary fibre and antioxidant compounds in passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) peel and depectinised peel waste. *International Journal of Food Science and Technology* 50: pp. 268-274.

HIWASA-TANASE, K.; EZURA, H. (2014). Climacteric and Non-climacteric Ripening. En: Nath, P.; Bouzayen, M.; Mattoo, A.; Pech, J. (Ed.) *Fruit Ripening Physiology, Signalling and Genomics*. London: CAB International, pp. 1-14.

HOBSON, G.E. (1996). Maduración del fruto. En: Azcon-Bieto, J. y M. Talón (eds.). *Fisiología y bioquímica vegetal*. Bogotá: Interamericana McGraw-Hill. pp. 463-478.

ISHIHATA, K. 1965. *On the development of the fruit and behavior of flower organs in purple passion fruit (Passiflora edulis Sims)*. Memoirs of the Faculty of Agriculture, Kagoshima University 5(2): 1-7.

KADER, A. (1994). *Postharvest technology of horticultural crops*. Oakland: University of California. p. 535.

KANNAN, S.; DEVI, B.; JAYAKAR, B. (2011). Antibacterial activity of *Passiflora ligularis*. *International Journal of Chemical Sciences*. 9(1): pp. 393-396.

KAYS, S. (1997). *Postharvest physiology of perishable plant products*. Exon Press. Athens, GA. p. 532.

KUBO, T.; HOHJO, I.; HIRATSUKA, S. (2001). Sucrose accumulation and its related enzyme activities in the juice sacs of satua mandarin fruit from trees with different crop loads. *Scientia Horticulturae*. 91: pp. 215-225.

LINARES, L.; CASTILLO, B.; LONDOÑO, M. (2013). Caracterización de propiedades mecánicas del fruto de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.). *Agronomía Colombiana*. 31(2): pp. 208-214.

LÜDDERS, P. (2003). Granadilla (*Passiflora edulis* Sims) - a multiple useful tropical fruit. *Erwerbs-Obstbau*. 45(6): pp. 186-191.

MATTA, F.; ARJONA, H.; GARNER, J.; SILVA, J. (2006). *Studies on Postharvest Quality Of Passion Fruit*. Mississippi State University. p. 10.

MELGAREJO, L.M. (2010). *Experimentos en fisiología vegetal*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. p. 277.

MIRANDA, D.; FISCHER, G.; CARRANZA, C.; MAGNITSKIY, S.; CASIERRA, F.; PIEDRAHÍTA, F.; FLÓREZ, L. (2009). *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba*. Bogotá: Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. p. 358.

MITA, S.; KAWAMURA, S.; YAMAWAKI, K.; NAKAMURA, K.; HYODO, H. (1998). Differential Expression of Genes Involved in the Biosynthesis and Perception of Ethylene during Ripening of Passion Fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Plant and Cell Physiology*. 39(11): pp. 1209-1217.

MOGOLLÓN, R. (2009). *Determinación del comportamiento fisiológico en poscosecha de la granadilla (Passiflora ligularis Juss)*. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

NAGY, S.; SHAW, P.; WARDOWSKI, W. (1990). *Fruit of tropical and subtropical origin*. Florida: Florida Science Source, INC. p. 391.

NUNEZ, C. (2008). *Color atlas of postharvest quality of fruits and vegetables*. USA: Blackwell Publishing. p. 448.

OLIVEIRA, G.; CASTILLOS, F.; RENARD, K.; BUREAU, S. (2013). Comparison of NIR and MIR spectroscopic methods for determination of individual sugars, organic acids and carotenoids in passion fruit. *Food Research International* 60: 154-162.

OSTERLOH, A.; EBERT, G.; HELD, W.; SCHULZ, H.; URBAN, E. (1996). *Lagerung von Obst und Sudfruchten*. Stuttgart, Alemania: Verlag Ulmer.

PADRÓN, A.; PADRÓN, G.; MONTES, A.; OROPEZA, R. (2012). Determinación de color en epicarpio de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con sistema de visión computarizada durante su maduración. *Agronomía Costarricense*. 36(1): 97-111.

PAULL, R.; CHEN, C. (2014). *Passion Fruit: Postharvest Quality-Maintenance Guidelines*. College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawai.

PARRA, M.; RIVERA, P.; RODRÍGUEZ, R.; AGUILAR, O. (2013). *Acuerdo de competitividad para la cadena productiva de pasifloras en Colombia*. Asohofrucol, CEPASS, Consejo Nacional de Pasifloras, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Bogotá.

PEREA D., M.; FISCHER, G.; MIRANDA, D. (2010). *Passifloraceae* Passifloras Maracuyá, Granadilla, Curuba, Gulupa. En: PEREA D., M., L.P. MATAALLANA R. Y A. TIRADO P. (eds.). *Bioteconología aplicada al mejoramiento de los cultivos de frutas tropicales*. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. p. 350-390.

PINZÓN, I.; FISCHER, G.; CORREDOR, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). *Agronomía Colombiana*. 25(1): 83-95.

RIVERA, B.; MIRANDA, D.; ÁVILA, L.; NIETO, A. (2002). *Manejo integral del cultivo de granadilla (Passiflora ligularis Juss.)*. Manizales: Editorial Litoas. p. 126.

RODRÍGUEZ, M.; ODERIZ, M.; HERNÁNDEZ, J.; LOZANO, S. 1992. Determination of vitamin C and organic acids in various fruits by HPLC. *Journal of chromatographic Science*. 30(11): pp. 433-437.

RODRÍGUEZ, M. (2009). Industrialización de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss). En: Miranda, D., G. Fischer, C. Carranza, S. Magnitskiy, F. Casierra-Posada, W. Piedrahíta y L.E. Flórez (eds.). *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba*. Bogotá: Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. pp. 283-302.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. (2000). *Fisiología de las plantas*. Ed Thompson-Paraninfo. p. 305.

SALVEIT, M.E Jr. 1993. Internal carbon dioxide and ethylene levels in ripening tomato fruit attached to or detached from the plant. *Physiologia Plantarum*. 89: pp. 204-210.

SARAVANAN, S.; PARIMELAZHAGAN, T. (2014). In vitro antioxidant, antimicrobial and anti-diabetic properties of polyphenols of *Passiflora ligularis* Juss. fruit pulp. *Food Science and Human Wellness* 3: pp. 56-64.

SCHOTSMANS, W.C.; FISCHER, G. (2011). Passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). En: Yahía, E.M. (ed.). *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits*. Vol. 4. Mangosteen to white sapote. Cambridge, U.K.: Woodhead Publishing., pp. 125-142.

SHINOHARA, T.; USUI, M.; HIGA, Y.; IGARASHI, D.; INOUE, T. (2013). Effect of accumulated minimum temperature on sugar and organic acid content in passion fruit. *ISSAAS Journal*. 19 (2): pp. 1-7.

SHIOMI, S.; KUBO, Y.; WAMOCHO, L.; KOAZE, H.; NAKAMURA, R.; INABA, A. (1996). Postharvest ripening and ethylene biosynthesis in purple passion fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 8: pp. 199-207.

SOLARTE, M.E.; MELGAREJO, L.M.; MARTÍNEZ, O.; HERNÁNDEZ, M.S.; FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J.P. (2014). Fruit quality during ripening of Colombian guava (*Psidium guajava* L.) grown at different altitudes. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 12 (2): pp. 669-675.

TÉLLEZ, C.; FISCHER, G.; QUINTERO, O. (1998). Comportamiento fisiológico y fisicoquímico en la poscosecha de curuba de Castilla (*Passiflora mollisima* Bailey) conservada en refrigeración y temperatura ambiente. *Agronomía Colombiana*. 16(1), pp. 13-18.

TOINOVEN, P.; BRUMMELL, D.A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Review. Postharvest, Biology and Technology*. 48: pp. 1-14.

VALENTE, A.; ALBURQUERQUE, T.; SANCHES-SILVA, A.; COSTA, S. (2011). *Ascorbic acid content in exotic fruits: A contribution to produce quality data for food composition databases*. *Food Research International*. 44: pp. 2237-2242.

VALERO, D.; SERRANO, M. (2010). *Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality*. New York. Taylor & Francis Group. p. 217.

VALPUESTA, V.; QUESADA, M.; REID, M. (1996). Senescencia y abscisión. En: Azcon-Bieto, J. y M. Talon (eds.). *Fisiología y bioquímica vegetal*. Bogotá: Interamericana McGraw-Hill. pp. 479-492.

VILLALOBOS-ACUÑA, M.; MITCHAM, E. (2008). Ripening of European pears. *The chilling dilemma*. 49: pp. 187-200.

VILLAMIZAR, F. 1992. La Granadilla, su caracterización física y comportamiento postcosecha. *Ingeniería e Investigación*. 8(3): pp. 14-23.

VILLAVICENCIO, L.; BLANKENSHIP, S.; SANDERS, D.; SWALLOW, W. (2001). Ethylene and carbon dioxide concentrations in attached fruits of pepper cultivars during ripening. *Scientia Horticulturae*. (91): pp. 17-24.

WANG, S.; CHEN, C.; WNAG, C. (2009). The influence of light and maturity on fruit quality and flavonoid content of red raspberries. *Food Chemistry*. 112: pp. 676-684.

WILLS, R.; MCGLASSON, B.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. (2007). *Postharvest - an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals*. Wallingford, UK: CAB International. p. 227.

ZERAIK, L.; PEREIRA, M.; ZUIN, G.; YARIWAKE, J. H. (2010). Passion fruit: A functional food. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*. 20: pp. 459-471.

CAPÍTULO 4

UN MODELO PARA EL MANEJO DE LA NUTRICIÓN EN EL CULTIVO DE LA GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss)

Diego Miranda Lasprilla^{1*},
*Natalia Moreno Buitrago*², *Carlos Carranza Gutiérrez*³

¹ Diego Miranda Lasprilla, dmirandal@unal.edu.co, Departamento de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Ingeniero Agrónomo. Ph.D.

² Natalia Moreno Buitrago, natyreno90@gmail.com, Universidad Nacional de Colombia. Bióloga.

³ Carlos Carranza Gutiérrez, cecarranzag@unal.edu.co, Universidad Nacional de Colombia. Ingeniero Agrónomo. Estudiante de maestría en Ciencias Agrarias.

* Autor para correspondencia.

INTRODUCCIÓN

El departamento del Huila es el principal productor de granadilla en el país con un área cosechada de 2.199 hectáreas y una producción de 21.536 toneladas, que representan el 54,10% de producción del área nacional, según el Informe Regional de Octubre del 2014 del Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural. Los principales municipios productores son La Argentina y Palestina que representan cerca del 50% del área plantada (Secretaría técnica nacional de la cadena de Pasifloras, 2014).

El buen establecimiento de un cultivo de granadilla depende en su totalidad de la calidad del sitio de plantación y del material genético empleado. La calidad del sitio resulta de la combinación de factores climáticos y edáficos, que definen finalmente las zonas de aptitud para el cultivo. Factores climáticos como la temperatura del aire y del suelo, la intensidad lumínica, el fotoperiodo, la precipitación, la humedad relativa, el rocío y el granizo, la sequía, los vientos y las concentraciones de gases en la atmósfera condicionan el comportamiento fisiológico del cultivo (Fischer *et al.*, 2009). Los factores edáficos relacionados con las propiedades físicas (pendiente, profundidad efectiva, perfil del suelo, textura, estructura y drenaje natural), químicas (pH, balance iónico en el suelo), biológicas (microbiota, bioquímica del suelo) y fertilidad de suelos tienen también gran influencia. La combinación de estos factores define las categorías de aptitud para el cultivo en zonas aptas, medianamente aptas, marginales y no aptas (Miranda, 2012).

La adaptación del cultivo de granadilla en una región determinada o su aclimatación a otras regiones depende de la información genética propia del material (cultivo, cultivar, híbrido o variedad) y de sus modificaciones o cambios fisiológicos que permiten su crecimiento y desarrollo en esos ambientes. El desconocimiento de alguno de

los factores mencionados hace que se presenten alteraciones en los procesos de crecimiento y desarrollo del cultivo, lo que se manifiesta en una baja expresión del potencial de rendimiento del cultivo y en su productividad (Miranda, 2012).

La nutrición del cultivo estará pues condicionada por los requerimientos propios de la especie y estos a su vez por los factores climáticos y edáficos mencionados. Se entiende como requerimiento nutricional la cantidad de nutrientes que necesita una planta para poder crecer, desarrollarse y generar un rendimiento biológico y económico durante su ciclo de vida. Las cantidades requeridas de nutrientes dependen del tipo de cultivo y se relacionan con la variedad, el patrón, la edad y el estado fenológico (Miranda, 2012; FAO, 2009).

La absorción de nutrientes por la planta hace referencia a la forma en que los nutrientes son tomados por las raíces de la planta desde la solución del suelo o desde una solución nutritiva, durante un periodo determinado del cultivo, y que son utilizados en los procesos de crecimiento y desarrollo (FAO, 2009). Existen dos formas de absorción de estos nutrientes, denominados: a) Flujo de masas: que consiste en el movimiento del elemento de una fase acuosa (solución del suelo) de una región más húmeda, distante de la raíz, hacia otra más seca (próxima a la superficie del sistema radical). Los nutrientes se mueven con el agua (por la transpiración), tal es el caso del NO_3^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Boro como H_3BO_3 , Mn^{2+} y Mo como ión molibdato MoO_4^{4-} (Domínguez, 1997; Malavolta, 2006).

b) Difusión: El elemento se transporta a distancias cortas, en una fase acuosa estacionaria, yendo de una zona de mayor concentración a una de menor concentración en la superficie de la raíz, a través de gradientes de concentración en la solución del suelo, v.g H_2PO_4^- , Zn^{2+} , K^+ , Fe^{2+} (Domínguez, 1997; Malavolta, 2006).

Los nutrientes que son tomados por la planta pueden provenir de diferentes fuentes, como por ejemplo de las reservas naturales del suelo, y su disponibilidad depende del origen y de la composición del suelo (Malavolta *et al.*, 1989). Pueden provenir también del agua de riego, de los fertilizantes minerales (bien sea, de fuentes simples, compuestas o

de sustancias que se encuentran como complejos), lo mismo que desde la materia orgánica del suelo (Malavolta, 2006). También provienen de la descomposición de residuos vegetales y animales presentes en el suelo, desde residuos de cosechas que son incorporados y descompuestos, o de organismos fijadores de nutrientes (fijación biológica) y de la lluvia (FAO, 2009).

De otra parte, la extracción de nutrientes hace referencia a la cantidad de nutrientes que la planta es capaz de extraer del suelo o de una solución nutritiva o desde un sustrato natural y que lo exporta durante el periodo vegetativo considerado (ciclo de cultivo para una especie anual; por cosecha para cultivos semipermanentes y permanentes).

Se busca en este capítulo discutir sobre algunos parámetros importantes al momento de definir cómo hacer el manejo nutricional de la granadilla.

DESCRIPCIÓN DE ALGUNOS FACTORES CLIMÁTICOS Y EDÁFICOS PARA EL CULTIVO

Climáticos

Luminosidad: influye sobre el desarrollo de la granadilla, principalmente por la superficie del dosel expuesta; interviniendo en procesos como la diferenciación de primordios florales, la floración y la coloración del fruto, por la formación de azúcares y síntesis de pigmentos (Rivera *et al.*, 2002; Fischer *et al.*, 2009).

Altitud: Alturas menores de 1.500 msnm causan poca viabilidad del polen. A alturas inferiores a 1.700 msnm, es mayor la incidencia de los insectos plaga y el tamaño de los frutos disminuye, obteniéndose un porcentaje superior al 50% de frutas de segunda calidad, lo que reduce significativamente la rentabilidad del cultivo. En las plantaciones establecidas a alturas superiores a los 2.500 msnm, si bien se presentan frutos más grandes y el ciclo de producción es más largo, existe una mayor incidencia de enfermedades. A esta altitud también se disminuye la población de insectos polinizadores naturales (Rivera *et al.*, 2002; Miranda, 2012).

Temperatura: En los cultivos de granadilla, las temperaturas mayores a 20°C de una parte ocasionan un mayor estrés hídrico, aumentando considerablemente las necesidades de agua y de fertilizante; y de otra, acortan la duración del ciclo de vida del cultivo. Se reporta que la aparición y severidad de la enfermedad denominada secadera, es mucho más grave en franjas altimétricas inferiores a los 1.600 msnm y temperaturas promedio superiores a 20°C. Temperaturas inferiores a los 18°C ofrecen condiciones para una mayor durabilidad de la planta, pero con crecimiento lento y baja producción. Temperaturas menores a 10-12°C disminuyen la fecundación e incrementan los abortos florales entre 90 y 95%; además, ocasionan cuarteamiento de los frutos nuevos. Los cambios bruscos de temperatura entre el día y la noche ocasionan cuarteamiento de los frutos ya desarrollados. Zonas con temperaturas muy bajas (con presencia de heladas), vientos fuertes o granizo no son recomendables para el cultivo de la granadilla, pues ocasionan daños en frutos y caída de flores (Rivera *et al.*, 2002; Fischer *et al.*, 2009).

Precipitación: La granadilla requiere precipitaciones entre 2200 y 3200 mm distribuidas durante todo el año, con un consumo promedio de 4 mm de agua por planta por día, y una humedad relativa entre 80 y 90% (Castro, 2001; Miranda, 2012). En la granadilla, donde las fases de la floración y fructificación se presentan durante todo el año, la precipitación debe estar bien distribuida en todos los meses. Cuando falta el agua en fases críticas como la brotación de yemas florales, la fecundación, el cuajado y el llenado, los frutos se quedan pequeños o se caen (Rivera *et al.*, 2002; Fischer *et al.*, 2009).

Se recomienda una humedad relativa del 70-80% para favorecer la viabilidad del polen, la receptividad floral y la presencia de agentes polinizadores para que la polinización y la fecundación sean uniformes. Los efectos de una baja humedad relativa (<40%), acompañada de vientos calurosos, se manifiestan en deshidratación de la superficie estigmática, marchitez de flores, muerte de brotes tiernos y disminución de la fotosíntesis por el cierre de estomas (Miranda, 2012).

Edáficos

Las características físicas del suelo influyen directamente en el desarrollo del cultivo, y entre ellas, se manifiestan como limitantes la pendiente, la profundidad efectiva, la estructura y el drenaje natural.

Pendiente: La granadilla puede ser cultivada en suelos planos y también en suelos pendientes (3-7%), pero se recomienda que el cultivo no se encuentre en sitios donde la pendiente sea mayor del 30 %, ya que esto puede dificultar labores propias de este cultivo (por ejemplo la instalación de infraestructura de soporte) (Miranda, 2012).

Profundidad: La profundidad efectiva del suelo es aquella capa de terreno en sentido vertical que puede ser ocupada por las raíces de la planta y utilizada eficientemente por las mismas. El sistema radical de la granadilla se desempeña bien en los primeros 30 cm de profundidad, en texturas livianas y drenajes adecuados, esto para que haya un buen anclaje de la planta y así mismo, para que la planta tenga una mejor distribución de sus raíces (Trebejo *et al.*, 2013; Miranda, 2012).

La textura de los suelos para el cultivo de granadilla debe ser liviana, franca, franca-arenosa o franca-arcillosa, ya que en estas, se presenta un mejor crecimiento y desarrollo del sistema radical. Para esta determinación es recomendable que se hagan calicatas en sitios representativos de los terrenos a cultivar, que permitan conocer las características del perfil y prever posibles inconvenientes en el cultivo, tales como encharcamientos, presencia de horizontes endurecidos, horizontes limitados, niveles freáticos altos y presencia de sales, entre otros (Rivera *et al.*, 2002).

Drenaje: La granadilla no tolera períodos extensos de encharcamiento o inundación por lo cual se requiere que los suelos donde se implemente el cultivo tengan buen drenaje o se cuente con buenos sistemas de drenaje artificial (Trebejo *et al.*, 2013).

pH: Debe estar entre 5,5 a 6,5 esto asegura que haya buena disponibilidad de nutrientes para el desarrollo y producción del cultivo, aunque la especie tolera valores extremos de pH de 4 y 7,5 (Trebejo *et al.*, 2013).

Propiedades como el tipo de arcilla, el contenido de materia orgánica, la retención de humedad y otras características físicas, etc., afectan la

disponibilidad de nutrientes; mientras que el genoma de la planta, la presencia de microorganismos, la temperatura, el agua y el pH del suelo, afectan su absorción (Salas, 2002).

FACTORES PARA EL DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DEL CULTIVO

El suministro de fertilizantes para el cultivo de granadilla mediante cualquiera de las técnicas, requiere de una actividad preliminar importante que es el diagnóstico de las necesidades por el cultivo. La labor de diagnóstico incluye todos los factores que intervienen en el proceso, esto es: el agua de riego, el suelo o sustrato y la planta, factores estos que interactúan con las condiciones climáticas predominantes en la zona de cultivo (Cadahía, 2000).

Diagnóstico de la calidad del agua de riego

Muchas de las aplicaciones de fertilizantes (disoluciones de fertilizantes en agua, fertirriego, hidroponía, etc) se pierden debido al desconocimiento de los parámetros de calidad de las aguas empleadas, tanto para el riego como para la mezcla de fertilizantes.

Para este análisis, también las técnicas de muestreo son fundamentales dependiendo de la fuente a analizar (agua de reservorio, aljibes, nacimientos, aguas corrientes, entre otras), el recipiente utilizado para coleccionar la muestra, lo mismo que su almacenamiento, el reporte de la muestra y la oportunidad de entrega al laboratorio. De igual manera, son importantes las técnicas analíticas, los parámetros de calidad y la interpretación de los resultados, de acuerdo con el cultivo a regar, fertirrigar o abonar (Cadahía, 2000).

Vomocil y Hart (1990) establecieron algunos parámetros de la calidad del agua de riego que son aun válidos y útiles para la interpretación de los resultados analíticos. Siendo importantes las determinaciones de salinidad, sodicidad, acidez, cationes, aniones y algunos elementos potencialmente tóxicos para el cultivo.

Calidad del agua de riego para el cultivo de granadilla

De acuerdo con una recopilación de datos sobre análisis de calidad de aguas para lotes cultivados en granadilla de tres diferentes regiones del país (Huila, Cundinamarca y Antioquia) los autores proponen los siguientes parámetros de calidad del agua (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de calidad del agua para riego en granadilla.

PARÁMETRO	RANGO ADECUADO	UNIDADES	MÉTODO DE ANÁLISIS
pH	5,5 -6,5	mg L ⁻¹ como CaCO ₃	Potenciométrico
OH ⁻	0,00	mg L ⁻¹	Titulación con H ₂ SO ₄ 0,02N
CO ₃ ²⁻	0,00	mg L ⁻¹	Titulación con H ₂ SO ₄ 0,02N
HCO ₃ ⁻	30-50	mg L ⁻¹ (ppm)	Titulación con H ₂ SO ₄ 0,02N
Cl ⁻ (Cloruros)	50-80	mg L ⁻¹ (ppm)	Titulación con AgNO ₃ 0,0141N
SO ₄ ²⁻ (Sulfatos)	30-40	mg L ⁻¹ (ppm)	Método gravimétrico con Cloruro de Bario
PO ₄ ³⁻ (Fosfatos)	5-10	mg L ⁻¹ (ppm)	Valoración colorimétrica con Cloruro estanioso
NO ₃ ⁻ (Nitratos)	0-1	mg L ⁻¹ (ppm)	Valoración colorimétrica del ácido fenoldisulfónico
Ca ²⁺	20-30	mg L ⁻¹ (ppm)	Espectrometría de absorción atómica
K ⁺	10-20	mg L ⁻¹ (ppm)	Espectrometría de absorción atómica
Mg ²⁺	10-20	mg L ⁻¹ (ppm)	Espectrometría de absorción atómica
Na ⁺	<3,0	mg L ⁻¹ (ppm)	Espectrometría de absorción atómica
NH ₄ ⁺ (Amonio)	0-1	mg L ⁻¹ (ppm)	Nessler, valoración colorimétrica
Boro	<0,30	mg L ⁻¹ (ppm)	Manitol, titulación potenciométrica
CE (Conductividad eléctrica)	<1,5	dS/m	Conductímetro, medición a 25°C
RAS (Relación de adsorción de Na)	2 – 5	RAS (meq/L).	Relación entre el Na y el Ca+Mg
CSR (Carbonato de sodio residual)	1,0-1,25	CSR (meq/L).	=(HCO ₃ ⁻) + (CO ₃ ²⁻) - (Ca ²⁺) - (Mg ²⁺)
Dureza	<14	Grados franceses	mg/L Ca.2,5 + mg/L Mg.4,12

Fuente: Cálculos realizados por los autores.

Los datos de la tabla constituyen una guía de apoyo para los técnicos quienes podrán utilizar la información para ajustar soluciones de fertirriego o aplicaciones de fertilizantes en agua haciendo los balances iónicos respectivos de acuerdo con la información obtenida de los análisis del agua de sus fincas.

Diagnóstico de la fertilidad del suelo para granadilla

Esta actividad es realizada en laboratorios especializados pero sus resultados dependen de la técnica de muestreo en campo, de la preparación de la muestra en el laboratorio, de las técnicas analíticas utilizadas, de la presentación del reporte analítico y de la interpretación del análisis por especialistas con conocimiento del cultivo.

El conocimiento de la cantidad total de los nutrientes individuales en los suelos, tiene un valor muy limitado para predecir el suministro de los mismos para el crecimiento vegetal. La disponibilidad de cada nutriente en el suelo, o cantidad efectiva es menor que la total, e incluso está pobremente correlacionada con esta última. En los intentos para caracterizar químicamente los suelos desde el punto de vista del suministro de nutrientes para las plantas, el objetivo es determinar su disponibilidad y no la cantidad total. Para la granadilla en las zonas tradicionales de cultivo en el país (Santa María, La Argentina, entre otras) se colectaron varias muestras de suelo, se determinaron los niveles de nutrientes, y mediante la interpretación y análisis se encontraron los rangos adecuados para el cultivo de la granadilla (Tabla 2).

Tabla 2. Niveles adecuados de nutrientes en el suelo para el cultivo de Granadilla.

CARACTERÍSTICA O ELEMENTO	RANGO ADECUADO
pH	5,5 – 6,5
Textura	F, Far, Fa
Conductividad Eléctrica	< 1,5 dS/m
Materia orgánica	2,5 – 5 %
Fósforo	20-30 ppm
Potasio	0,4 – 0,6 meq/100g

CARACTERÍSTICA O ELEMENTO	RANGO ADECUADO
Calcio	4-6 meq/100g
Magnesio	1,5-2,5 meq/100g
Azufre	10-15 ppm
Sodio	0 - 3 cmol/Kg
Hierro	40 - 50 ppm
Cobre	1 – 1,5 ppm
Manganeso	5 -10 ppm
Zinc	3 -5 ppm
Boro	0,2 – 0,4 ppm

Fuente: Recomendaciones de los autores. Niveles adecuados de nutrientes para suelos donde se cultive granadilla. F: franca, Far: franco arenosa, Fa: franco arcillosa.

Diagnóstico visual de la nutrición de la granadilla en campo

El diagnóstico visual tiene su importancia en el campo por ser una técnica muy rápida y poco dispendiosa. Sin embargo, para la identificación de las deficiencias con base en la sintomatología, es necesario que el técnico tenga experiencia razonable de campo, ya que las deficiencias, los síntomas de enfermedades y los disturbios fisiológicos tienden a confundirse (Malavolta, 2006; Malavolta *et al.*, 1997). La función desempeñada por un nutriente determinado, como constituyente de compuestos orgánicos es independiente de la especie, razón por la cual los síntomas de carencia, en líneas generales, se asemejan en las diferentes especies de plantas (Malavolta *et al.*, 1997; Sanzonowicz y Andrade, 2005).

SÍNTOMAS DE DEFICIENCIAS NUTRICIONALES EN GRANADILLA EN LOTES DE CULTIVO

Como resultado del seguimiento a lotes de cultivo de granadilla en campo, se han encontrado las siguientes deficiencias nutricionales.

Deficiencias de Nitrógeno

En la figura 1, se muestran síntomas típicos de deficiencias de Nitrógeno en plantas adultas de granadilla. Se observa clorosis generalizada de las hojas maduras y menor tamaño de la lámina foliar.



Figura 1. Síntomas de deficiencia de Nitrógeno en plantas de Granadilla. Municipio La Argentina Huila. Fotografía tomada por Katherine Rodríguez-León.

Deficiencias de Potasio

En la figura 2, se muestran síntomas típicos de deficiencias de K en plantas de granadilla (hojas y fruto) cultivadas en campo. Los síntomas en la hoja se presentan en hojas maduras de la planta y se caracterizan por clorosis marginal de la hoja y posterior necrosis de la nervadura central. En los frutos se observa malformación de forma irregular profunda, con una cicatriz de forma irregular con necrosamiento del tejido que impide su crecimiento en el área afectada.



Figura 2. Síntomas de deficiencia de Potasio en plantas de Granadilla. Municipio La Argentina Huila. Fotografías tomadas por Katherine Rodríguez-León.

Deficiencias de Fósforo

En la figura 3, se muestran síntomas típicos de deficiencias de P en plantas de granadilla cultivadas en campo. Se observa caracterizado por una coloración oscura de la hoja con abultamientos en la zona intervenal; posteriormente estas zonas se tornan de un verde intenso y después se tornan moradas. Los bordes de la lámina foliar son ondulados y el tamaño de la lámina es reducido.



Figura 3. Síntomas de deficiencia de Fósforo en plantas de Granadilla. Municipio La Argentina, Huila. Fotografía tomada por Katherine Rodríguez-León.

Deficiencias de Calcio

En la figura 4, se muestran hojas y frutos de granadilla con síntomas típicos de deficiencias de Ca en plantas cultivadas en campo. Se observa deformación de los bordes de la lámina foliar y necrosis de las hojas nuevas que son de menor tamaño. Los zarcillos son más cortos y delgados que en plantas normales. En los frutos se observan cuarteamientos de la corteza poco profundos muy posiblemente debidos a rompimientos de las paredes celulares debido a la deficiencia.



Figura 4. Síntomas de deficiencia de Calcio en plantas de Granadilla. Municipio La Argentina, Huila. Fotografías tomadas por Katherine Rodríguez-León.

Deficiencias de Magnesio

En la figura 5, se muestran síntomas típicos de deficiencias de Mg en plantas de granadilla cultivadas en campo. Se observa clorosis intervenal, con una franja estrecha de tejido verde rodeando las nervaduras ocasionando amarillamiento posterior de la lámina foliar.



Figura 5. Síntomas de deficiencia de Magnesio en plantas de Granadilla. Municipio La Argentina, Huila. Fotografías tomadas por Katherine Rodríguez-León.

Deficiencias de Azufre

En la figura 6 se muestra deficiencia severa de Azufre en plantas cultivadas en campo. Debido a la movilidad intermedia del azufre en la planta se observan síntomas de la deficiencia en hojas nuevas, la coloración de las hojas es amarillo claro y con los bordes de las hojas cerrados.

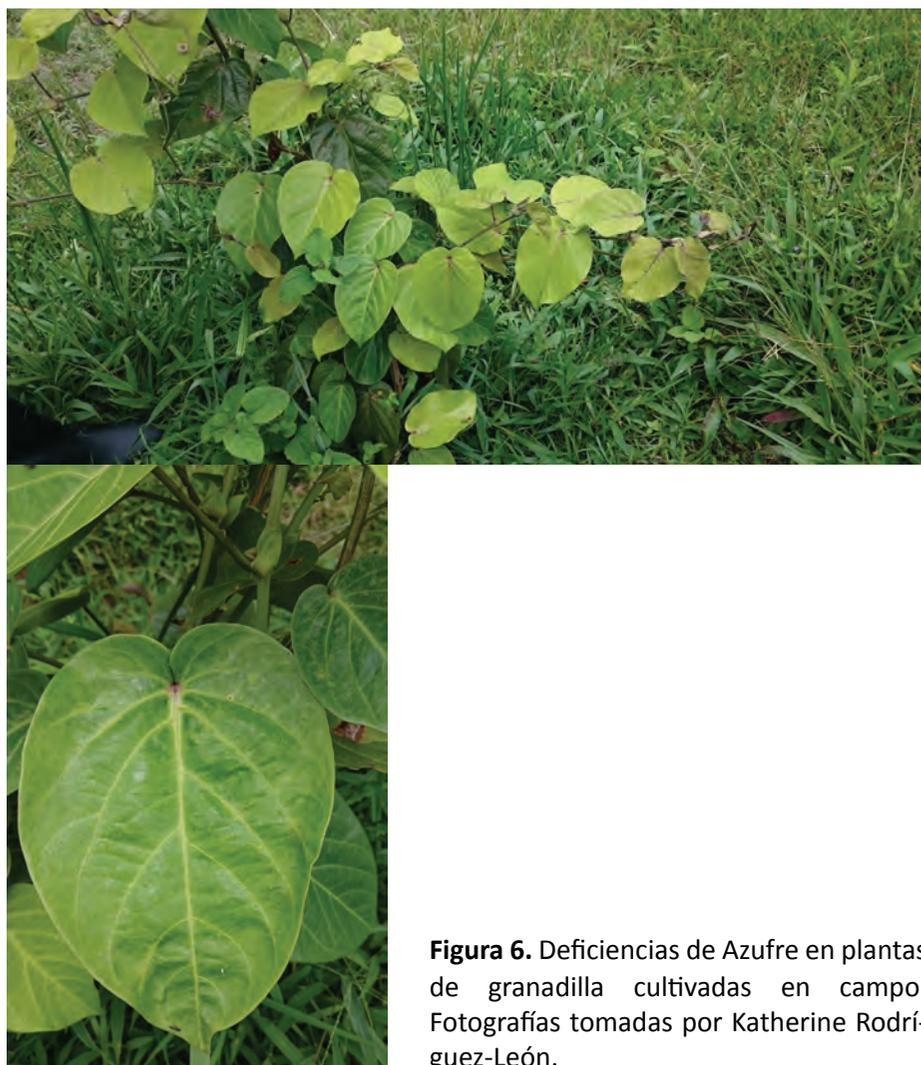


Figura 6. Deficiencias de Azufre en plantas de granadilla cultivadas en campo. Fotografías tomadas por Katherine Rodríguez-León.

Deficiencias de Boro

En la figura 7 se muestran frutos de granadilla con síntomas típicos de deficiencia de B. Los síntomas iniciales aparecen en las hojas nuevas de la planta que se tornan de aspecto coriáceo y de menor tamaño que una hoja normal, presentando además ondulaciones en los bordes y con un acortamiento de los entrenudos en la zona terminal de la rama. En los frutos se observan abultamientos y engrosamientos en la corteza y menor tamaño de la cavidad seminal.



Figura 7. Síntomas de deficiencia de Boro en hojas nuevas y frutos de Granadilla. Municipio La Argentina Huila. Fotografías tomadas por Katherine Rodríguez-León.

Deficiencia de Manganeso

Se manifiesta por clorosis intervenal desde la nervadura central hacia los bordes de la hoja. En estados avanzados de la deficiencia se presenta necrosamiento de las manchas que inicialmente aparecían cloróticas (Figura 8).



Figura 8. Síntomas de deficiencia de Manganeso en hojas de Granadilla. Municipio La Argentina, Huila. Fotografías tomadas por Katherine Rodríguez-León.

Síntomas de deficiencia de Zinc

Se observa acortamiento en los entrenudos de las ramas, reducción del crecimiento de la lámina foliar que toma una forma ahusada (Figura 9).



Figura 9. Síntomas de deficiencia de Zinc en hojas de granadilla, se observa reducción en la lámina foliar y las hojas toman forma ahusada. Fotografía tomada por Katherine Rodríguez-León.

CURVAS DE ABSORCIÓN DE NUTRIENTES POR EL CULTIVO DE GRANADILLA

Las necesidades y niveles de absorción de nutrientes por el cultivo de granadilla son parcialmente conocidos, no hay información disponible acerca de las etapas del desarrollo del cultivo y su relación con la nutrición, y la fertilización realizada por los agricultores depende de otros criterios.

Una curva de absorción es la representación gráfica de la extracción de un nutriente y muestra las cantidades de este elemento que son extraídas por la planta durante su ciclo de vida. La extracción de nutrientes depende del genotipo, la edad y su estado fenológico; así como de factores externos relacionados con el ambiente donde se desarrolla la planta como la temperatura, la humedad relativa, el brillo solar, la temperatura del suelo, entre otras (Sancho, 2007). Para la granadilla se estableció un trabajo en condiciones de invernadero plástico con un cultivar proveniente del departamento del Huila, sembrado en macetas de 25 L de capacidad, utilizando arena lavada de río como sustrato, creciendo en una solución nutritiva modificada (Tabla 3). Se suministró solución Hoagland modificada (Hoagland y Arnon, 1950; IPNI, 2009) y a cada planta se le aplicó 100 m L⁻¹ de la solución 4 veces por semana. El objetivo de este trabajo fue determinar las curvas de absorción de nutrientes en plantas de granadilla, en estado totalmente vegetativo, durante siete meses después del trasplante (Moreno *et al.*, 2014).

Tabla 3. Solución Hoagland modificada, empleada para determinación de curva de absorción de nutrientes por plantas de granadilla en estado vegetativo.

ELEMENTO	g*L ⁻¹	ppm
N- NO ₃	40	201
N- NH ₄	5	24
N- Total	45	225
P ₂ O ₅	24	
P Total	10	52
K ₂ O	54	

ELEMENTO	g*L ⁻¹	ppm
K Total	45	225
CaO	38	
Ca Total	27	134
MgO	16	
Mg Total	9	47
S	7	35
Fe	0,64	3,2
Mn	0,28	1,4
Cu	0,03	0,15
Zn	0,16	0,8
B	0,11	0,53
Mo	0,01	0,07

Fuente: Moreno *et al.* (2014).

Análisis nutricional de las plantas de granadilla

Las muestras secas y molidas se enviaron al laboratorio de Aguas y Suelos de la Universidad Nacional de Colombia, para la determinación del contenido de los siguientes nutrientes: N, P, K, Ca, S, Mg, Fe, B, Mn, Zn y Cu.

Mensualmente, se determinó la cantidad absorbida de cada nutriente por el cultivo. Los resultados del análisis para el total de muestreos se modelaron mediante el programa estadístico Statistix 10 (Analytical Software), obteniendo modelos de ecuación $y = ax^3 \pm bx^2 \pm cx \pm d$, donde: y es la variable modelada, x representa el tiempo (medido en días después de trasplante – ddt), y a, b, c y d son los parámetros del modelo obtenidos en el análisis. Posteriormente, se elaboró la curva de absorción para cada nutriente durante el estado vegetativo de las plantas.

Comportamiento de la absorción de nutrientes mayores en granadilla

Se determinaron los modelos estadísticos para: N, P, K, Ca, S y Mg. Los mejores modelos se seleccionaron por un coeficiente de determina-

ción $R^2 > 0,7$ (Tabla 4 y Figura 10). En la tabla 4 se presentan los modelos obtenidos para los macronutrientes determinados en plantas de granadilla cultivadas en matera, con sustrato arena y bajo condiciones de invernadero plástico. Con excepción del Ca los ajustes de los modelos fueron superiores al 80%. Para el N el modelo fue un polinomio de cuarto orden; para el P se obtuvo un modelo cuadrático, lo mismo para el S. Para los nutrientes Ca, Mg y K se obtuvo polinomio de quinto orden (Tabla 4).

Tabla 4. Modelos para la absorción de macronutrientes por plantas de granadilla bajo condiciones de invernadero plástico (2013-2014).

NUTRIENTE	MODELO	R ²
N	$y = -4E-08x^4 + 2E-05x^3 - 0,002x^2 + 0,0734x + 2,9475$	0,8956
P	$y = 3E-05x^2 - 0,0076x + 0,8183$	0,9048
K	$y = 2E-10x^5 - 1E-07x^4 + 3E-05x^3 - 0,0022x^2 + 0,0507x + 3,3212$	0,8167
Ca	$y = -5E-10x^5 + 2E-07x^4 - 3E-05x^3 + 0,0021x^2 - 0,0336x + 0,5732$	0,716
S	$y = 2E-06x^2 - 0,0006x + 0,0565$	0,9668
Mg	$y = -4E-11x^5 + 2E-08x^4 - 2E-06x^3 + 0,0001x^2 - 0,0019x + 0,2164$	0,9554

Fuente: Moreno *et al.* (2014).

En la figura 10 se muestran las curvas de comportamiento de cada macronutriente durante el tiempo de evaluación. Con respecto al análisis foliar, los niveles de nutrientes pueden variar dependiendo de la edad de la hoja de la muestra; sin embargo, el cambio en los contenidos de nutrientes depende del nutriente y de la especie en estudio (Maschner *et al.*, 1986). El macronutriente más absorbido por las plantas de granadilla durante el estado vegetativo fue el K, seguido en orden decreciente por los nutrientes N, Ca, P, Mg y S.

El porcentaje de nitrógeno en el tejido foliar (Figura 10a), superó el 2,5% durante todo el período de evaluación, con un máximo de 3,7% a los 30 días después del trasplante (ddt). Este rango de absorción es similar al obtenido en maracuyá amarillo (*P. edulis* f. *flavicarpa*) que mostró porcentajes entre 3,05 y 4,97% cuando se cultivó en solución nutritiva (Aguirre, 1977). Santos *et al.* (2011), para maracuyá amarillo, reportaron valores entre 4,5 y 5,5 % de N; mientras que Recalde y

López (2008) reportaron variaciones en las concentraciones foliares de N entre 5,6 y 6,4% para maracuyá amarillo de 1 año de edad, y Malavolta *et al.* (1997) reportaron rangos entre 3,1 y 4,9%. Los rangos son similares a los obtenidos por De Sousa *et al.* (2013), quienes evaluaron la composición mineral de tres especies de passifloras cultivadas en un sustrato (mezcla de suelo, arena y estiércol bovino en proporción (3:1:1) en su respuesta a diferentes fuentes nitrogenadas, obteniendo que para plantas de *Passiflora ligularis* el N se presentó en un rango entre 3,21 y 4,1%; mientras que para *P. edulis* flavicarpa (maracuyá amarillo) estuvo entre 4,5 y 5,5%, y para maracuyá dulce *P. alata* estuvo entre 3,1-4,4%. Los valores obtenidos en este trabajo para el tejido foliar de granadilla no difieren de los obtenidos para otras especies de passifloras cultivadas en solución nutritiva o en sustrato.

Desde el primer muestreo el fósforo alcanzó una concentración máxima de 0,8%, que solo desciende hasta el 0,3% a los 120 ddt (Figura 10b), estos valores son muy superiores al porcentaje reportado como adecuado que es de 0,2%. Para maracuyá morado, *P. edulis* f. *purpurea*, se obtuvo un rango de concentración entre 0,17 y 0,35% en plantas cultivadas en solución nutritiva, y para maracuyá amarillo se obtuvo un rango entre 0,17-0,39% (Aguirre, 1977). Otros autores como Blondeau y Bertini (1978) encontraron valores para maracuyá amarillo de 0,07% en plantas evaluadas con la técnica del elemento faltante; Malavolta *et al.* (1997) en maracuyá amarillo encontraron rangos entre 0,43 y 0,47 % y de 0,45-0,47% para maracuyá morado; Carvalho *et al.* (2002) determinaron valores para maracuyá amarillo entre 0,23 y 0,38%; Freitas (2006) encontró valores promedio de 0,30% en plantas de maracuyá dulce *P. alata* de 60 días de edad y 0,25% en plantas de 90 días de edad cultivadas en solución nutritiva; finalmente, De Souza *et al.* (2013) en *P. ligularis* cultivada en una mezcla de sustratos encontraron un rango de concentración foliar de fósforo entre 0,22 y 0,23% comparados con 0,23% para *P. alata* y 0,26% para *P. edulis*.

El potasio se encontró en concentraciones que variaron entre 2,5 y 4,1%, obtenidos a los 90 y 180 ddt, respectivamente (Figura 10c). Durante todo el ciclo de evaluación presentó altas concentraciones. Este rango de valores de K se ha determinado en otras especies de

passifloras encontrando concentraciones foliares de (2,0-3,3% de K) en tejido foliar de maracuyá amarillo, y de 2,0 a 3,4% en hojas de maracuyá morado (Moraes *et al.*, 2011). Para otras especies de passifloras, Freitas (2006) encontró una concentración foliar promedio de K de 2,92% y 2,8% en plantas de maracuyá dulce *P. alata* de 60 y 90 días de edad. De Souza *et al.* (2013) comparando la respuesta de *P. edulis* flavicarpa, *P. alata* y *P. ligularis* cultivadas en sustrato determinaron concentraciones foliares de 3,28, 22,32 y 2,57% de K para las especies evaluadas, respectivamente.

Para el calcio se obtuvo un porcentaje máximo de 1,21% obtenido a los 60 ddt; mientras que el porcentaje adecuado para cultivos en general es de solo el 0,5% (Maschner, 1995), valor que se acerca solo en el primer muestreo (Figura 10d). Aguirre (1977) determinó concentraciones de 1,49% y 1,22% de Ca en hojas de ramas maduras y en hojas de ramas nuevas, respectivamente. Blondeau y Bertini (1978) en maracuyá amarillo mediante la técnica del elemento faltante determinaron concentraciones de Ca foliar de 1,39%. Freitas (2006) en plantas de *P. alata* de 90 días encontró concentraciones de 0,79%; mientras que De Souza *et al.* (2013) encontraron rangos de concentraciones de 1,13 y 2,1% en *P. edulis*, 0,91-1,11% en *P. alata* y 0,9-1,24% de Ca en *P. ligularis*.

Solo el Mg se encuentra cercano a la concentración adecuada reportada para tejidos vegetales (0,2%) (Maschner, 1995), con un porcentaje máximo de 0,21 y un mínimo de 0,11 alcanzado a los 120 ddt (Figura 10e); porcentajes similares a los reportados por Aguirre (1977) para maracuyá amarillo (0,12 y 0,26%) y para maracuyá morado (0,16 y 0,27%). Malavolta *et al.*, (1997) obtuvieron concentraciones iguales de Mg en tejido foliar de maracuyá amarillo y morado con un rango entre 0,43 y 0,46%. Freitas (2006) para *P. alata*, reportó valores de concentración foliar de Mg de 0,30% y 0,32% para plantas de 60 y 90 días de edad, respectivamente, creciendo en soluciones nutritivas. Recalde y López (2008) para plantas de maracuyá amarillo de un año de edad reportaron concentraciones foliares de Mg en un rango entre 0,37 y 0,39%. De Souza *et al.* (2013), para *P. ligularis* cultivada en sustrato reportaron concentraciones de Mg foliar con valores entre 0,52 y 0,80%.

A pesar de que solo existen datos de la concentración del azufre en las plantas a partir de los 60 ddt, se observó que los valores siempre fueron superiores a los 1000 mg/kg (1000 ppm) que equivalen al 0,1% de S que se reportaron como adecuados, el valor máximo es de 2284 (0,22%) a los 60 ddt y el mínimo de 1934 (0,19%) a los 180 ddt (Figura 10f), valores cercanos a los reportados para maracuyá morado que variaron entre 0,17 y 0,47% y para maracuyá amarillo entre 0,36 y 0,45% (Malavolta *et al.*, 1997; Aguirre, 1977). Freitas en 2006, reportó concentraciones de 0,49% para maracuyá dulce *P. alata* y Recalde y López (2008) concentraciones de S entre 0,10 y 0,43% para maracuyá amarillo de un año de edad. De Souza *et al.* (2013), para *P. ligularis* encontraron concentraciones de S foliar de 0,32% comparado con 0,53% para *P. alata* y 0,49% para *P. edulis*.

El potasio está relacionado con procesos de activación enzimática, osmorregulación, mantenimiento de la presión de turgor, regulación estomática, entre otros (Dibb y Thompson, 1985). La presencia de niveles adecuados de K son esenciales para el uso eficiente del nitrógeno, ya que se ha reportado que el potasio puede estar involucrado en la toma de NO_3^- , que es la forma de N más predominante en el suelo (Blevins, 1985).

En las figuras 10a y 10c se puede observar que el nitrógeno y el potasio presentaron tendencias de comportamiento similares, ya que el K puede actuar como co-transportador del NO_3^- a través del xilema y participa en la translocación de fotoasimilados (Fageria, 2001). Los resultados obtenidos concuerdan con los obtenidos por Palomino y Restrepo (1991) con un porcentaje de K de 2,9% en el tejido foliar.

En las figuras 10b, 10c, 10d y 10e se ilustra cómo al reducir el porcentaje de K en la planta, entre los 30 y 120 ddt, se incrementa la toma de Mg y Ca y de forma menos evidente de P, esto sucede por el efecto antagonista del K en la absorción de P, Ca y Mg. El incremento en la absorción de Ca y P cuando se reducen las concentraciones de K se debe a que la alta movilidad de este nutriente impide la absorción de otros iones; mientras que la relación con los niveles de Mg es el resultado de la competencia por la unión a compuestos metabólicos (Fageria, 2001).

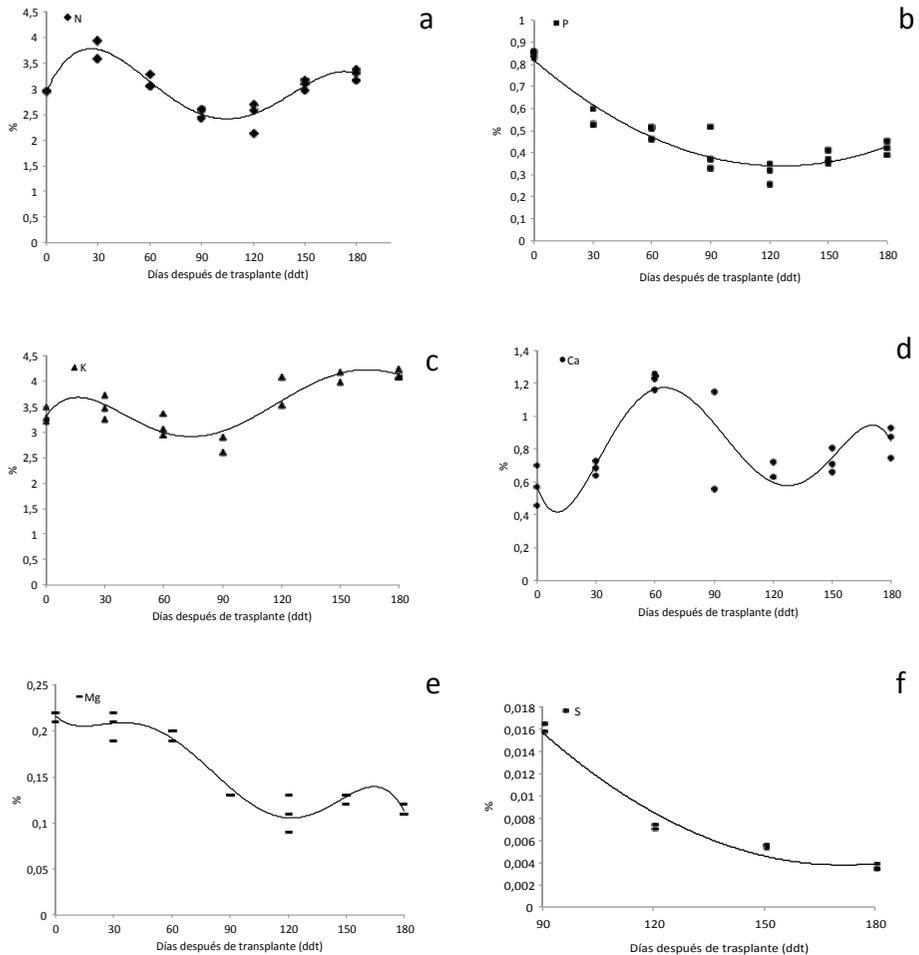


Figura 10. Comportamiento de la absorción de nutrientes mayores (N, P, K, Ca, Mg, S) por las plantas de granadilla *P. ligularis* en condiciones de invernadero.

El nitrógeno es fundamental en el metabolismo vegetal, cuando se incrementan los niveles de N, se intensifica el crecimiento y consecuentemente se incrementa la demanda de otros nutrientes (Wilkinson *et al.*, 1999). Uno de los nutrientes relacionados con la asimilación de nitrógeno es el azufre (S); la aplicación de nitrógeno tiene fuerte influencia reguladora sobre la asimilación de S, aproximadamente el 80% del N y el S incorporados en compuestos orgánicos de la plantas lo hacen en las proteínas cuando ambos elementos se encuentran en proporciones adecuadas (Rendig *et al.*, 1976; Reuveny *et al.*, 1980).

Estudios realizados reportan que para la síntesis de proteína algunos cultivos requieren una parte de azufre por cada 15 partes de nitrógeno por peso seco. Cuando el azufre se encuentra deficiente, la relación N-Total a S- Total excede la relación de 15 a 1, la síntesis de proteína disminuye, y se produce acumulación de N no proteico (Hinojosa, 1973). Desafortunadamente no se pudo comparar totalmente las dinámicas de absorción de nitrógeno y azufre en la presente investigación, pero se pudo observar que entre los 90 y los 180 días muestran tendencias de comportamiento diferenciales (Figuras 10a y 10f).

De acuerdo con los análisis realizados los autores proponen lo rangos de nutrientes absorbidos por la granadilla en los primeros 6 meses de cultivo (correspondiente al estado totalmente vegetativo (Tabla 5).

Tabla 5. Rangos adecuados de nutrientes absorbidos por la granadilla en estado de crecimiento vegetativo.

NUTRIENTE	RANGO DE ABSORCIÓN ADECUADO
N	2,0-5,0 %
P	0,3-0,8 %
K	2,0-5,0 %
Ca	1,0-5,0 %
Mg	0,15-0,35 %
S	0,1-0,5 %

Fuente: Creación propia de los autores.

Comportamiento de la absorción de elementos menores en granadilla

Se determinaron los modelos estadísticos para los micronutrientes Fe, B, Mn, Zn y Cu. Los mejores modelos se seleccionaron por un coeficiente de determinación ($R^2 > 0,7$) (Tabla 6 y Figura 11). En la tabla 6 se presentan los modelos obtenidos para los micronutrientes determinados en plantas de granadilla cultivadas en matera, con sustrato arena y bajo condiciones de invernadero plástico. Los ajustes de los modelos fueron superiores al 70%. Para el Fe y el Zn se obtuvieron modelos polinómicos de cuarto orden, para el B, Mn y Cu se obtuvo un modelo representado por un polinomio de quinto orden (Tabla 6 y Figura 11).

Tabla 6. Modelos para la absorción de nutrientes menores por plantas de granadilla cultivadas en condiciones de invernadero 2013-2014.

NUTRIENTE	MODELO	R ²
Fe	$y = 4E-07x^4 - 8E-05x^3 - 0,0079x^2 + 2,3649x + 141,18$	0,7595
B	$y = -2E-08x^5 + 7E-06x^4 - 0,0002x^3 - 0,0716x^2 + 4,7572x + 52,652$	0,8308
Mn	$y = -2E-08x^5 + 1E-05x^4 - 0,0018x^3 + 0,149x^2 - 5,0114x + 150,63$	0,7871
Zn	$y = -1E-06x^4 + 0,0006x^3 - 0,0818x^2 + 3,7367x + 94,064$	0,7
Cu	$y = -7E-09x^5 + 5E-06x^4 - 0,0012x^3 + 0,1411x^2 - 8,6825x + 239,75$	0,8735

Fuente: Moreno *et al.* (2014).

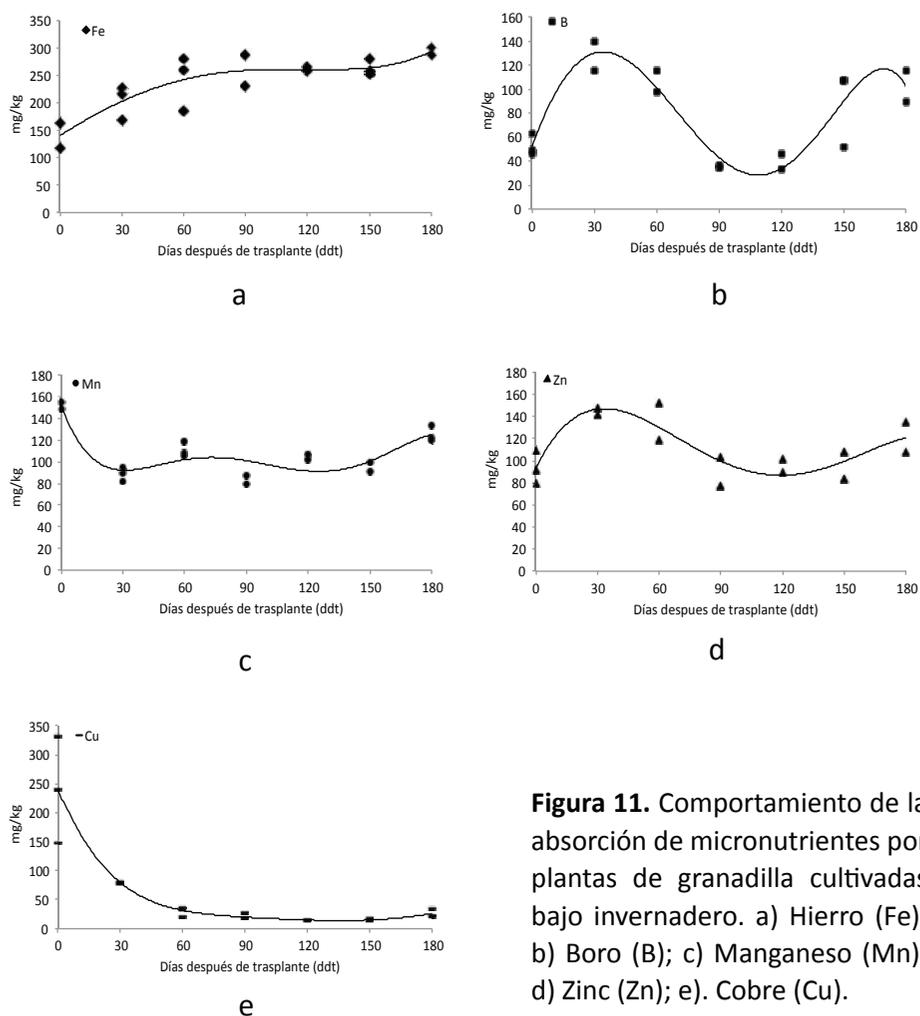


Figura 11. Comportamiento de la absorción de micronutrientes por plantas de granadilla cultivadas bajo invernadero. a) Hierro (Fe); b) Boro (B); c) Manganeseo (Mn); d) Zinc (Zn); e). Cobre (Cu).

Las tendencias de absorción de cada micronutriente evaluadas durante el estado vegetativo (7 meses del ciclo de crecimiento) se presentan en la figura 11. El micronutriente más absorbido por las plantas de granadilla fue el Fe, seguido en orden decreciente por B, Zn, Mg y Cu. La absorción de estos nutrientes es altamente dependiente del pH de la solución nutritiva.

A pesar de que las interacciones entre algunos de los macro y micronutrientes evaluados se comportaron de acuerdo con lo reportado por la literatura, se observó que todos los micronutrientes evaluados se encuentran en exceso respecto a las concentraciones adecuadas reportadas por Maschner (1995). En tejido vegetal se ha reportado que la concentración de Fe debe ser de 100 mg/kg (100 ppm) (Maschner, 1995); sin embargo, para granadilla la concentración inicial superó la concentración de 150 ppm, valor inicial muy seguramente relacionado con el Fe existente en las semillas, y en el último muestreo alcanzó los 294 mg/kg (294 ppm) (Figura 11a). Blondeau y Bertini (1978) reportaron para *P. edulis* f. *flavicarpa* valores de 647 y 595 ppm de Fe para hojas provenientes de ramas maduras y de ramas nuevas, respectivamente. En maracuyá amarillo y morado los valores reportados en la literatura fueron 151 y 164 ppm de Fe en tejido foliar, respectivamente (Malavolta *et al.* 1989), siendo en estas especies el micronutriente de mayor absorción. Es sabido de la importancia que tiene este micronutriente pues forma parte de numerosos sistemas enzimáticos (Marchner *et al.*, 1986; Mengel y Kirkby, 2001).

El boro tuvo una concentración de 127 mg/kg (127 ppm) a los 30 días después de transplante (ddt) (Figura 11b), a pesar de que la concentración adecuada reportada para otras especies de passifloras (maracuyá amarillo y morado fueron de 43 y 40 ppm, respectivamente) (Aguirre, 1977). Mientras que Blondeau y Bertini (1978) determinaron concentraciones de 124 y 112 ppm de B para maracuyá amarillo, y Freitas (2006) reportó valores de concentración de B de 43,4 ppm para *P. alata* de 60 días de edad y de 52 ppm para plantas de 90 días de edad.

El manganeso triplicó la concentración adecuada de 50 mg/kg en el muestreo inicial con 151,5 mg/kg (151 ppm), y a los 180 ddt alcanzó los 188 mg/kg (188 ppm) (Figura 11c), estos valores se consideran bajos

en comparación con los reportados para maracuyá amarillo y morado que oscilaron entre 215 y 667 ppm, respectivamente (Malavolta *et al.*, 1989).

El zinc también se encontró en exceso respecto a lo reportado en la literatura (Maschner, 1995), pues al finalizar los muestreos la concentración fue de 121 mg/kg (121 ppm) (Figura 11d); mientras que el rango determinado para otras passifloras presentó variaciones entre 55 y 57 ppm para maracuyá amarillo y para el morado, respectivamente (Blondeau y Bertini, 1978).

Finalmente, el Cu cuya concentración reportada como adecuada es solo de 6 mg/kg, presentó una concentración inicial excesiva de 240 ppm (Figura 11e) y después de los 30 días se mantuvo en un rango entre 10 y 20 mg/kg (ppm), un poco superiores a los determinados para el maracuyá amarillo (15 ppm) y para el maracuyá morado 8 ppm (Blondeau y Bertini, 1978).

Al comparar las figuras 11a y 11d se observó que el hierro y el Zn se comportaron de forma similar, aunque el zinc decrece mucho más que el hierro entre los 90 y 150 días. En la figura 11e el Cu tiende a descender durante todo el período de evaluación. Ali *et al.* (1998) reportaron que la aplicación de hierro incrementa la concentración de N, P, K, Zn, Cu y Mg; sin embargo, tiene un efecto antagonista en la concentración de Ca y Mn.

En las figuras 11a y 11c se identifica el efecto antagonista entre el hierro y el manganeso, los valores iniciales de Mn decrecen rápidamente desde los 30 días y se mantienen bajos en relación con el contenido de hierro que crece de forma casi constante hasta los 180 días.

Singaram y Prabha (1997) han reportado que existe una interacción directa entre el Ca y el B, este último elemento actúa como co-adyuvante en la translocación del calcio absorbido, relación que se puede observar en las tendencias de las figuras 11b y 10d.

De acuerdo con los análisis realizados se proponen los siguientes rangos de micronutrientes que pueden ser absorbidos por la granadilla en los primeros 7 meses de cultivo (correspondiente al estado totalmente vegetativo), en cultivos bajo cubierta y en sustrato (Tabla 7).

Tabla 7. Rangos adecuados de micro-nutrientes absorbidos por la granadilla en estado de crecimiento vegetativo.

NUTRIENTE	RANGO DE ABSORCIÓN ADECUADO
Fe	150 - 300 ppm
B	20 – 100 ppm
Mn	50 - 150 ppm
Zn	20 - 200 ppm
Cu	30 - 100 ppm

Fuente: Creación propia de los autores.

Se determinó que para el manejo de la nutrición en el cultivo de granadilla se requiere realizar análisis de la calidad del agua de riego disponible en las fincas, el diagnóstico de la fertilidad del suelo del cultivo, el diagnóstico visual de las deficiencias nutricionales y la absorción de nutrientes por el cultivo en sus diferentes estados fenológicos. Se incluyó un set de fotografías sobre las deficiencias nutricionales más frecuentes del cultivo establecido en condiciones de campo. Se determinaron los rangos de absorción de nutrientes (macro y micronutrientes) para plantas cultivadas en maceta, con sustrato inerte (arena) y bajo condiciones de cubierta plástica. Se establecieron los rangos de absorción para los elementos mayores y menores para el cultivo de granadilla en su estado totalmente vegetativo.

REFERENCIAS

AGUIRRE, A.C.P. (1977). *Nutricao mineral do maracuja amarelo (Passiflora edulis F. flavicarpa. Deg)*. Tesis de maestría. E. S. A. Luiz de Queiros. Universidade Sao Paulo. Piracicaba. p. 106.

ALI, G.; IQBAL, M.; SRISVASTAVA, P.S. (1998). Interactive effect of Cd and Zn on the morphogenic potential of *Bacopa monniera* (L.) Wettst. *Plant Tissue Culture and Biotechnology*. 4: pp. 159-164.

BLEVINS, D.G. (1985). Role of Potassium in Protein Metabolism in Plants. En *Potassium in Agriculture*; Munson, R:D., Ed,; American Society of Agronomy: Madison, WI; pp. 131-162.

BLONDEAU, J.P.; BERTINI, Y. (1978). Carencias minéras chez la grenadille (*Passiflora edulis* Sims. var. *flavicarpa*). Carencias totales en N, P, K, Ca y Mg. París. *Croissance et symptomes. Fruits*. 33 (6): pp. 433-443.

CADAHÍA, C. (2000). *Fertirrigación Cultivos hortícolas y Ornamentales*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. Segunda edición. p. 475.

CARVALHO, A.J.C.; MONNERAT, P.H.; MARTINS, D.P.; BERNARDO, S.; SILVA, J.A. (2002). Teores foliares de nutrientes no maracujazeiro amarelo em função da adubação nitrogenada, irrigação e épocas de amostragem. *Scientia Agricola*. 59: pp. 121-127.

CASTRO, L. (2001). *Guía básica para el establecimiento y mantenimiento del cultivo de la granadilla*. Asociación Hortofrutícola de Colombia (Asohofrucol), Bogotá. p. 120.

DE SOUZA, L.B.; HEITOR, L.C.; DOS SANTOS, P.C.; ALTOE, F.J.A.; MENDONCA DE FREITAS, M.S.; FREITAS, S.; CORDEIRO DE CARVALHO, A.J. (2013). Crescimento, composicao mineral e fnois totais de espécies de *Passiflora* em funcao de fonts nitrogenadas. *Bragantia*. 72 (3): pp. 247-254.

DIBB, D.W.; THOMPSON, W.R. JR. (1985). Interactions of potassium with other Nutrients. En *Potassium in Agriculture*; Munson, R.D., Eds; ASA-CSSA-SSSA: Madison, WI; pp. 515-533.

DOMÍNGUEZ, V.A. (1997). *Tratado de Fertilización*. 3ra. Edición. Mundi Prensa. Madrid. p. 613.

FAGERIA, V. (2001). Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition*. 24 (8): pp. 1269-1290.

FAO. (2009). *Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. Dirección de fomento de tierras y aguas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, (1999). p. 20.

FISCHER, G.; CASIERRA-POSADA, F.; PIEDRAHÍTA, W. (2009). Ecofisiología de las especies pasifloráceas cultivadas en Colombia. En: Miranda D, Fischer G, Carranza C, Magnitskiy S, Casierra-Posada F, Piedrahíta W, Flórez LE, editores. (2009). *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba*. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá. p. 45-67.

FREITAS MENDONCA, M.S. (2006). *Flavonóides e nutrientes minerais em folhas de maracujazeiro amarelo e deficiência de macronutrientes e boro em maracujazeiro doce*. p. 106.

HINOJOSA, V.E. 1973. *Influencia del nitrógeno y el Azufre en el rendimiento del frijol Phaseolus vulgaris*. Tesis. Magister Scientiae. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. CATIE. Costa Rica.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. 1950. The waterculture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station. *Circular 347*. The College of Agriculture, University of California. Berkeley, California. p. 32.

IPNI (International Plant Nutrition Institute). (2009). Latin America Southern Cone. *Archivo Agronómico N° 3: Requerimientos nutricionales de los cultivos*. Disponible de internet: <http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/>

MALAVOLTA, E. (2006). *Manual de nutrición mineral de plantas*. Editora agronómica CERES Ltda. Sao Paulo.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; de OLIVEIRA, S.A. (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS. p. 319.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; de OLIVEIRA, S.A. (1989). *Avaliação do Estado Nutricional das Plantas. Princípios y Aplicacões*. Potafos, SP. p. (2001).

MASCHNER, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. 2 ed. Academic Press. San Diego. p. 889.

MASCHNER, H.; RÖMHELD, V.; KISSEL, M. (1986). Different strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron. *Journal of Plant Nutrition*. 9: pp- 695-713.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. (2001). *Principles of plant nutrition*. 5th edn. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. 849.

MIRANDA, D. (2012). Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss). En *Manual para el cultivo de frutales en el trópico*. Editorial PRODUMEDIOS. pp. 550-578.

MORAES, J.C.B.; SALCEDO, I.H.; SOUSA, V.F. (2011). Doses de potássio por gotejamento no estado nutricional do maracujazeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 15: pp. 763-770.

MORENO, N.; MIRANDA, D.; CARRRANZA, C. (2014). Parámetros de crecimiento y requerimientos nutricionales de Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) bajo invernadero. En prensa. *Agronomía Colombiana*.

PALOMINO, L.M.; RESTREPO, H.F. (1991). *Síntomas de deficiencias nutricionales en el cultivo de la Granadilla Passiflora ligularis* Juss. Tesis. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. p. 80.

RECALDE, Q.M.; LÓPEZ, X. (2008). *Determinación de curvas de absorción de macroelementos durante el primer año de desarrollo del cultivo del maracuyá Passiflora edulis en Santo Domingo de los Colorados*. Informe técnico Universidad Tecnológica Equinoccial.

RENDIG, V.V.; OPUTA, C.; Mc COMB, E.A. 1976. Effects of sulfur deficiency on non-protein nitrogen, soluble sugars, and N/S ratios in young corn (*Zea mays* L.) plants. *Plant Soil*. 44: pp. 423-437.

REUVENY, Z.; DOUGALL, D.K; TRINITY, P.M. (1980). Regulatory coupling of nitrate and sulfate assimilation pathways in cultured tobacco cells. *Proceeding of the National Academy of Sciences*. USA. 77: 6670-6672.

RIVERA, B.; MIRANDA, D.; ÁVILA, L.A; NIETO, A.M. (2002). *Manejo integral del cultivo de la granadilla (Passiflora ligularis* Juss). Editorial Litoas, Manizales, Colombia. p.130.

SALAS, R. (2002). Herramientas de diagnóstico para definir recomendaciones de fertilización foliar. En: *Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones*. Memorias. Laboratorio de suelos y foliares. Eds. Meléndez, G y Molina, E. UCI. UCR.

SANCHO, H. (2007). Curvas de absorción de nutrientes: Importancia y uso en los programas de fertilización. *Informaciones agronómicas* 36. IPNI. p. 6.

SANTOS, P.C.; LOPES, L.C.; FREITAS, S.J.; SOUSA, L.B.; CARVALHO, A.J.C. (2011). Crescimento inicial e teor nutricional do maracujazeiro amarelo submetido à adubação com diferentes fontes nitrogenadas. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 33: pp. 722-728.

SANZONOWICZ, C.; ANDRADE, L.R.M. (2005). Nutrição, Adubação e Irrigação. En: Manica, I. Brancher, A., Sanzonowics, C., Icuma, I.M., Aguiar, J.L.P. de, Azevedo, J.A. de, Vasconcellos, M.A. da S., Junqueira, N.T.V. *Maracujá-doce: tecnologia de produção, pós-colheita, mercado*. Cinco Continentes: Porto Alegre. pp. 77-90

SECRETARIA TÉCNICA NACIONAL DE LA CADENA DE PASIFLORAS. (2014). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. *Sistema de información de organizaciones de cadena (SIOC)*. Informes de actividades.

SINGARAM, P.; PRABHA, K. (1997). Calcium boron interaction studies in tomato grown in a calcareous soil. In Plant Nutrition for Sustainable Food Production and Environment Developments. *Plant and Soil Sciences*. 78: 649-665.

TREBEJO, V.J.; ALARCÓN, V.C.; CRUZADO, C.L.; QUEVEDO, K. (2013). *Caracterización y aptitud agroclimática de café, granadilla y palto en la subcuenca de Santa Teresa, Cusco*, Edición: Servicio Nacional de meteorología e hidrología del Perú. SENAMHI. PRAA Perú. p. 26.

VOMOCI, L.J.A.; HART, J. (1990). Irrigation water quality. Oregon State University Extension Service. *Fertilizer guide*. 76: pp. 1-3.

WILKINSON, S.R.; GRUNES, D.L.; SUMNER, M.E. (1999). Nutrient Interactions in Soil and Plant Nutrition. En *Handbook of Sil Science*. M.E. Sumner (Ed.) CRC Press. Boca Raton, London.



CAPÍTULO 5

ENFERMEDADES EN GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss)

Lilliana María Hoyos-Carvajal^{1*},
*Sandra Yulieth Castillo Corredor*².

¹ Lilliana María Hoyos-Carvajal, limhoyosca@unal.edu.co, Laboratorio de fitopatología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Ingeniera Agrónoma. Ph. D.

² Sandra Yulieth Castillo Corredor, sycastilloc@unal.edu.co, Laboratorio de fitopatología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

* Autor para correspondencia.

INTRODUCCIÓN

El presente capítulo revisa las enfermedades en granadilla mediante registros bibliográficos y diagnósticos de muestras de Colombia, pues su control es un importante factor en la producción. La granadilla es un cultivo originario de Sur América, en Colombia es sembrada en 4 zonas: región central compuesta por los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Meta, región occidente por los departamentos del Valle del Cauca, Nariño y Cauca, región Huila, Tolima conformada por estos dos departamentos y la región Antioquia y eje cafetero que incluye a Caldas, Quindío, Risaralda y Antioquia (Parra, 2014); estas cuatro zonas se ubican en valles interandinos y sistemas montañosos, contrastantes en aspectos geofísicos como génesis y tipo de suelo, regímenes climáticos, además de diferir en aspectos sociales y de manejo del cultivo, resultando en un escenario de producción diverso. Buriticá (1999), hasta esa fecha, reportó las especies/géneros de agentes causales de enfermedades en granadilla en Colombia, que incluyen *Alternaria passiflorae*, *Alternaria* spp., *Botrytis cinérea*, *Cercospora calospilea*, *Cladosporium* spp., *Erysiphe poligoni*, *Colletotrichum gloeosporioides* (Teleom.: *Glomerella cingulata*), *Cladosporium herbarum* (Teleom.: *Davidiella*), *Fusarium solani* (Teleom.: *Nectria haematococca*). *Pestalotia* sp. y a *Meloidogyne javanica* como nematodo fitoparásito. El estatus de algunos de estos ha cambiado, y los géneros de algunos otros se discuten en este capítulo, a la luz de los conocimientos taxonómicos a la fecha (Cai *et al.*, 2011).

En plantas los síntomas de una enfermedad se definen como la expresión causada por la reacción fisiológica del tejido debido a la actividad nociva del patógeno, son respuestas mediadas por el estatus fisiológico de la planta y las condiciones ambientales. Lo anterior indica que un tipo de síntoma no puede ser siempre asociado con un mismo

tipo de patógeno o con un único patógeno. En el presente trabajo se ha encontrado que diferentes agentes causales pueden producir síntomas similares en la planta de granadilla. Sin embargo, ocurren generalizaciones sobre el tipo de agente causal asociado a un síntoma; un ejemplo de esto es la mancha foliar, la cual puede ser producida por diversos agentes causales, solos o en complejo. Situaciones como éstas, llevan a hacer inferencias de prácticas de manejo a otras zonas pudiendo estar o no acordes al agente causal particular en regiones, zonas o fincas productoras. Por lo anterior las descripciones y análisis presentes de enfermedades aquí presentadas deben ser verificadas para conducir a una decisión de manejo, y por ello que este texto es una guía, sabiendo que el estatus de microorganismos asociados a un síntoma particular puede cambiar en las diferentes zonas o en el transcurso del tiempo. Reconociendo que es necesario estar al tanto de la identidad de los fitopatógenos, la dinámica de sus poblaciones, el proceso infectivo y la eficacia real del control en el contexto de su variabilidad.

Algunos de los signos y síntomas de enfermedades de la granadilla se visualizan en las figuras 1 y 2.

Antracnosis

La antracnosis es una enfermedad en granadilla que se caracteriza porque en los frutos se presentan lesiones hundidas, luego aparecen círculos concéntricos que se extienden, siendo un problema frecuente en pre y poscosecha (Figura 1a) (Saldarriaga, 1998; Rivera *et al.*, 2002; Miranda, 2009). Esta enfermedad se encuentra asociada a *Colletotrichum* spp. (Figura 1b) el cual es un hongo Ascomycete con estados sexuales en el género *Glomerella* en la familia Glomerellaceae. Los aislamientos de *Colletotrichum* son variables en grado de patogenicidad, especificidad de hospedante y homogeneidad genética (Damm *et al.*, 2012a; Damm *et al.*, 2012b; Weir *et al.*, 2012; Hyde *et al.*, 2009). En *P. ligularis* no se sabe con certeza la especie de *Colletotrichum* que ataca a esta planta, pues de acuerdo a la reorganización del género los ejemplares estudiados no se han sometido a los procedimientos requeridos para este género (Damm *et al.*, 2012a; Damm *et al.*, 2012b). Este desconocimiento ha originado problemas para entender su dinámica

epidemiológica, haciendo incomparables los estudios llevados a cabo por diferentes grupos de investigación e impidiendo generalizaciones en el comportamiento del patógeno. Si bien los reportes anteriores al 2010 mencionan con frecuencia a *C. gloeosporioides*, Phoulivong *et al.* (2010) sostienen que ésta es la especie menos común en trópicos. Una aproximación a ello fue realizada por Riascos *et al.* (2013), en la cual aislamientos de *Colletotrichum* aislados a partir de frutales (gulupa, tomate de árbol, mango, banano) y caucho, resultaron ser nuevos registros de especies en el mundo. Lo que lleva a dudar sobre la especie que causa la antracnosis en granadilla. Afanador-Kafuri *et al.* (2003), en un trabajo realizado con aislamientos de *P. ligularis* procedentes de Antioquia, realizando protocolos para identificación de este género, menciona que los ejemplares de *Colletotrichum* aislados de granadilla no pueden ser ubicados en una especie o complejo; es decir, no se conoce el estatus de la especie. Según Castaño-Zapata y Hoyos-Carvajal (2012), el género *Colletotrichum* incluye hongos con hábitos endofíticos, epifíticos, saprófitos y fitopatógenos y su estrategia de sobrevivencia y ataque se basa en su amplio rango de hospedantes cultivados y silvestres. Hernández (2006) en estudios de patogenicidad cruzada entre aislamientos de *Colletotrichum* spp. obtenidos de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam), tomate de árbol (*Solanum betacea* Sendt), mango (*Mangifera indica* L) y tallos de mora (*Rubus glaucus* Benth) indica que estos resultan patogénicos a granadilla y viceversa. Este hongo también produce conidias en acérvulos en el tejido de sus hospedantes e infecciones quiescentes, esto implica que la conidia puede infectar un tejido y permanecer subepidermal hasta que las condiciones ambientales o de manejo sean favorables y pueda iniciar de nuevo un proceso infectivo (Prusky *et al.*, 1992).

Dado el ciclo infectivo y la ocurrencia de infecciones quiescentes; medidas culturales como recolección de frutos enfermos para disminución de inóculo son efectivas y necesarias, así como podas fitosanitarias, barreras de viento y manejo de materiales afectados por el hongo. Los frutos y material enfermos podados no debe permanecer dentro del cultivo, debe depositarse de preferencia en una pila u hoyo, que se encuentre cercado y alejado del cultivo y cercado para evitar entrada

de animales que dispersen el inóculo, si es zona de ladera no debe estar en la parte superior aledaña al cultivo para evitar que el agua que se infiltra disperse los patógenos. Estos sitios de deposición de residuos de cosecha o material enfermo deben asperjarse con microorganismos biorreguladores y materia orgánica para favorecer que sean parasitados o descompuestos a la menor brevedad. En el caso de poscosecha, donde recurrentemente aparecen lesiones producto de infecciones quiescentes, es de preferencia tener una cadena de frío y empaques que no lesionen el fruto, acordes con su forma y fisiología, esto evita heridas, limaduras y aparición de patógenos.

A manera general, para todas las enfermedades y hasta la fecha, en cuanto al control químico, es necesario que se haga uso de únicamente los productos permitidos en pasifloráceas, estipulados mediante la resolución 004754 del 7 de diciembre de 2011 del Instituto Colombiano Agropecuario en Colombia, haciendo un agrupamiento de cultivos por principios morfológicos y taxonómicos (art. 25, decisión 436 de la norma andina para el registro y control de plaguicidas químicos de uso agrícola de la Comunidad Andina de Naciones) (ICA, 2011). Estos productos deben armonizarse con las normas de cada país al cual se exporte la fruta o CODEX alimentario de la FAO y la OMS, advirtiendo sobre restricciones y residualidad permitida de los ingredientes activos de plaguicidas a usar (FAO y WHO, 2013). En este sentido y para cualquier enfermedad e ingrediente activo a aplicar, es necesario que los técnicos revisen el manual de modos de acción de fungicidas y las recomendaciones del comité para acción de resistencia a fungicidas (FRAC: fungicide Resistance Action Committee <http://www.frac.info/>); así mismo es importante, según estos lineamientos FRAC, realizar proyecciones de aplicaciones en las cuales se tenga en cuenta las recomendaciones sobre: 1) número máximo de aplicaciones de la molécula por ciclo de cultivo, 2) alternancia o bloques de ingredientes activos, lo cual se refiere a si una molécula puede ser aplicada dos o más veces seguidas, o si son aquellas que están restringidas para aplicaciones continuas, pues se genera pérdida de sensibilidad rápidamente (FRAC, 2014).

El uso inadecuado de moléculas aparte de generar resistencia, deja a los productores en caso de epidemias de la enfermedad, sin estrategias

de control disponibles. Para *Colletotrichum* se ha registrado resistencia a Benzimidazoles como el benomyl, estrobilurinas como el azoxistrobín y otros ingredientes del grupo QoI, Triazoles como el tebuconazol, Dicarboxamidas como Captán, Tiofanatos como el metil tiofanato, entre otros (Greer *et al.*, 2011; Tashiro *et al.*, 2012; Peres *et al.*, 2004; Avila-Adame *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2013), demostrando que este hongo tiene la plasticidad genética y mecanismos suficientes para generar poblaciones tolerantes a fungicidas. De manera que es de suma responsabilidad el conocimiento y manejo estricto de las recomendaciones emitidas por la FRAC para control de antracnosis y otras enfermedades, observando cuidados con usos de fungicidas y bactericidas.

Secadera

F. solani (telem.: *Haematonectria haematococca*) es el agente causal de la secadera, ha sido la enfermedad más limitante del cultivo de granadilla, ilustrada por la devastación ocurrida en cultivos en la zona de Urao, Antioquia. Para el año 1991, en este departamento se concentraba el 44,79% de la producción nacional en 1600 hectáreas, dos años más tarde el área se había reducido ocho veces, significando el 2,68% de la producción nacional (AGRONET, 2013); esta situación se debió a la rápida diseminación y alta severidad de esta enfermedad vascular, con opciones limitadas de manejo. En plantas adultas los estados iniciales de la enfermedad se manifiestan como decaimiento y clorosis, que evoluciona a necrosis y marchitamiento en algunas ramas, síntomas que derivan en defoliación, presencia de frutos con rugosidades en diferente estado de madurez permaneciendo adheridos a la planta, y finalmente muerte de las plantas. En el cuello del tallo se produce un chancro localizado, deteriorando también las raíces. Cuando la enfermedad llega a una etapa avanzada, el cuello sufre una pudrición severa con eventual formación de peritecios. En plantas pequeñas se observan cambios en el tejido del cuello como hundimientos o chancros leves, y clorosis pronunciada que termina en su muerte. En Colombia la enfermedad causada por *F. solani* se conoce como secadera de la granadilla, en otras passifloras es denominada pudrición de cuello (Lozano *et al.*, 2008; Ortiz *et al.*, 2014). Los reportes a nivel mundial en passifloras mencionan a *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* y *Fusarium solani*

como agentes causales de la marchitez y la pudrición del cuello, respectivamente. La marchitez causada por *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae*, ha sido reportada en Australia, Brasil, Colombia, Panamá, Venezuela, EE.UU, Filipinas, Suráfrica (Ortiz, 2012). Otras especies reportadas son *F. sambucinum* (Rheinländer *et al.*, 2010), *F. pallidroseum* (Delanoë, 1991), *Fusarium decemcellulare* (Yang *et al.*, 1997). En Colombia mediante aproximaciones polifásicas que incluyen morfología, biología y genética (Ortiz, 2012), ha determinado que la gulupa (*P. edulis*) es atacada por *F. oxysporum* y *F. solani*, pero la forma especial de estas especies y/o raza no ha sido determinada para passifloras mediante hospederos diferenciales o pruebas moleculares concluyentes pues no existen metodologías claras para esta forma especial en contraste con lo que si sucede para *F. oxysporum* f.sp. *cubense* (Dita *et al.*, 2010). Al parecer estas formas especiales no se limitan a su hospedero, tampoco así su potencial de ataque; por ejemplo, estudios llevados a cabo con aislamientos procedentes de gulupa pueden ser patogénicos a otras especies vegetales e incluso en animales, por lo tanto no es posible afirmar taxativamente las formas especiales y/o razas de estas especies de *Fusarium* (Alvarado, 2014).

Fusarium es un habitante natural del suelo, por tanto el control de esta patología debe ser netamente preventivo como lo sostienen numerosos autores, aunque la supresión por microorganismos como *Trichoderma*, *Pseudomonas* y *Bacillus* son objeto de estudios (Barbosa y Suárez, 2009; Quiroga-Rojas *et al.*, 2012; Tamayo, 1999; Cubillos *et al.*, 2011; Granobles y Torres, 2014). El control no es un asunto tan simple, teniendo en cuenta el ciclo de vida del patógeno y su hábito endofítico, por tanto las dosis de estos biocontroladores deben ser inundativas, con conteo en suelos y proyecto de control. En cuanto al control químico, según Erwin (2012) este puede dividirse en químicos que interactúan con toxinas del patógeno, o químicos que alteran el metabolismo de la planta elicitando respuestas de defensa, o químicos que pueden matar o suprimir el hongo dentro del tejido. En principio el control químico tiene dos objetivos, la destrucción del inóculo (control preventivo) y la supresión de la enfermedad ya cuando se ha dado la infección. En la actualidad en Colombia no hay productos licenciados específicamente para *Fusarium* en granadilla o passifloras.

Dentro de las medidas preventivas, la más eficiente es tener materiales sanos provenientes de semilleros con manejo sanitario adecuado, no usar sustratos o materiales (incluido postes usados en tutorado) provenientes de zonas con problemas de secadera, pues este hongo puede permanecer en estos materiales. No visitar zonas o cultivos afectados, o cambiar el calzado. La solarización y aplicaciones inundativas de microorganismos son también el inicio de la prevención; cuando se mencionan aplicaciones inundativas es necesario realizar aplicaciones con frecuencia semanal o quincenal empezando dos semanas antes de la siembra en el sitio definitivo. Determinar un sitio de entrada y salida del cultivo, exigiendo al personal su paso por un recipiente con desinfectante. No causar heridas en el cuello de la raíz y evitar la siembra asociada, sobre todo con fríjol pues es también hospedero de *F. solani*. Una vez se ha contaminado un lote, es necesario erradicar plantas enfermas, encalando el sitio donde estaba, ya que los pH altos no favorecen al microorganismo (Erwin, 2012), es necesario en este caso extraer la mayor cantidad de raíces y sacarlas en bolsas del cultivo depositándolas en sitios cerrados o composteras donde no tengan acceso animales. Este sitio debe cerrarse y evitar el paso por allí. En cuanto al control químico los benzimidazoles son una opción, pero se requiere tener en cuenta las recomendaciones FRAC y la baja movilidad de algunas de estas moléculas en la planta (FRAC, 2014; Erwin, 2012). El hongo causal de la enfermedad tiene características de invasión y dispersión altamente eficaces en hospedantes vegetales, por ello ha ocurrido la casi desaparición de zonas de producción de granadilla en Colombia, con las consecuencias económicas y sociales que pueda traer en una región netamente agrícola. El problema ha llevado a desarrollar esfuerzos en el reconocimiento de enfermedades en este cultivo y en la búsqueda de fuentes de resistencia genética y control de la secadera (Ocampo *et al.*, 1993; Tamayo y Varón, 1993; Tamayo, 1999; Tamayo y Morales, 1999).

Manchado de la hoja

Los síntomas de manchado de la hoja comprenden áreas de tamaño intermedio con tejido necrosado, borde parcialmente definido, necrosis en manchas concéntricas, algunas veces lesiones difusas (Figura 1c); en

estados avanzados la hoja termina por caerse. En pruebas realizadas en tejidos con estos síntomas procedentes de los departamentos del Huila y Antioquia en Colombia en el segundo semestre del año 2014, demuestran que hay organismos patogénicos como *Alternaria*, *Cladosporium*, *Botrytis* y *Colletotrichum* asociados a estas lesiones, además de bacterias; por tanto, el manchado de la hoja puede ser un complejo de varios microorganismos. A la fecha se desconocen aspectos patogénicos y epidemiológicos, así como la importancia relativa de cada uno de estos hongos en el manchado de la hoja.

En cuanto a los hongos que componen este complejo, *Alternaria* es el hongo más frecuentemente encontrado y aislado a partir de este tipo de lesiones (Figura 1d) denominada también mancha parda, la cual se caracteriza porque en las zonas atacadas aparecen unas manchas de color negro o pardas bien delimitadas, que en algunos casos pueden estar rodeadas por una o varias aureolas concéntricas amarillentas; estas manchas van creciendo hasta que finalmente se secan. Condiciones de alta humedad y precipitación intercaladas con días de sol favorecen la presencia del hongo, especialmente en cultivos deficientes en podas y fertilización. Los fungicidas mencionados para antracnosis y mohos ayudan a su control. Los primeros reportes de *Alternaria alternata* y *A. passiflorae* en passifloras son los de Fullerton (1982) y Simmonds (1938), respectivamente; siendo causales de la mancha café en frutos. Para otras passifloras existe dificultad en la clasificación exacta, ya que según Lawrence *et al.* (2013) la sistemática de *Alternaria* y géneros aliados tradicionalmente se ha basado en las características de los conidios y el aparato de esporulación, esto ha dado lugar a la incertidumbre taxonómica para un número de taxones en *Alternaria* y los géneros relacionados como *Stemphylium*, *Embellisia*, *Nimbya* y *Ulocladium* (Andrew *et al.*, 2009; Hong *et al.* 2006; Lawrence *et al.*, 2013; Pryor 2003) y es por ello que el estatus de especies asociadas a muchos cultivos y su patogenicidad son dudosos. Al igual que en el caso de *Colletotrichum* se desconoce la especie de *Alternaria* presente en granadilla en Colombia.

Para el caso de *Cladosporium*, presenta un estatus de especie incierta, o desconocida, similar a los dos casos anteriores; pero en contraste, las

aproximaciones taxonómicas basadas en diferentes tipos de caracteres se halla resuelta (Schubert *et al.*, 2013).

Para el manchado de la hoja, en el que se presenta un complejo de microorganismos, se desconoce la duración de su ciclo infectivo e interacciones con el clima, pues esto puede depender de la importancia relativa de cada uno de estos hongos en la enfermedad. Vega *et al.* (2001) encontraron asociada a las lesiones a *Cercospora* y la denominaron mancha angular, descrita como manchas de color café oscuro situadas en las bifurcaciones de las nervaduras de las hojas; al igual que la mancha parda esta enfermedad no reviste de importancia económica, las buenas prácticas de poda y fertilización, más la aplicación de fungicidas periódicamente permiten su regulación por debajo del umbral de daño económico.

Mildeos polvosos

Los síntomas de estas enfermedades se dan en el haz de las hojas, con presencia de lesiones blanquecinas, difusas, circulares, de tamaño variable que pueden cubrir toda la superficie de la hoja en estados avanzados (Figura 1e). Tal como lo describen Tamayo y Pardo-Cardona (2000), en granadilla en etapas terminales de la enfermedad, hay oscurecimiento de las lesiones con una clorosis leve, hasta que las hojas presentan un amarillamiento total, finalizando con la abscisión de la hoja. En pasifloras se reportan los géneros de mildeos polvosos *Oidiopsis* sp., anamorfo de *Leveillula taurica* (Erysiphaceae) en *Passiflora edulis*, y *Oidium passiflorae* en *Passiflora foetida* en Australia (Liberato *et al.*, 2006). Liberato y Barreto (2005) revisaron a *Ovulariopsis passiflorae*, el agente causal de mildeo polvoso en *Passiflora rubra*, encontrando que presenta una combinación de características que llevan a proponer a *Streptopodium passiflorae* [subfamilia Phyllactinioideae (Erysiphaceae)] como la especie que ataca a esta passiflora. También ha sido reportado *Oidium passiflorae* en Suiza (Braun *et al.*, 2013). En Colombia, Tamayo y Pardo-Cardona (2000) mencionaron a los géneros *Oidium* y *Ovulariopsis* para granadilla. Por otra parte, Hoyos *et al.* (Resultados no publicados), analizaron durante

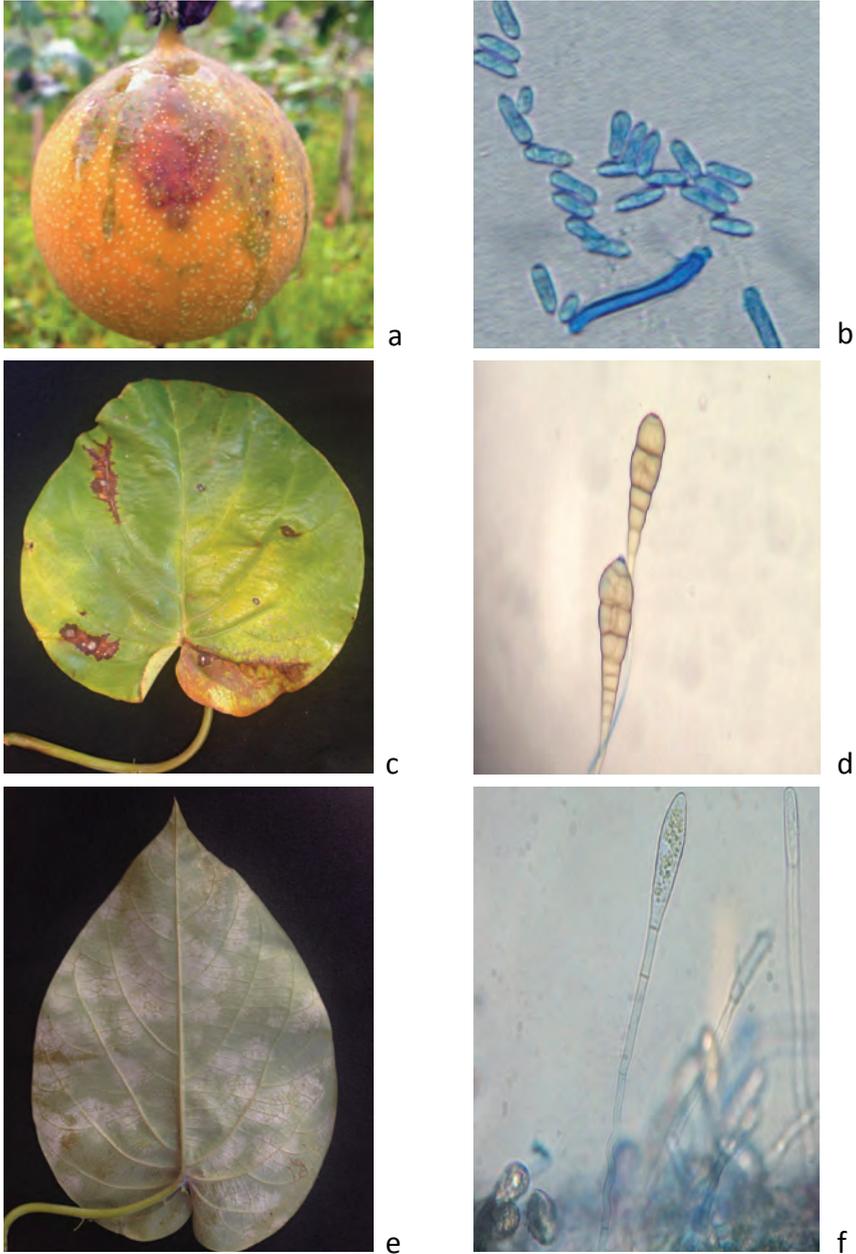


Figura 1. a) Síntomas de antracnosis en fruto, b) Conidias de *Colletotrichum* asociado a antracnosis (100X), c) Lesiones en el haz de la hoja con mancha parda, d) Conidias de *Alternaria* aisladas de hojas con mancha parda (40X), e) Detalle al envés de la hoja, de esporulación de Mildeo y f) Conidia y conidióforo de *Streptopodium* spp. en lesiones de Mildeo (10X). Fotografías tomadas por Lilliana Hoyos-Carvajal.

el año 2014 muestras de *P. ligularis* en Huila (Colombia) con síntomas de mildew polvoso, consistentes en lesiones individuales o extendidas en hojas, de tonos blancos en el envés y clorosis leve en el área del haz correspondiente. El hongo encontrado asociado a las lesiones, y de acuerdo con las características distintivas seleccionadas de los géneros y subgéneros aplicadas a anamorfos Erysiphales descritas por Glawe (2008), presentó células del pie rizadas o curvas, apresorio reducido y conidias dimórficas con cuerpos de fibrosina, sugiriendo que se trata de un ejemplar de un género cercano a *Streptopodium* (Figura 1f) y descartan por su falta de pigmento a *Queirozia* (Liberato *et al.*, 2006). De acuerdo a las figuras y descripciones de *Ovulariopsis* presentadas por Tamayo y Pardo-Cardona en el 2000, se presume que es *Streptopodium* el género asociado a granadilla, pero al momento del reporte este no había sido descrito y tipificado como género aparte de otros ya descritos (Liberato *et al.*, 2004; Liberato, 2006).

Moho gris, moho café, mal de hilachas

Botrytis es el agente causal de esta enfermedad que produce podredumbres en tallos, brotes, hojas, flores y frutos. Esta es una necrosis del tejido con presencia de moho de color café claro sobre la flor, en pedúnculo y base del fruto en formación y se encuentra abundantemente en vestigios florales adheridos a frutos en formación (Tamayo y Bernal, 2000). Así mismo se pueden hallar mucorales en estas lesiones, produciendo síntomas similares, y es cuando se denomina moho negro por los autores citados (Figura 2a y 2b).

Cuando el patógeno se halla causando lesiones en tallos se denomina mal de hilachas, puede causar lesiones ovaladas de color café claro a lo largo del tallo, luego esta lesión crece y avanza tornándose a color violeta y con círculos concéntricos. La epidermis del tallo se desprende y quedan los haces vasculares al descubierto, semejantes a hilachas y de allí su nombre. Los tallos enfermos se hallan llenos de microesclerocios de *Botrytis*. Para el control de este tipo de enfermedad es importante manejar la humedad, orientándose la siembra a favorecer la aireación y luminosidad (Tamayo y Bernal, 2000).

Ojo de pollo

Se presenta desde el periodo de almácigo, afectando hojas, las cuales presentan un anillo concéntrico café o negro rodeado de un halo amarillo; en zonas de alta humedad relativa y precipitación es bastante limitante, pues además ataca yemas, botones florales y frutos tiernos, en los cuales forma manchas ampolladas similares al ojo de un pollo (Cadena Productiva Frutícola, 2006). Se asume que el agente causal es *Phomopsis* por el trabajo realizado por Castrillón (1992), pues de 337 aislamientos este fue el organismo aislado con mayor frecuencia de las lesiones (35%); aislando también *Colletotrichum* (18% de los aislamientos), *Alternaria* (10%), *Cladosporium* (9%) y *Pestalotia* (6%). No obstante, las pruebas de patogenicidad no son concluyentes, pues de 36 aislamientos de *Phomopsis* probados en laboratorio solo 2 produjeron síntomas de ojo de pollo, esto no sucedió en inoculaciones en invernadero y campo donde la planta no reprodujo los síntomas. En este mismo experimento aislamientos de *Alternaria* y *Cladosporium* produjeron síntomas, pero no consistentes con lo denominado ojo de pollo. Tamayo y Morales (1999) lo consideran un patógeno débil con necesidad de condiciones ambientales específicas para infectar el tejido, requiriendo alta humedad y viento. Revisiones de lesiones y cortes histológicos realizadas en el año 2014 en muestras procedentes de cultivos de granadilla del departamento del Huila, permitieron evidenciar a *Cladosporium* asociado a estas lesiones pero en escasas ocasiones, no pudiéndose afirmar que este sea el agente causal; en contraste con gulupa en el cual se conoce bien la etiología del perdigoneo u ojo de pollo que es causado por un complejo de especies de *Cladosporium* (Riascos *et al.*, 2012). Este organismo también se asocia a la roña de frutos (Figura 2c y 2d) la cual consiste en lesiones errumpentes con formaciones corchosas, en contraste con la antracnosis que son hundidas y de color oscuro como se mencionó anteriormente.

Virus de la hoja morada

El SMV (Soybean mosaic potyvirus), es un virus de soya que presumiblemente pasó a los cultivos de maracuyá y otras passifloráceas, iniciando su transmisión en el Valle del Cauca y difundiéndose por

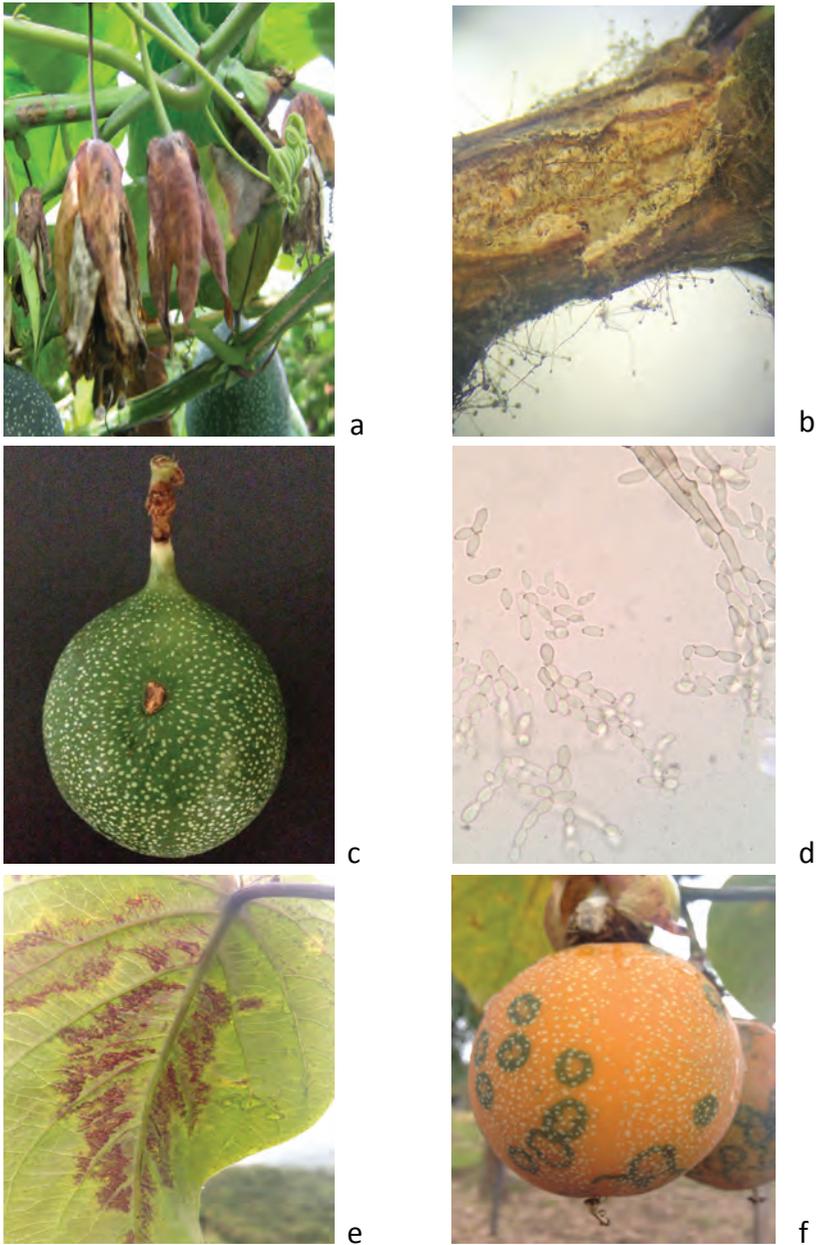


Figura 2. a) Aspecto de botones florales con mal de hilachas, b) Cuerpos fructíferos de mucolares sobre pedúnculo de botón floral, c) Síntomas de Roña en fruto, d) Conidias, ramuconidias y conidióforo de *Cladosporium* spp. en granadilla (100X), e) Síntomas de Virus de la hoja morada con acumulaciones de pigmentos y f) Fruto con anillos típicos de virus. Fotografías tomadas por Lilliana Hoyos-Carvajal.

el país (Morales *et al.*, 2001). En cuanto a síntomas, a nivel de hojas produce moteados y estrías moradas con malformaciones (Figura 2e), a veces puede estar produciendo síntomas en toda la planta, y en el contacto rama-rama se disemina a las plantas vecinas. En ocasiones puede afectar órganos florales presentando mal formaciones y coloraciones púrpuras, frutos con tumefacciones y protuberancias en estado verde; cuando el fruto inicia el estado de maduración a coloración amarilla, quedan manchas en forma de anillos entrelazados de color verde como se muestra en la figura 2f (Tamayo y Morales, 1999; Tamayo *et al.*, 2000). Este virus es de transmisión mecánica y de manera no persistente por áfidos (Morales *et al.*, 2001). Chavez *et al.* (1999) realizaron inoculaciones en 14 especies entre las cuales se encuentran leguminosas, solanaceas y quenopodiáceas, obteniéndose síntomas sistémicos en *Phaseolus vulgaris* var. Black Turtle Soup B, Black Turtle Bush y *Glycine max* ICA L-186 con necrosis de nervaduras, vejigas y mosaico. En *Physalis floridana* se observó clorosis intervenal muy suave. Con el áfido *Aphis gossypii* se logró un 27% de expresión de síntomas de vejigas y mosaico. Con los crisomélidos *Diabrotica* sp., *Cerotoma* sp. y *Colaspis* sp. no se logró transmisión. Tampoco se logró transmisión por semilla al analizar más de 2000 plántulas procedentes de frutos obtenidos de plantas enfermas. Se encontraron como especies hospederas a *Passiflora foetida*, *P. cerulata*, *P. caerulea*, *P. adenopoda* y *Passiflora maliformis* además de las especies cultivadas comercialmente. Morales *et al.*, 2001, encontraron también un Tymovirus asociado a passifloras produciendo síntomas similares a un virus reportado en el Brasil, el cual tiene presumiblemente transmisión por Crisomélidos.

Bacteriosis

En la literatura no se encuentran reportes de enfermedades bacterianas en el cultivo de la granadilla; sin embargo, en muestras colectadas en el departamento del Huila en el año 2014, se encontraron síntomas en hojas, que se manifiestan en forma de manchas irregulares, marrones, de aspecto húmedo con bordes difusos, que atraviesan la lámina foliar. Estas manchas inician en los bordes de las hojas, se extienden y coalescen afectando áreas extensas de la lámina foliar. Se encontró

asociada a esta sintomatología una bacteria del género *Erwinia* (actualmente clasificada dentro de los géneros *Pectobacterium*, *Dikeya* y *Erwinia* (Charkowsky, 2006)). Benítez y Hoyos (2009) reportaron bacterias de *Erwinia* asociadas a un complejo bacteriano junto con *Xanthomonas axonopodis* causando la mancha de aceite de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Así mismo Farfán *et al.*, (2010) reportaron la susceptibilidad de granadilla a inoculaciones artificiales de *Xanthomonas axonopodis*.

Nematodos

Estos causan en la parte aérea clorosis intervenal y textura coriácea. En raíces se observa la formación de agallas o pérdida de funcionalidad. Para granadilla se han reportado especies de los géneros *Helicotylenchus*, *Meloidogyne* y *Pratylenchus* asociados a suelo y raíces; en menor proporción *M. hapla*, *M. incognita*, *Trichodorus* y *Xiphinema*, también especímenes de los órdenes Mononchida, Dorylaimida, Rhabditida y Tylenchidae (Tamayo, 2001).

REFERENCIAS

AFANADOR-KAFURI, L.; MINZ, D.; MAYMON, M.; FREEMAN, S. (2003). Characterization of *Colletotrichum* isolates from tamarillo, passiflora, and mango in Colombia and identification of a unique species from the genus. *Phytopathology*. 93(5): pp. 579-587.

AGRONET. (2013). *Estadísticas en granadilla*. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estad%C3%ADsticas.aspx>.

ALVARADO, A. (2014). *Caracterización molecular por AFLP y evaluación de factores de patogenicidad de Fusarium spp. aislados de humanos, animales y plantas como herramientas para el planteamiento de un modelo multihospedero*. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

ANDREW, M.; PEEVER, T.L.; PRYOR, B.M. (2009). An expanded multi-locus phylogeny does not resolve morphological species within the small-spored *Alternaria* species complex. *Mycologia*. 101(1): pp. 95-109.

ÁVILA-ADAME, C.; OLAYA, G.; KÖLLER, W. (2003). Characterization of *Colletotrichum graminicola* isolates resistant to strobilurin-related Qol fungicides. *Plant Disease*. 87(12): pp. 1426-1432.

BARBOSA, C.; SUÁREZ, L. (2009). Antagonismo in vitro de *Trichoderma harzianum* Rifai sobre *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. *passiflorae* en maracuyá (*Passiflora edulis* Sims var. *flavicarpa*) del municipio zona bananera colombiana. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía de Medellín*. 62(1): pp. 4743-4748.

BENÍTEZ, S.V.; HOYOS, L.M. (2009). Sintomatología asociada a bacteriosis en zonas productoras de gulupa (*Passiflora edulis* Sims.) en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 3(2).

BRAUN, U.; ALE-AGHA, N.; BOLAY, A.; BOYLE, H.; BRIELMAIER-LIEBETANZ, U.; EMGENBROICH, D.; KUMMER, V. (2013). New records of powdery mildew fungi (Erysiphaceae). *Schlechtendalia*. 19: pp. 39-46.

BURITICÁ-CESPEDES, P.E. (1999). *Directorio de patógenos y enfermedades de las plantas de importancia económica en Colombia*.

CADENA PRODUCTIVA FRUTÍCOLA (CPF). (2006). *Manual técnico del cultivo de granadilla (Passiflora ligularis Juss) en el departamento del Huila*. Ed. Litocentral Ltda. p. 34.

CAI, L.; GIRAUD, T.; ZHANG, N.; BEGEROW, D.; CAI, G.; SHIVAS, R.G. (2011). The evolution of species concepts and species recognition criteria in plant pathogenic fungi. *Fungal Diversity*. 50(1): pp. 121-133.

CASTAÑO-ZAPATA, J.; HOYOS-CARVAJAL, L.M. (2012). Manejo de enfermedades en frutales. En: Fischer, G. *Manual para el cultivo de frutales en el trópico*. Produmedios, Bogotá. pp. 217-237.

CASTRILLÓN-G., J.D. 1992. *Etiología de la enfermedad llamada ojo de pollo en la granadilla (Passiflora ligularis Juss) a nivel de invernadero*. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

CHARKOWSKY, A.O. (2006). *The soft rot Erwinia*. Gnanamanickam SS, ed. *Plant-Associated Bacteria*. Dordrecht, Netherlands: Springer. pp. 423-505.

CHAVEZ, B.; VARÓN DE AGUDELO, F.; MORALES, F.J.; CASTANO, M.; ARROYAVE, J.A.; GÁLVEZ, G.E. (1999). Reconocimiento, transmisión y hospederas de patógenos virales del maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) en Colombia. *Fitopatología Colombiana*. 23(1): pp. 24-31.

CHEN, D.; SHI, H.J.; WU, H.M.; XU, Z.H.; ZHANG, C.Q. (2013). Resistance of *Colletotrichum gloeosporioides* causing grape ripe rot to Thiophanate-methyl and Tebuconazole in Zhejiang. *Journal of Fruit Science*. 4: p. 27.

CUBILLOS-HINOJOSA, J.G.; PÁEZ-REDONDO, A.; MEJÍA-DORIA, L. (2011). Evaluación de la capacidad biocontroladora de *Trichoderma harzianum* Rifai contra *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. asociado al complejo Secadera en Maracuyá, bajo condiciones de invernadero. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*. 64(1); 5821-5830.

DAMM, U.; CANNON, P.F.; WOUDEBERG, J.H.C.; CROUS, P.W. 2012a. The *Colletotrichum acutatum* species complex. *Studies in Mycology*. 73: pp. 37-113.

DAMM, U.; CANNON, P.F.; WOUDEBERG, J.H.C.; JOHNSTON, P.R.; WEIR, B.S.; TAN, Y.P.; CROUS, P.W. 2012b. The *Colletotrichum boninense* species complex. *Studies in Mycology*. 73: pp. 1-36.

DELANOË, O. (1991). Etude de la résistance de passiflores de Guyane française vis-à-vis de *Fusarium* pathogènes de la culture des fruits de la Passion (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Fruits*. 46(5): pp. 593-600.

DITA, M.A.; WAALWIJK, C.; BUDDENHAGEN, I.W.; SOUZA J.R.; KEMA, G.H.J. (2010). A molecular diagnostic for tropical race 4 of the banana fusarium wilt pathogen. *Plant Pathology*. 59(2): pp. 348-357.

ERWIN. (2012). Chemical control. En: Mace, M. (Ed.). Fungal wilt diseases of plants. *Elsevier*. pp. 563-600.

FAO (Food and Agriculture Organization) y WHO (World Health Organization). (2013). *Pesticide Residues in Food and Feed-Codex Pesticides Residues In Food*. Disponible en línea: <http://www.codexalimentarius.org/standards/pesticide-mrls/>.

FARFÁN, L.; CASTILLO, S.; HOYOS, L. (2010). Hospederos alternos de bacterias fitopatógenas asociadas a bacteriosis de la gulupa (*Passiflora*

edulis Sims). *Memorias Primer Congreso Latinoamericano de Passiflora*. Cepass/Asohofrucol. Neiva (Huila), 3 al 5 de octubre. p. 93.

FRAC (Fungicide Resistance Action Committee). (2014). *FRAC Code List*©». Disponible en: <http://www.frac.info/>

FULLERTON, R.A. (1982). Brown spot of passionfruit on Niue Island caused by *Alternaria alternata*. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 25(3): pp. 421-423.

GLAWE, D.A. (2008). The powdery mildews: a review of the world's most familiar (yet poorly known) plant pathogens. *Phytopathology*. 46(1): p. 27.

GRANOBLES, Ó. A.; TORRES, C. (2014). Efecto de Biocontroladores Sobre la Dinámica Poblacional de Hongos de Suelo en un Cultivo de Maracuyá (*Passiflora edulis* Sims var. *flavicarpa*). *Revista de Ciencias*. 17(2): pp. 151-162.

GREER, L. A.; HARPER, J.D.I.; SAVOCCHIA, S.; SAMUELIAN, S.K.; STEEL, C.C. (2011). Ripe rot of south-eastern Australian wine grapes is caused by two species of *Colletotrichum*: *C. acutatum* and *C. gloeosporioides* with differences in infection and fungicide sensitivity. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 17(2): pp. 123-128.

HERNÁNDEZ, C.A.C. (2006). *Caracterización y pruebas de patogenicidad cruzada entre aislamientos de Colletotrichum spp. obtenidos de frutos de lulo (Solanum quitoense Lam), tomate de árbol (Solanum betacea Sendt), granadilla (Passiflora ligularis Juss), mango (Mangifera indica L) y tallos de mora (Rubus glaucus Benth) con síntomas de antracnosis* (Tesis para obtener el grado en Microbiólogo Agrícola y Veterinario), Facultad de Ciencias Básicas Bogota. p. 115.

HONG, S.G.; MACCARONI, M.; FIGULI, P.J.; PRYOR, B.M.; BELISARIO, A. (2006). Polyphasic classification of *Alternaria* isolated from hazelnut and walnut fruit in Europe. *Mycological Research*. 110(11): pp. 1290-1300.

HYDE, K.D.; CAI, L.; CANNON, P.F.; CROUCH, J.A.; CROUS, P.W.; DAMM, U.; ZHANG, J. Z. (2009). *Colletotrichum*—names in current use. *Fungal Diversity*. 39: p. 147.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA) (2011). *Resolución 004754 del 7 de diciembre de 2011 del Instituto Colombiano Agropecuario en Colombia, haciendo un agrupamiento de cultivos por principios morfológicos y taxonómicos* (art. 25, decisión 436 de la norma andina para el registro y control de plaguicidas químicos de uso agrícola de la Comunidad Andina de Naciones).

LAWRENCE, D.P.; GANNIBAL, P.B.; PEEVER, T.L.; PRYOR, B.M. (2013). The sections of *Alternaria*: formalizing species-group concepts. *Mycologia*. 105(3): pp. 530-546.

LIBERATO, J.R.; BARRETO, R.W. (2005). *Streptopodium passiflorae* comb. nov. on *Passiflora rubra*. *Mycotaxon*. 94: pp. 89-92.

LIBERATO, J.R. (2006). Powdery mildew on *Passiflora* in Australia. *Australasian Plant Pathology*. 35(1): pp. 73-75.

LIBERATO, J.R.; BARRETO, R.W.; LOURO, R.P. (2004). *Streptopodium caricae* sp. nov., with a discussion of powdery mildews on papaya, and emended descriptions of the genus *Streptopodium* and *Oidium caricae*. *Mycological Research*. 108(10): pp. 1185-1194.

LIBERATO, J.R.; BARRETO, R.W.; NIINOMI, S.; TAKAMATSU, S. (2006). *Queirozia turbinate*, Phyllactinieae, Erysiphaceae): a powdery mildew with a dematiaceous anamorph. *Mycological Research*. 110(5): pp. 567-574.

LOZANO, M.; ROZO, L.S.; RUIZ, N; QUIROGA, L.F.; SANDOVAL, L.A. (2008). *Manual del manejo preventivo de la Secadera (Fusarium sp.) en el cultivo del maracuyá*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA, CI Nataima. Tolima, Colombia.

MIRANDA, D. (2009). *Manejo integral del cultivo de la granadilla (Passiflora ligularis Juss.)*. Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá., 1, pp. 1-158.

MORALES, F.; LOZANO, I.; MUÑOZ, C.; CASTAÑO, M.; ARROYAVE, J.; VARÓN, F.; CASTILLO, G. (2001). Caracterización molecular de los virus que afectan al maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) y otras pasifloras en Colombia. *Fitopatología Colombiana*. 25(2): pp. 99-102.

OCAMPO, L.E.; CARDONA, W.; YEPES, F.; VELILLA, J.A. 1993. *Manejo integrado de las plagas y enfermedades en el cultivo de la granadilla*. Secretaria de Agricultura de Antioquia-Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Publicación técnica. Número 19. p. 45.

ORTIZ, E. (2012). *Etiología de enfermedades asociadas a fusariosis en el cultivo de gulupa (Passiflora edulis Sims.) en la región del Sumapaz*. Tesis de maestría. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

ORTIZ, E.; CRUZ, M.; MELGAREJO, L.M.; MARQUÍNEZ, X.; HOYOS-CARVAJAL, L. (2014). Histopathological features of infections caused by *Fusarium oxysporum* and *F. solani* in purple passion fruit plants (*Passiflora edulis* Sims). *Summa Phytopathologica*. 40(2): pp. 134-140.

PARRA, M. (2014). *Bullets regionales cadena de pasifloras*, tomado de <http://sioc.minagricultura.gov.co/index.php/opc-documentoscadena?ide=27>

PERES, N.A.R.; SOUZA, N.L.; PEEVER, T.L.; TIMMER, L.W. (2004). Benomyl sensitivity of isolates of *Colletotrichum acutatum* and *C. gloeosporioides* from citrus. *Plant Disease*. 88(2): pp. 125-130.

PHOULIVONG, S.; CAI, L.; CHEN, H.; MCKENZIE, E.H.; ABDELSALAM, K.; CHUKATEIROTE, E.; HYDE, K.D. (2010). *Colletotrichum gloeosporioides* is not a common pathogen on tropical fruits. *Fungal Diversity*. 44(1): pp. 33-43.

PRUSKY, D.; PLUMBLEY, R.A.; BAILEY, J.A.; JEGER, M.J. (1992). Quiescent infections of *Colletotrichum* in tropical and subtropical fruits. *Colletotrichum: biology, pathology and control*. pp. 289-307.

PRYOR, B.M. (2003). Bigelow Molecular characterization of *Embellisia* and *Nimbya* species and their relationship to *Alternaria*, *Ulocladium* and *Stemphylium*. *Mycologia*. 95: pp. 1141-1154.

QUIROGA-ROJAS, L.F.; RUIZ-QUIÑONES, N.; MUÑOZ-MOTTA, G.; LOZANO-TOVAR, M.D. (2012). Microorganismos rizosféricos, potenciales antagonistas de *Fusarium* sp. causante de la pudrición radicular

de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims). *Acta Agronómica*. 61(3): pp. 265-272.

RHEINLÄNDER, P.A.; FULLERTON, R.A.; SALE, P.; RHEINLÄNDER, P. A.; FULLERTON, R.A.; SALE, P. (2010). *Sustainable Management of Passion-fruit Diseases in New Zealand. Final report to the New Zealand Passion fruit Growers Association Inc., the Ministry of Agriculture and Forestry Sustainable Farming Fund, project grant, (06/094)*, pp. 1-40.

RIASCOS, D.; QUIROGA, I.; GÓMEZ, R.; HOYOS-CARVAJAL, L. (2012). *Cladosporium*: Causal agent of scab in purple passion fruit or gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). *Agricultural Sciences*. 3: pp. 299-305.

RIVERA, B.; MIRANDA, D.; ÁVILA, L.A; NIETO, A.M. (2002). *Manejo integral del cultivo de la granadilla (Passiflora ligularis Juss)*. Editorial Litoas, Manizales, Colombia. p.130.

SALDARRIAGA, R. L. (1998). *Manejo post-cosecha de granadilla (Passiflora ligularis Juss)*. Colombia.

SCHUBERT, K.; BRAUN, U.; MULENKO, W. (2013). Taxonomic revision of the genus *Cladosporium* s. lat. 5. Validations and descriptions of new species. *Schlechtendalia*. 14: pp. 55-83.

SIMMONDS, J.H. (1938). *Alternaria passiflorae* n. sp., the causal organism of brown spot of the brown spot of the Passion Vine. En: *Proceedings of the Royal Society of Queensland*. 49(13): pp. 150-451.

TAMAYO MOLANO, P.J.; MORALES OSORIO, J.G. (1999). *Manejo agronómico y fitosanitario de semilleros y almácigos de granadilla*. Colombia.

TAMAYO MOLANO, P.J. (2001). *Meloidogyne incognita* en granadilla). *Ascolfi Informa* (Colombia). 27(3): pp. 18-19.

TAMAYO MOLANO, P.J; BERNAL, J. (2000). El mal de hilachas y mohos de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.). *Ascolfi Informa* (Colombia). 27(5): pp. 33-35.

TAMAYO MOLANO, P.J.; CASTRO, S.; LUIS, E.; LEMOS, C.; GUSTAVO, A.; CASTAÑO, J.; MAURICIO, M. (2000). Reconocimiento y distribución de la 'hoja morada de la granadilla' en Colombia. *Ascolfi Informa* (Colombia). 26(2): pp. 15-16.

TAMAYO, M.; PARDO-CARDONA, V.M. (2000). First records and observations on powdery and white mildews on granadilla (*Passiflora mollissima* (HBK) Bailey), tacso (*Passiflora ligularis* Juss.) and other *Passifloraceae* in Colombia. *Ascolfi Informa*. 26(5): pp. 40-42.

TAMAYO, M.; VARÓN, F. (1993). Manejo de problemas patológicos en los cultivos de frijol y granadilla en el Municipio de Urrao, Antioquia. ICA. *Ascolfi Informa*. 27(1): pp. 12-22.

TAMAYO, P. (1999). *Estudios para el control de la secadera (Nectria haematococca Berk & Br.) de la granadilla (Passiflora ligularis Juss.): Evaluación de patrones existentes y prácticas de manejo integrado*. Corpoica, Rionegro, Colombia.

TAMAYO, P.J.; MORALES, J.G. (1999). *Manejo agronómico y fitosanitario de los semilleros y almácigos de granadilla*. Boletín técnico. Convenio Corpoica-Pronatta, UMATA de Urrao y Cooperativa Integral de Urrao. Rionegro, Antioquia.

TASHIRO, N.; MANABE, K.; IDE, Y. (2012). Emergence and frequency of highly benzimidazole-resistant *Colletotrichum gloeosporioides*, pathogen of Japanese pear anthracnose, after discontinued use of benzimidazole. *Journal of General Plant Pathology*. 78(3): pp. 221-226.

VEGA, C.; VARÓN DE A.F.; HUERTAS, C.A. (2001). Mancha angular de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) causada por *Cercospora* sp. en el Valle del Cauca. En: *Memorias. XXII Congreso de la Asociación Colombiana de Fitopatología*. Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines. Medellín. p. 27.

WEIR, B.S.; JOHNSTON, P.R.; DAMM, U. (2012). The *Colletotrichum gloeosporioides* species complex. *Studies in Mycology*. 73: pp. 115-180.

YANG, Y.; LUO, W.; FAN, J. (1997). First report of pathogens of stem wilt disease on *Passiflora edulis* Sims. *Journal of Yunnan Agricultural University*. 13(1): pp. 71-73.

CAPÍTULO 6

CONTRIBUCIÓN DE LA ECOFISIOLOGÍA A LOS PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO DEL CULTIVO DE GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss)

Nohra Rodríguez-Castillo¹,
Luz Marina Melgarejo^{2*}

¹ Nohra Rodríguez-Castillo, ncrodriguez@unal.edu.co, Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Departamento de Biología – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Bióloga. MSc Ciencias Agrarias. Estudiante de doctorado en Ciencias.

² Luz Marina Melgarejo, lmelgarejom@unal.edu.co, Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Departamento de Biología – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Bióloga. Ph.D.

* Autor para correspondencia.

INTRODUCCIÓN

Una de las estrategias para responder a las necesidades de producción de los cultivos es la adopción de programas de mejoramiento. En el caso de la granadilla se han generado pocos programas de mejoramiento, los primeros se dirigieron a la selección de materiales élite y más recientemente se viene trabajando en la obtención de nuevas variedades mediante cruzamientos, así como en la generación de injertos que exhiban buen desempeño fisiológico frente a diferentes condiciones ambientales y mejor respuesta frente a estreses que afectan de manera significativa la fisiología y el rendimiento del cultivo.

El mejoramiento genético comprende el uso de técnicas destinadas a optimizar la expresión de la información genética existente en las plantas (fitomejoramiento) y por lo tanto a mejorar un determinado cultivo (Frey, 1971). Estos procesos son necesarios debido a la importancia de las plantas en la nutrición humana y animal, al incremento de la densidad poblacional, a la seguridad alimentaria y su sostenibilidad, a los cambios climáticos y a la dispersión de plagas y enfermedades, por lo cual, se requieren cultivos con mayores rendimientos, mejor calidad (organoléptica, química, física-mecánica, biológica), resistencia y/o tolerancia a plagas y enfermedades, mejor respuesta a factores abióticos (temperatura, salinidad, anegamiento, sequía, acidez, entre otros) (Chittaranjan, 2011) y en conjunto mejor respuesta fisiológica de la interacción genotipo x ambiente (ecofisiología). Estos objetivos se pueden lograr dirigiendo y acelerando los procesos evolutivos (selección, migración, deriva genética, mutación) que se llevan a cabo en las especies silvestres (Richards, 1997).

El fitomejoramiento se basa en dos actividades fundamentales: 1) La identificación de plantas genéticamente superiores, y 2) La captura y transferencia de esa superioridad genética de modo que

pueda ser aprovechada por el fitomejorador y entregada al agricultor mediante la generación de variedades o híbridos comerciales (Ceballos, 1998).

IDENTIFICACIÓN DE PLANTAS GENÉTICAMENTE SUPERIORES

Es una actividad realmente compleja, ya que este proceso de selección no puede basarse solo en criterios fenotípicos, porque la variabilidad ambiental puede debilitar la selección y el fitomejorador podría seleccionar una planta como superior sin que realmente lo sea o dejar de seleccionar otra por su aspecto físico sin tener en cuenta otros criterios de interés para la producción como las respuestas o desempeño fisiológico de la planta frente a los diferentes tipos de estrés biótico (plagas y enfermedades) y abiótico (factores climáticos y edáficos) (Acquaah, 2007).

Para que esta identificación sea más eficiente se pueden realizar evaluaciones morfoagronómicas y ecofisiológicas. En las morfoagronómicas se emplean descriptores cualitativos y cuantitativos; en el caso de las passifloras existen varios descriptores que se han empleado para establecer relaciones taxonómicas y de variabilidad entre las especies, los cuales han sido citados por Villacis *et al.* (1998), Chrochemore *et al.* (2003), Ocampo (2007) y Tangarife *et al.* (2009). Los parámetros fisiológicos por su parte, informan sobre el rendimiento de los fotosistemas, las tasas fotosintéticas y transpiratorias, los índices de crecimiento, la respuesta frente a alteraciones en los niveles nutricionales (exceso o defecto), la respuesta frente a plagas o enfermedades, entre otros; que en conjugación con el ambiente muestra el desempeño de la planta y si es capaz de sobrevivir y reproducirse bajo condiciones adversas. En el caso de la granadilla se han evaluado aspectos ambientales (temperatura, radiación solar, altitud, precipitación, humedad), de fenología del cultivo, índices de crecimiento y polinización (Rivera *et al.*, 2002; Souza, 2003; Fisher *et al.*, 2009); y en ecofisiología la evaluación de aspectos hídricos (Casierra y Roa 2006), fotosintéticos (Fernández *et al.*, 2014), así como las investigaciones presentadas en los capítulos anteriores del presente libro.

Los estudios ecofisiológicos informan sobre la variabilidad en la respuesta de las plantas como un todo frente a la influencia del ambiente, por lo tanto de su adaptabilidad a condiciones variables (Medina, 1977). Además, se puede inferir el efecto de la selección natural sobre una población determinada que puede manifestarse fenotípicamente como un ecotipo con características genotípicas distintivas de las demás poblaciones. De manera que la ecofisiología en estudios de mejoramiento de los cultivos puede brindar información que correlaciona el fenotipo (morfología), el ambiente (ecología), el genotipo (genética-bioquímica) y su expresión (fisiología), brindando información muy útil en los procesos de selección de plantas y en la planificación de programas de hibridación.

Hasta el momento la información relacionada con el ambiente (condiciones edafoclimáticas) se ha usado para determinar la zonificación de algunas passifloras de importancia comercial: gulupa (Ocampo *et al.*, 2012), maracuyá (Hoffman *et al.*, 2012), curuba y granadilla (Martínez *et al.*, 2009). En Colombia, además, se han realizado estudios ecofisiológicos directamente en plantas de cultivos de granadilla (ver capítulos 1 y 2 del presente libro; Fernández *et al.*, 2014) y de gulupa (Pérez-Martínez y Melgarejo 2012; Pérez-Martínez y Melgarejo 2015) para establecer cuál o cuáles factores climáticos son los que influyen principalmente en el desempeño fisiológico de la planta en su respectivo ambiente?, y así determinar características microclimáticas que sirvan como base para la proyección de zonas con potencial de producción de passifloras; es decir, localizando las zonas más apropiadas para la implementación de estos cultivos con relación a las características ambientales de un determinado lugar.

Se espera que los futuros programas de mejoramiento incorporen esta información, para facilitar la organización de grupos heteróticos; es decir, grupos conformados por una o más plantas o accesiones que comparten determinadas características, y que difieran de otra(s) planta(s). Lo que significa que la presión de selección a la que fue (ron) sometidas esta(s) planta(s), implicó la expresión o no, de algún grupo de genes que le facilitó su proceso de adaptación y es la razón por la cual se diferencia de las demás. Por presentar variantes alélicas genera

cambios genotípicos, fenotípicos y de expresión, útiles en programas de mejoramiento.

En Colombia, los programas de mejoramiento de la mayoría de las especies de la familia *Passifloraceae* son escasos o inexistentes. Los programas de mejoramiento más adelantados se relacionan con *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* (maracuyá) y se adelantan muy pocos en *P. edulis* f. *edulis* (gulupa) pero aún sin la liberación de variedades (Ocampo *et al.*, 2013), y en *P. ligularis* (granadilla), los programas se han basado en la selección de las mejores plantas desde el punto de vista de rendimiento y calidad (Rivera *et al.*, 2002), pero no se han incorporado a estos estudios variables ecofisiológicas.

En las passifloras comestibles, los procesos de selección fueron establecidos principalmente sobre características fenotípicas y se descartaron plantas silvestres que no exhibían valores ideales para la producción, estrechando la base genética desde su comienzo como cultivo; ésta homogeneidad en el cultivo se presenta en especies como *P. edulis* f. *edulis* (Ortiz, 2012) y se relaciona presumiblemente con la baja resistencia a plagas y enfermedades que se observa en los cultivos actualmente. Por el contrario, en la granadilla los cultivos en Colombia se establecieron con semillas provenientes de plantas silvestres en las zonas donde se iniciaron los sistemas productivos, como en Urrao (Antioquia) y Génova (Quindío) (Bernal *et al.*, 2014); sugiriendo que la granadilla cultivada presenta un síndrome de domesticación parcial, ya que la mayoría de éstas pasaron de ser silvestres a cultivadas en unos pocos años (Gepts, 2002).

Lo anterior se confirma con el estudio realizado por Bernal *et al.* (2014), quienes evaluaron 41 accesiones cultivadas de granadilla procedentes de 10 departamentos de Colombia, empleando 10 marcadores microsatélite (SSR); la diversidad encontrada en las poblaciones corroboró la alta diversidad genética encontrada con valores de Heterocigocidad observada (H_o) y esperada (H_e) de 0,98 y 0,96, respectivamente, y un contenido de información polimórfica (PIC) de 0,74. Esta variabilidad fue explicada por su sistema de reproducción alógama y el intercambio de semillas entre productores. Sin embargo, cabe resaltar que se requiere incrementar el número de marcadores moleculares evaluados e incorporar al estudio

valores morfométricos, agronómicos y ecofisiológicos para una mejor evaluación de esta diversidad.

Así mismo, la importancia de las especies silvestres y su conservación, éstas son el reservorio génico de la especie y aunque no presenten características muy deseables para el cultivador, generalmente en ellas reside un pool génico asociado a resistencias contra plagas, enfermedades y condiciones abióticas desfavorables. Las especies silvestres, así como las cultivadas son conservadas a través de bancos de germoplasma, como semilla, *in vivo* en huertas, en áreas protegidas como reservas naturales, en cultivos *in vitro*, o en bancos de DNA (genotecas). En el caso de la granadilla, la especie cuenta con muy buena representación en los bancos de germoplasma de Brasil en el Centro Nacional de pesquisa de Mandioca e fruticultura EMBRAPA, en la Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuaria (EMCAPA) y en Colombia la Colección Nacional de Granadilla que está localizada en la granja Tesorito de la Universidad de Caldas a 2.280 msnm (Manizales, Caldas), en Corpoica, y en la colección de la Universidad Nacional de Colombia (Palmira, Valle del Cauca).

CAPTURA Y TRANSFERENCIA DE LA SUPERIORIDAD GENÉTICA DE LAS PLANTAS

Para esta actividad se ha reportado en granadilla como métodos de selección los cruzamientos y los injertos. En ambas metodologías se ha tenido en cuenta el comportamiento fisiológico de las plantas frente a estreses bióticos; es decir, para saber con qué planta se debe cruzar o cuál se debe usar como patrón en el injerto se ha establecido el grado de tolerancia a alguno de los patógenos que afectan el cultivo como se muestra a continuación.

Cruzamientos intraespecíficos e interespecíficos

Los cruzamientos intraespecíficos se realizan con individuos de la misma especie, mientras que los interespecíficos entre diferentes especies. Los primeros se realizan entre poblaciones silvestres y cultivadas con el propósito de enriquecer el acervo génico de la población y ganar alelos que se hayan perdido en los procesos de selección de

los cultivos (Wratt y Smith, 1983). En el cultivo de granadilla al ser un cultivo reciente y parcialmente domesticado, sus cruzamientos se han realizado entre poblaciones silvestres procedentes de diferentes partes del país.

Los cruzamientos interespecíficos tienen dos principales propósitos, primero la obtención de nuevas variedades ya que como producto de la hibridación se logran genotipos intermedios entre ambas especies, esto ha venido ocurriendo de manera natural entre muchas de las passifloras (Snow y MacDougal, 1993). Y segundo, se puede dar origen a una variedad resistente o tolerante frente a algún factor biótico o abiótico, y para recuperar las características del cultivo se realizan retrocruzas hacia el parental de interés. Para la realización de los cruzamientos interespecíficos se ha reportado que en las passifloras se presentan mecanismos de autoincompatibilidad y autocompatibilidad. En las especies autoincompatibles como la granadilla, se presentan barreras enzimáticas que no permiten la autofecundación, por lo cual estos mecanismos impiden algunos cruzamientos interespecíficos (Kishore *et al.*, 2010).

En algunos casos las barreras enzimáticas actúan a nivel precigótico, por lo cual no hay formación de descendencia una vez que se realiza el cruce, éste es eliminado en las etapas iniciales del desarrollo embrionario. Mientras que en otros casos las barreras actúan a nivel poscigótico implicando la formación de un fruto, pero este no produce semillas o éstas no son viables (Angel *et al.*, 2011).

En estudios de hibridación realizados por Arias (2012), se determinó una baja compatibilidad de *P. ligularis* con otras passifloras como: *P. edulis* f. *flavicarpa* (Maracuya), *P. edulis* f. *edulis* (gulupa), *P. maliformis* (Cholupa), *P. manicata* y *P. tarminiana* (curuba india), encontrando que se desarrollaron frutos pero fueron abortados en estadios iniciales del desarrollo. Mientras que la incompatibilidad es mayor entre *P. ligularis* con las passifloras: *P. caerulea*, *P. alata*, *P. cincinnata*, *P. mucronata*, *P. vitifolia* y *P. foetida* y por lo tanto no hubo formación de fruto.

Las flores de la granadilla aseguran que su reproducción sea alógama (Snow y MacDougal, 1993) presentando barreras temporales y estructurales; la maduración de las estructuras femeninas ocurre mientras

aún no hay liberación del polen en las anteras (temporal), y adicionalmente las anteras están distantes del estigma que aunque receptivo permanece erecto con relación a las anteras (estructural), este estado fenológico es conocido como flor femenina con hercogamia. En un siguiente estado fenológico, el estigma se curva pero no tiene contacto con las anteras, las cuales permanecen giradas hacia la parte interna de la flor evitando la autopolinización, el polen es viable pero aún no se abren las anteras, la flor permanece principalmente femenina y en una última etapa fenológica, las anteras entran en contacto con el estigma, el polen está maduro y es de color amarillo, la planta tiene estructuras femeninas y masculinas maduras, pero las barreras enzimáticas impiden que se autofecunde, confirmando la alogamia en la especie (Figura 1).

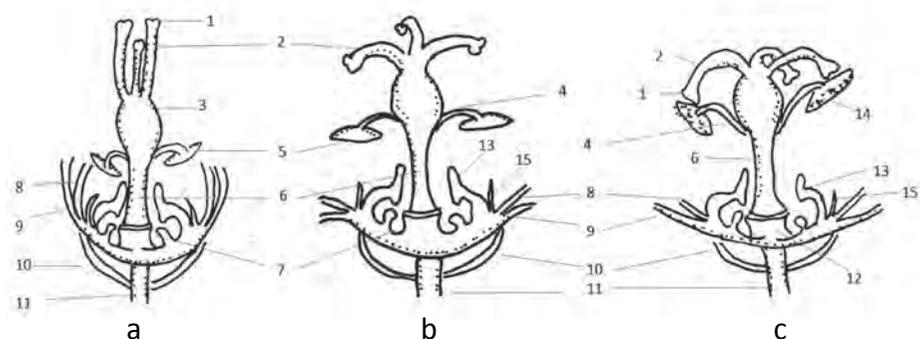


Figura 1. Flor de granadilla en diferentes estados fenológicos a) estigma erecto y anteras sin liberación de polen, b) Estigma curvado, anteras giradas sin liberación de polen y c) Estigma curvado, anteras contiguas al estigma y con liberación de polen. 1) Estigma, 2) Estilo, 3) Ovario, 4) Filamento que sostiene la antera, 5) Antera, 6) Androginóforo, 7) Nectario floral, 8) Pétalo, 9) Sépalo, 10) Bráctea, 11) Pedúnculo, 12) Pedicelo, 13) Opérculo de acceso a nectarios, 14) Polen y 15) Corona. Figura de Nohra Rodríguez-Castillo.

Teniendo en cuenta lo anterior, deben emplearse como parentales femeninos: botones florales en los cuales aún no se haya presentado la polinización, lo cual se asegura cuando el botón está cerrado, las brácteas y sépalos permanecen fusionados, pero el estigma ya es receptivo (Figura 2). Para realizar el procedimiento (Figura 2) se debe tener en

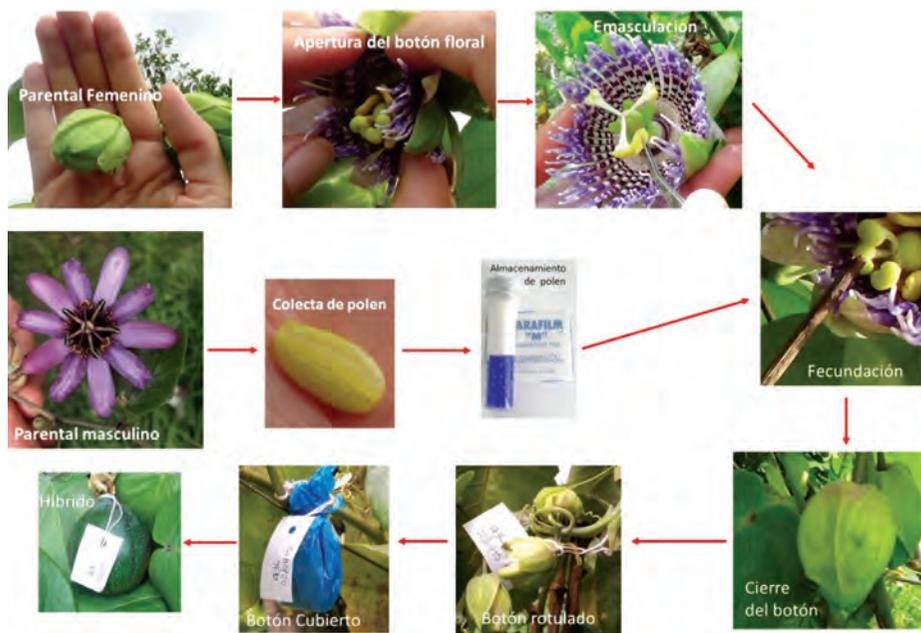


Figura 2. Cruzamiento interespecífico entre *P. ligularis* y *Passiflora chelidonea*. Fotografías tomadas por Nohra Rodríguez-Castillo.

cuenta abrir el botón floral con cuidado, sin girar el pedúnculo ya que se pueden romper los haces vasculares y se dañaría el botón.

Como parental masculino se emplean flores maduras de las cuales se colecta el polen, este puede almacenarse en recipientes de vidrio con sílica gel y sellados con parafilm y de esta manera se pueden almacenar hasta por dos meses en nevera a 3°C. Lo ideal es realizar el cruzamiento inmediatamente, para asegurar que no se ha reducido la viabilidad del polen. Esta condición implicaría tener los procesos de floración de ambas especies sincronizados para poder hacer cruzamientos directos de granadilla (♀) x granadilla de quijos (♂), y cruzamientos recíprocos granadilla de quijos (♀) x granadilla (♂). Con el polen colectado se realiza la fecundación con ayuda de un pincel o un palillo. Una vez realizada la fecundación se cierra nuevamente el botón floral para mantener un microclima estable y la protección adecuada para favorecer la fecundación. Finalmente el botón se rotula, teniendo en cuenta la fecha y el parental masculino empleado, y se cubre con una bolsa plástica de color azul (Figura 2), que actúa como protector contra los insectos que pueden

llegar a parasitar los botones florales como es el caso de *Dasiops* sp. o la mosca del botón floral. Los cruzamientos se realizan preferiblemente en las horas de la mañana cuando la radiación solar es menor y las tasas de evotranspiración son bajas. Los botones florales aledaños al que se polinizó, deben eliminarse para que se invierta una mayor energía en el desarrollo del botón floral de interés.

Una vez logrados los frutos los programas de mejoramiento dependen de la cantidad de semilla obtenida, de su viabilidad y de las características fisiológicas. El mejor tratamiento para conservar las semillas consiste en dejarlas secar en cámaras de secado con sílica gel o de flujo continuo de aire, para posteriormente almacenarlas en bolsas metalizadas que son selladas al vacío y mantenidas a temperaturas entre 0° y -20°C. Estas condiciones mantienen buenos índices de viabilidad cercanos al 80% y permiten el almacenamiento hasta por 20 años.

El cruce que se propone en este documento es el cruce directo y recíproco de *P. ligularis* x *P. popenovii* (Granadilla de quijos) (Figura 3).



Figura 3. *Passiflora popenovii* (Granadilla de quijos). a) Fruto, b) Hábito trepador de la planta y c) Corte longitudinal del fruto. Fotografías tomadas por Nohra Rodríguez-Castillo.

Esta especie silvestre, requiere condiciones ambientales semejantes a los de la granadilla (Tabla 1), y calidad nutricional semejante (Tabla 2), presenta un pericarpio y mesocarpio más gruesos lo cual podría ser útil para procesos de poscosecha y transporte, además de posible tolerancia a fitopatógenos por ser una especie netamente silvestre.

Estos cruzamientos podrían llevar al desarrollo de nuevas variedades así como al mejoramiento de las mismas.

Tabla 1. Factores ambientales de los cultivos de *P. ligularis* y *P. popenovii*. (Valores tomados de Eljach, 2009).

FACTOR AMBIENTAL	<i>P. ligularis</i>	<i>P. popenovii</i>
Altura (msnm)	1500-2200	1800
Humedad relativa (%)	75-85	79
Temperatura (°C)	16-24	18-22
Precipitación anual (mm)	1500	1850
Horas día (horas)	5-7	7

Tabla 2. Valores nutricionales de *P. ligularis* y *P. popenovii* (Valores tomados de Eljach, 2009).

VALORES NUTRICIONALES (100g de pulpa)	<i>P. ligularis</i>	<i>P. popenovii</i>
Humedad (%)	86,5	88,5
Proteína (g)	1,1	0,898
Cenizas (g)	0,96	0,916
Lípidos (g)	0,097	0,086
Fibra cruda(g)	0,289	0,221
Carbohidratos (g)	11,1	9,91
Calcio (g)	7	7,32
Hierro (g)	0,8	1,27
Sodio (g)	5	5,21
Potasio (g)	63	61,6
Fósforo (g)	31,76	26,2
Ácido ascórbico (g)	20,48	17,33

Estos cruzamientos artificiales también se pueden emplear para favorecer el proceso de fructificación, para lo cual se realizan polinizaciones manuales debido a que las poblaciones de los polinizadores naturales, principalmente los abejorros de los géneros *Xylocopa* sp. y *Epicharis* sp. (Franco *et al.*, 2007) se han reducido por el uso de insecticidas para el control de plagas.

Los cruzamientos constituyen el principal método de mejoramiento empleado en passifloras a nivel mundial, éstos se organizan en ciclos de selección recurrente (Figura 4); avanzando en varios ciclos de selección a fin de fijar las características deseadas y obtener estabilidad e identidad genética en las poblaciones finales. Es importante evaluar cada una de las líneas logradas en los cruzamientos no solo con valoraciones agronómicas sino también ecofisiológicas, a fin de saber cómo está respondiendo la planta a las condiciones ambientales.

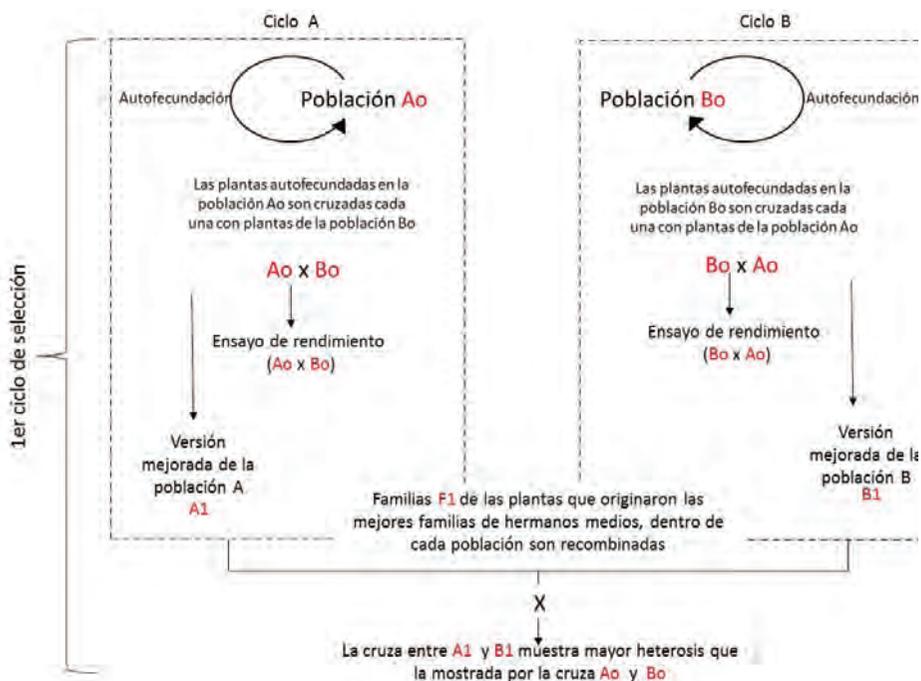


Figura 4. Método de selección recurrente empleado en el mejoramiento de passifloras (Se ilustra un ciclo de selección). Figura de Nohra Rodríguez-Castillo.

Injertos

Los injertos consisten en la fusión de dos plantas de diferente especie y en algunos casos hasta de diferente familia. Esta fusión permite a cada especie permanecer con su identidad, pero conformando un solo individuo. La ventaja de esta técnica consiste en la posibilidad de compartir sustancias químicas a través de los haces vasculares que quedan conectados entre ambas partes, así como también emplear un sistema radical (patrón) que presenta características como resistencia a patógenos del suelo, a factores abióticos como anegamiento, acidez, salinidad, entre otros (Bizkaiko Foru Aldundia, 2015); información procedente de los estudios fisiológicos, patológicos, entre otros, previamente.

Las partes de un injerto denominadas copa (parte superior) o patrón (parte basal) deben ser compatibles, estar completamente sanas, los haces vasculares de ambas especies deben entrar en contacto, ambos deben estar en estado vegetativo, y se deben eliminar los brotes del patrón y solo permitir el desarrollo de la copa (Calderón, 1987).

En las passifloras se han empleado principalmente el injerto en hendidura (Figura 5) que consiste en cortar horizontalmente la planta que se va a emplear como patrón, este debe ser lo más grueso posible para que se facilite y promueva el sostén y la adhesión de los tejidos. En el centro del patrón se realiza un corte en "V" con ayuda de una navaja. Una vez realizado, sobre este corte se adhiere la planta que se va a emplear como copa (Teskey, 1998).

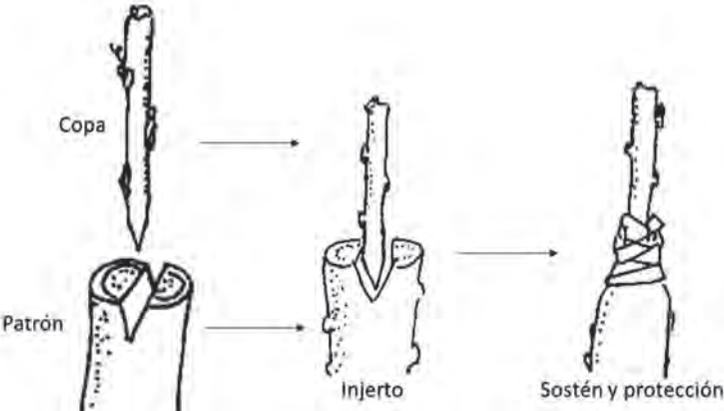


Figura 5. Injerto en hendidura en pasifloras. Figura de Nohra Rodríguez-Castillo.

En la planta usada como copa se deben retirar todas las ramas dejando solo las yemas, aproximadamente tres, y su extremo basal o de contacto se debe cortar en forma de bisel o en “V” al igual que el patrón, a fin de incrementar la superficie de contacto de los haces vasculares entre ambas especies.

Finalmente, se adhiere con una buena cantidad de cinta parafinada o con un elástico que permita fusionar firmemente las dos especies. Se monitorea que el injerto haya quedado bien hecho y que continúen creciendo las ramas de la copa o injerto, y podando las del patrón. El limitante de esta técnica es el costo de la mano de obra para realizar este procedimiento en una finca de grandes extensiones, teniendo en cuenta que el injerto sólo durará lo que dure el cultivo.

En el caso de la granadilla se han elaborado injertos con cholupa (*Passiflora maliformis*), ya que esta especie silvestre es más tolerante a la afección por hongos fitopatógenos presente en el suelo, causantes de la Marchitez vascular o fusariosis (*Fusarium oxysporum*) y la “Secadera” o pudrición café del tallo (*Haematonectria haematococca* = *Fusarium solani*) (Guerrero y Hoyos-Carvajal, 2011; García *et al*, 2007).

REFERENCIAS

ACQUAAH, G. (2007). *Principles of Plant Genetics and Breeding*. Blackwell Publishing. USA.

ÁNGEL, C; NATES G; OSPINA, R.; MELO, A; AMAYA, M. (2011). Biología Floral y Reproductiva de la Gulupa *Passiflora edulis* Sims f. *edulis*. *Caldasia* 33(2): pp. 433-451.

ARIAS, J.C. (2012). *Biología reproductiva del maracuyá e hibridación interespecífica como estrategia para el mejoramiento genético (Passiflora edulis f. flavicarpa Degener)*. Tesis de pregrado en ingeniería agronómica. Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Programa Agronomía Manizales.

BERNAL, N.; OCAMPO, J.; HERNÁNDEZ, J. (2014). Caracterización y análisis de la variabilidad genética de la granadilla, *Passiflora ligularis* Juss en Colombia empleando marcadores microsatélites. *Revista Brasileira de fruticultura*. SP, 36 (3): pp. 586-597.

BIZKAIKO FORU ALDUNDIA. (2015). Injertos en frutales. Consultado en abril de 2015 en http://www.bizkaia.net/nekazaritza/agricultura/boletines/ca_injertos.pdf.

CALDERÓN, A.E. (1987). *Fruticultura General*. Limusa. México. 763 p.

CASIERRA, R.; ROA, H. (2006). Efecto del déficit hídrico moderado en el suelo sobre el crecimiento y distribución de materia seca en granadilla (*Passiflora ligularis* JUSS). *Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica* 9 (2): 169-180

CEBALLOS, H. (1998). *Genética cuantitativa y fitomejoramiento*. Universidad Nacional de Colombia- Palmira. 105p.

CHITTARANJAN, K. (2011). *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources: Tropical and Subtropicals fruits*. Clemson University. Springer. 260p

CROCHEMORE, M.; H. MOLINARI H.; COLAUTO N. (2003). Caracterização agromorfológica do maracujazeiro (*Passiflora* spp.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, SP (25); pp. 5-10.

ELJACH, S. (2009). *Etnobotánica de la granadilla de quijos (Passiflora popenovii) en el Municipio de Timbío, departamento del Cauca, Colombia*. Tesis pregrado. Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Ciencias. Biología.

FERNÁNDEZ, G.; MELGAREJO L.M.; RODRÍGUEZ, N.A. (2014). Algunos aspectos de la fotosíntesis y potenciales hídricos de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) en estado reproductivo en el Huila, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 8 (2): pp. 206-216

FISHER, G.; CASIERRA-POSADA, F; PIEDRAHITA, W. (2009). Ecofisiología de las especies pasifloráceas cultivadas en Colombia. En: Miranda, D., G. Fischer, C. Carranza, S. Magnitskiy, F. Casierra-Posada, W. Piedrahíta y L.E. Flórez (eds.) (2009). *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloras en Colombia. Maracuya, granadilla, Gulupa y curuba*. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá.

FRANCO, Y.; ALZATE, F.; PELÁEZ, J.M. (2007). Factores ambientales incidentes en la población de *Xylocopa* y su efecto en el cultivo de

granadilla en tres veredas del municipio de Guarne (Colombia). *Revista Universidad Católica de Oriente, Medellín*, (24): pp. 73-88.

FREY, K.J. (1971). Improving crop yields through plant breeding. *Journal Paper no. J-6693 of the Iowa Agriculture and Home Economy. Iowa. Project 1752*: p. 24.

GARCÍA, J.; FLORIANO, J.; VERA, L.F. (2007). *Enfermedades y plagas del cultivo de granadilla (Passiflora ligularis) en el departamento del Huila*. Centro de Investigación Nataima, El Espinal, Tolima, CORPOICA, Colombia. p. 37.

GEPTS, P.A. (2002). Comparison between crop domestication, classical plant breeding and genetic engineering. *Crop Science*. 42: pp. 1780-1790.

GUERRERO, E; HOYOS-CARVAJAL, L. (2011). *Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) con énfasis en el manejo integrado de plagas y enfermedades de gulupa (Passiflora edulis Sims.)*. Bogotá, D. C. MADR, Asohofrucol, Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía.

HOFFMANN, O.; AÑEZ, M.; GONZÁLEZ, R. (2012). *Zonificación edafoclimática de seis frutales en el estado Portuguesa*, Informe técnico UNELLES. Los Llanos Univ. Nacional Experimental «Ezequiel Zamora», Guanare (Venezuela). Vicerectorado de Producción Agrícola.

KISHORE, K.; PATHAK, K.A.; SHUKLA, R.; BHARALI, R. (2010). Studies on floral biology of passion fruit (*Passiflora* spp.). *Pakistan Journal of Botany* (42): pp. 21-29.

MARTÍNEZ, J.; GARCÍA, S.; SANABRIA, R. (2009). Zonificación de las especies pasifloráceas comerciales en Colombia. En: Miranda, D., G. Fischer, C. Carranza, S. Magnitskiy, F. Casierra-Posada, W. Piedrahíta y L.E. Flórez (eds.) (2009). *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloras en Colombia. Maracuya, granadilla, Gulupa y curuba*. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá.

MEDINA, E. (1977). *Introducción a la ecofisiología vegetal*. Monografía. Centro de ecología. Instituto venezolano de investigaciones científicas. Caracas- Venezuela. Programa Regional de Desarrollo Cien-

tífico y Tecnológico Departamento de Asuntos Científicos Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos. Washington, D.C.

OCAMPO, J. (2007). *Study of the genetic diversity of genus Passiflora L. and its distribution in Colombia*. Thesis Ph.D., Centre International d'Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques - SupAgro Montpellier (France).

OCAMPO, J.; MARÍN, C.; POSADA, P.; LÓPEZ, N.; SOLANO, R. (2012). Establecimiento y zonas productoras del cultivo de gulupa. Capítulo 6. En: Ocampo, J.; Wyckhuys, K. 2012 (editores), *Tecnología para el cultivo de la gulupa en Colombia*. Centro de biosistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, Centro Internacional de Agricultura tropical-CIAT y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. República de Colombia.

OCAMPO, J.; URREA, R.; WYCKHUYS, K.; SALAZAR, M. (2013). Aprovechamiento de la variabilidad genética del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) como base para un programa de fitomejoramiento en Colombia. *Acta Agronómica*. 62(4): pp. 352-360.

ORTIZ, D.; BOHÓRQUEZ, A.; DUQUE, M.C.; TOHME, J.; CUELLAR, D.; MOSQUERA, T. (2012). Evaluating purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*) genetic variability in individuals from commercial plantations in Colombia. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 59(6): pp. 1089-1099.

PÉREZ-MARTÍNEZ, L.; MELGAREJO, L.M. (2015). Photosynthetic performance and leaf water potential of gulupa (*Passiflora edulis* Sims, *Passifloraceae*) in the reproductive phase in three locations in the Colombian Andes. *Acta Biológica Colombiana*. 20 (1): pp. 83-194.

PÉREZ-MARTÍNEZ, L.; MELGAREJO, L.M. (2012). Caracterización ecofisiológica de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) bajo tres condiciones ambientales en el departamento de Cundinamarca. En: Melgarejo L.M., editora. *Ecofisiología del cultivo de gulupa (Passiflora edulis Sims)*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. pp. 11-32.

RICHARDS, A.J. (1997). *Plant Breeding Systems*. 2da. Edition. Chapman y Hall. NY., Estados Unidos.

RIVERA, B.; MIRANDA, D.; ÁVILA, L.; NIETO, A.M. (2002). *Aspectos ecofisiológicos del cultivo de la granadilla*. Capítulo III. Manejo integral

del cultivo de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.). Litoas Editorial, Manizales, Colombia. pp. 9-15.

SNOW, N.; MACDOUGAL, J.M. (1993). New chromosome reports in *Passiflora* (*Passifloraceae*). *Systematic Botany*. 18(2): pp. 261-273.

SOUZA, A. (2003). *Aspectos fenológicos e de produção de maracujá-granadilla (Passiflora ligularis Juss) nas condições da Serra da Cantareira-SP*. Tesis de posgrado. Universidade Estadual Paulista (UNESP). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

TANGARIFE, M.; CAETANO, C.; POSADA C. (2009). Caracterización morfológica de especies del genero pasiflora de Colombia. *Acta agronómica*. 58 (3): pp. 117-125.

TESKEY, B.J.E. (1998). *Orchard Grafting*. Government of Ontario. Canadá.

VILLACIS, L.; VEGA, J.; GRUM, M.; COPPENS D'EECKENBRUGGE, G. (1998). Morphological characterization of Andean passifloras (*Passiflora* spp.) from Ecuador. *Plant Genetic Resources*. 115: pp. 51-55

WRATT, G.S.; SMITH, H.C. (1983). *Plant breeding in New Zeland*. The Department of scientific and industrial research. Ed. Butterworths of New Zeland.



CAPÍTULO 7

BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS (BPA) EN EL CULTIVO DE GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss)

Adalberto Rodríguez Carlosama^{1*},
*Adriana Katherine Rodríguez-León*²

¹ Adalberto Rodríguez Carlosama, adalberto.rodriguez@cepass.org, Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras de Colombia (CEPASS), Ingeniero Agrónomo. Estudiante de maestría en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia.

² Adriana Katherine Rodríguez León, akrodriguez1@unal.edu.co, Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Departamento de Biología – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Ingeniera Agrónoma.

* Autor para correspondencia.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el consumo de frutas y hortalizas se viene incentivando por su gran aporte de vitaminas, minerales y especialmente como actividad antioxidante (Sagarpa, 2002). Su consumo habitual trae gran beneficio a la salud humana, razón por la cual los agricultores deben ofrecer productos con altos estándares de calidad e inocuidad, que al consumirlos no ocasionen perjuicios a la salud y que en el proceso de producción se afecte lo menos posible el medio ambiente (suelo, agua, aire, flora y fauna) (Asohofrucol, 2011). De igual manera se debe propender por brindar buenas condiciones laborales a los trabajadores de la finca y sensibilizarlos en su gran responsabilidad en este proceso (FAO 2007; MADR y CCI, 2009).

La inocuidad alimentaria, que se refiere a las condiciones y prácticas que preservan la calidad de los alimentos para prevenir la contaminación y las enfermedades transmitidas por el consumo de los mismos, puede verse comprometida por: la presencia de microorganismos patógenos provenientes de las aguas para riego y lavado, residuos fecales al manipular las frutas, la falta de prácticas de desinfección, la higiene de los trabajadores, el inadecuado almacenamiento y transporte, entre otros (SAGARPA, 2002). De igual manera el control fitosanitario acarrea el uso de productos orgánicos y de síntesis química que bajo un inadecuado manejo afectan la inocuidad del producto, generando consigo una limitante en el ingreso y las exigencias de los mercados (Reyes *et al.*, 2006; Monroy y Reyes, 2013).

Actualmente las frutas tropicales y exóticas tienen participación constante en el mercado mundial de frutas, lo que representa oportunidades comerciales ciertas y crecientes para países como Colombia, que tienen enorme potencial productivo (Parra *et al.*, 2012; Parra *et al.*, 2011; Reyes *et al.*, 2006).

Teniendo en cuenta las exigencias del mercado y el gran potencial que tienen las frutas tropicales producidas en Colombia, se deben adoptar lineamientos integrales de sistemas de prevención de riesgos y obtener productos que cumplan con las normas de calidad e inocuidad. Estos lineamientos para el caso de Colombia, se encuentran enmarcados dentro de la resolución ICA 4174 del 06 de noviembre de 2009, por la cual se reglamenta la certificación de Buenas Prácticas Agrícolas en la producción primaria de frutas y vegetales para consumo en fresco y que integran procedimientos y puntos de control durante las diversas etapas involucradas desde la producción hasta el consumidor final (ICA, 2009).

Es así, que en el marco del proyecto “Caracterización ecofisiológica de granadilla bajo dos condiciones ambientales en el departamento del Huila” y con el apoyo de productores del Municipio de Santa María Huila, se realizó un seguimiento al proceso de implementación de la Buenas Prácticas Agrícolas en la vereda Mirador, finca “Yerbabuena”, de acuerdo a la normatividad ICA 4174, donde se pretende sensibilizar a los productores de granadilla en las ventajas de la certificación, de tal manera que la consideren como un proceso que complemente y haga más eficiente su actividad como fruticultor, propendiendo en proteger la salud humana, mitigar el impacto ambiental, realizar uso racional de los recursos, lo que conllevará a una mayor rentabilidad y la oferta de un producto acorde a las exigencias del mercado.

DEFINICIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS Y SU IMPORTANCIA

Conjunto de prácticas para el mejoramiento de los métodos convencionales de producción agrícola, tendientes a reducir los riesgos biológicos, físicos y químicos asociados a la producción, transporte y comercialización de alimentos para que sean seguros para el consumo humano con el menor impacto sobre el medio ambiente y la salud de los trabajadores (FAO, 2007; ICA, 2009 y Asohofrucol, 2011; Monroy y Reyes, 2013).

Sin embargo, las BPA no se resumen a cumplir una lista de chequeo, sino que giran en torno a crear una cultura de HACER LAS COSAS BIEN Y DAR PRUEBA DE ELLO (MADR y CCI, 2009).

PREVENCIÓN: Es tal vez la palabra que puede representar las BPA en su conjunto, pues permite definir estrategias para reducir los riesgos de contaminación de las frutas, que al ser manipuladas de manera inadecuada por personal de la finca demerita su calidad e inocuidad (Asohofrucol, 2011).

“Hablar de Buenas Prácticas Agrícolas o BPA es un reto, pero así mismo una gran oportunidad de negocio, que permite a los pequeños productores entrar a mercados que tienen un mayor interés por el cuidado del medio ambiente y la salud humana” (Fundación Manuel Mejía, 2010).

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LAS BPA

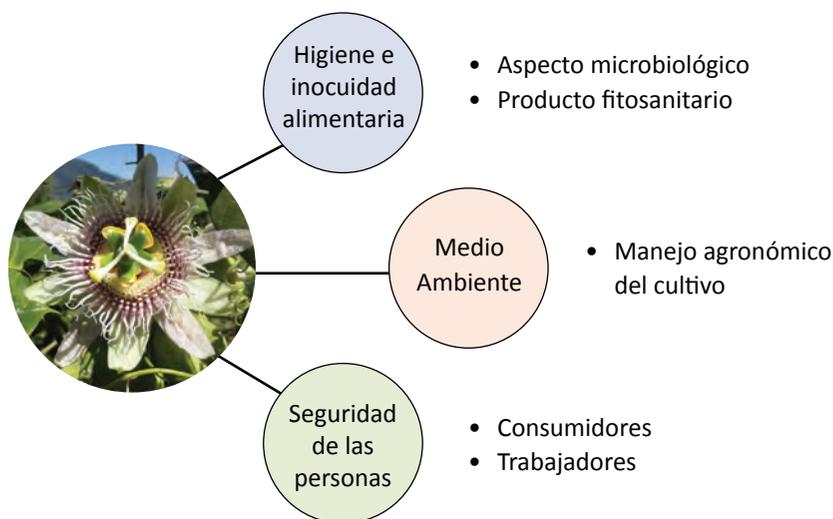


Figura 1. Principios fundamentales de las BPA. Fotografía tomada por Adalberto Rodríguez-Carlosama.

Los principios fundamentales de las BPA se presentan en la figura 1, y se explican brevemente:

La Higiene y la inocuidad alimentaria: Producción de alimentos sanos y aptos para el consumo, libres de contaminantes (biológicos, físicos y químicos), para mejorar la nutrición y la alimentación (Asohofrucol, 2011; MADR y CCI, 2009).

La protección del ambiente: Verificación del uso y manejo adecuado de productos fitosanitarios y fertilizantes y así evitar la contaminación del aire, suelo y el agua; además se protege la biodiversidad, mientras se minimiza el impacto al medio ambiente generado en la producción agrícola (Asohofrucol, 2011; MADR y CCI, 2009).

La seguridad de las personas: Busca proteger tanto a quien cultiva como al consumidor final de las frutas u hortalizas. Se debe brindar las condiciones idóneas para desarrollar las actividades en el lugar de trabajo, teniendo en cuenta todos los aspectos relacionados con el bienestar, la higiene y la salud de los trabajadores agrícolas. Asimismo, garantiza a los consumidores finales el acceso a alimentos inocuos, es decir, que no afecten su salud (Asohofrucol, 2011; MADR y CCI, 2009).

Personal capacitado: Mantener la higiene y las BPA es responsabilidad de todos los que están involucrados en el proceso, desde la finca hasta el consumidor final. Se debe contar con personal entrenado, que entiendan la importancia de ofertar un producto sano, por lo que no es suficiente tener placas de señalización como “lavarse las manos” o “no fumar”, se debe asignar personas que sean las responsables de vigilar y hacer que se mantengan las prácticas de higiene y capacitar continuamente a los trabajadores (Sagarpa, 2002).

Un programa de BPA es adecuado cuando tanto “Patrón” como trabajadores realizan esfuerzos conjuntos para dar cumplimiento a las prácticas de higiene y logran que las actividades sean parte natural e integral de las operaciones diarias de la finca, entendiendo y disfrutando de las bondades de este proceso (Sagarpa, 2002).

MANEJO DEL CULTIVO

Moscas de las frutas y otras plagas: El principal problema fitosanitario de la producción de frutas en Colombia es el ataque permanente de las moscas de las frutas, principalmente de especies relacionadas con el género *Anastrepha* spp. y la especie *Ceratitis capitata* (Conpes 3514, 2008), entre otros.

De igual manera se encuentran otras plagas que vienen afectando los cultivos y que su manejo se concentra en la aplicación de agroquímicos, generando resistencia a las moléculas usadas y desestímulo al productor de esta actividad (Zuleta *et al.*, 2011).

Material vegetal de siembra: Otro de los principales obstáculos fitosanitarios para la producción es la calidad del material de propagación (Conpes 3514, 2008). En passifloras, Colombia no cuenta con semillas certificadas que garanticen la calidad genética y fitosanitaria que sea producida con los requisitos mínimos exigidos por el ICA (Cepass, 2013). Como consecuencia del uso de un material de mala calidad se presenta diseminación de plagas y las plantaciones a partir de estas semillas no son homogéneas, existe baja productividad y calidad del producto (Conpes 3514, 2008).

Asistencia Técnica: Aunque existen avances relativos en programas de manejo integrado de plagas para ciertas especies frutícolas no existe una cobertura significativa de un sistema de asistencia técnica, principalmente a medianos y pequeños productores de frutas en Colombia (Conpes 3514, 2008). Para el caso de la granadilla, son pocos los profesionales expertos en el manejo agronómico del cultivo y no se brinda un acompañamiento especializado, lo que también limita el potencial de este cultivo.

Conocimiento parcial sobre la inocuidad de las frutas: No se cuenta con líneas base para análisis de residuos de plaguicidas, metales pesados y microorganismos patógenos, que permitan la evaluación y caracterización de la contaminación química y biológica, con el fin de definir los planes de reducción de riesgos (Conpes 3514, 2008).

Oferta reducida de plaguicidas: Son mínimos los productos que cuentan con registro de uso para cultivos como granadilla o passifloras, lo cual conlleva al uso de productos sin aval técnico requerido y sin la autorización por parte del ICA (Conpes 3514, 2008). De esta manera es difícil para los técnicos y productores el manejo de dosis que no excedan los Límites Máximos de Residualidad (LMR) permitidos por los mercados, especialmente de exportación.

Visión empresarial: A pesar de las dificultades técnicas que existen para la certificación de predios en BPA, en la región se evidencia una

escasa visión empresarial por parte de los productores, la mayoría trabajan de manera individual y las asociaciones existentes no se han fortalecido a nivel socio-empresarial. Por tanto, la comercialización se hace de manera informal a través de agentes intermediarios, quienes no exigen predios certificados por el ICA. Las empresas exportadoras o almacenes de cadena presentes en la región no logran la firma de contratos a largo plazo con proveedores de granadilla, perdiéndose la oportunidad de lograr mejores precios por el producto.

VENTAJAS DE LAS BPA

Como productores de granadilla debemos analizar los beneficios que conlleva el implementar un protocolo de Buenas Prácticas Agrícolas, incluyendo menores costos de operación.

- Mayor competitividad, al permitir al agroempresario diferenciar la granadilla producida en la finca de las demás (valor agregado), y mayores ingresos al ofertar un producto de mejor calidad que llegará fácilmente a nuevos mercados (MADR y CCI, 2009).
- Seguir un programa de sanidad e higiene, ayuda a incrementar la vida de anaquel del producto, reduce las devoluciones y quejas, y hace de nuestro producto un bien más saludable; la eficiencia tanto del equipo, como de los trabajadores se incrementa, se protege la salud de los operarios y del consumidor (Sagarpa, 2002).
- Eficiencia en la gestión administrativa (control de personal, manejo de insumos, instalaciones, etc.), aumentando la competitividad de la unidad productiva o de la organización de productores.
- Se genera un sentido de pertenencia al comprometer al personal en las labores, a través de la capacitación y dignificación del trabajo.
- Con el diligenciamiento de registros se lleva un orden de las actividades programadas y ejecutadas logrando obtener indicadores para la evaluación y toma de decisiones que permiten un mejoramiento continuo.
- Permite una agricultura de conservación de los recursos naturales para la continuidad de la actividad por parte de las futuras generaciones (Asohofrucol, 2011).

MANEJO INTEGRADO DEL CULTIVO DE GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss)

El éxito de un sistema productivo está integrado por diferentes variables que buscan obtener la máxima producción, la eficiencia en los recursos invertidos y la selección del sitio adecuado para su implementación (Castro, 2009). En otras palabras, la calidad, el rendimiento y la eficiencia están enmarcados en la relación (Figura 2).

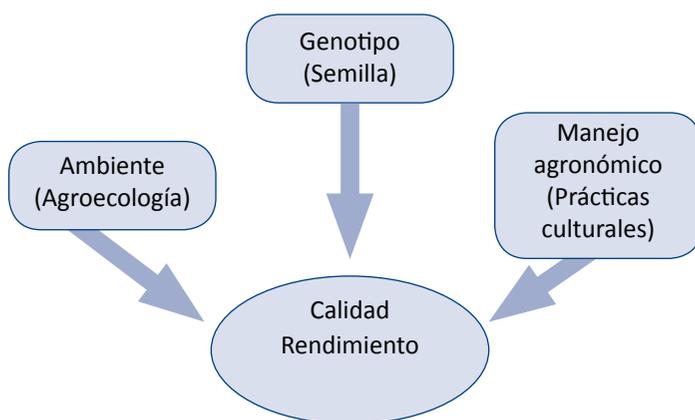


Figura 2: Interacción (Genotipo-Ambiente-Manejo agronómico) que determinan la calidad y rendimiento del sistema productivo.

Para esto, se debe partir de una adecuada selección del sitio de siembra, un material semilla de alta calidad y un excelente manejo agronómico; de tal manera que una vez se cumplen estos parámetros, se logra una mayor eficiencia de los recursos, rentabilidad y sobre todo un menor impacto ambiental, que trae consigo la sostenibilidad de la cadena productiva en las regiones (Zuleta, *et al.*, 2011; Miranda, 2009; Rivera *et al.*, 2002).

CONDICIONES AGROECOLÓGICAS: Tal como se mencionó anteriormente, la selección del sitio de siembra es un aspecto fundamental para que el cultivo exprese todo su potencial productivo; de esta manera en la tabla 1 se presenta un resumen de la demanda agroecológica del cultivo de granadilla en Colombia:

Tabla 1. Demanda agroecológica del cultivo de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en Colombia.

FACTOR	RANGO	OBSERVACIONES
ALTITUD SOBRE EL NIVEL DEL MAR	1.700-2.100 msnm	Por debajo de 1.700 metros aumentan los problemas de plagas, y disminuyen el tamaño de frutos; por encima de 2.100 aumentan problemas fungosos disminuyendo volumen y números de cosechas por año.
TEMPERATURA	18 a 20 °C	Temperaturas más bajas conllevan a una mayor durabilidad de la planta, pero con un crecimiento lento y baja producción. Temperaturas superiores, aumentan el estrés hídrico e incrementan requerimientos nutricionales. En localidades como Santa María y La Argentina, se evidenció un adecuado desarrollo de los cultivos bajo temperaturas promedio de 19,2°C. (Capítulos 1 y 2 del presente libro).
LUMINOSIDAD	6 horas de brillo solar	Cuando se siembran en zonas con menor brillo solar, la coloración de la corteza de los frutos es pálida y pierde atracción en el mercado.
PRECIPITACIÓN	1.500-2.000 mm/año	Para una buena floración y formación de frutos de buen tamaño se requiere de periodos de lluvia bien distribuidos. Sin embargo, se hace indispensable la instalación de sistemas de riego, dado las épocas prolongadas de época seca que generaron abortos florales y se vio comprometido el tamaño del fruto en las fincas objeto de estudio (Capítulos 1 y 2 del presente libro).
VIENTOS	Menor de 30 km por hora	Vientos mayores además de ocasionar resecaimiento del follaje, pueden ocasionar caída de sistemas de tutorado.
HUMEDAD RELATIVA	70-80%	Zonas de mayor humedad, aumentan los problemas fungosos, y zonas de menor humedad conllevan a abortos florales. En el periodo de estudio, se registraron rangos de humedad relativa diurna de 73 a 84% que permiten un buen desarrollo de los cultivos. Sin embargo, cultivos donde no se realizan podas oportunas y deshojes se genera un microclima que favorece el desarrollo de enfermedades e incluso algunas plagas como las moscas del ovario (resultados presente libro).

FACTOR	RANGO	OBSERVACIONES
pH DEL SUELO	6,0 a 6,5	De acuerdo al resultado de análisis de suelo se deberá encalar cuando el pH es inferior.
TOPOGRAFÍA	Sin relieves	La granadilla se desarrolla tanto en terrenos planos como pendientes. Se recomiendan terrenos con inclinaciones ligeras y buen drenaje.
SUELOS	Franco	No soporta suelos encharcables y pesados, se requieren suelos ricos en materia orgánica, con buen drenaje y aireación.
RADICACIÓN FOTOSINTÉTICA-MENTE ACTIVA (PAR)	1.267 a 1.474	Conocida como la cantidad de radiación que es capaz de producir actividad fotosintética en las plantas. En las localidades estudiadas se registraron horas de máxima radiación de 1.265 y 1.474 μmol fotones/ m^2s , que permiten que los cultivos prosperen adecuadamente (Capítulos 1 y 2 del presente libro).

Fuente: Capítulos 1 y 2 del presente libro (2015); Castro (2009); Fischer *et al.* (2009); (2000); Miranda (2009); Rivera *et al.* (2002).

MATERIAL VEGETAL DE SIEMBRA DE ALTA CALIDAD

En el cultivo de granadilla no se cuenta con materiales mejorados genéticamente con tolerancia o resistencia a factores adversos como plagas, enfermedades, salinidad o acidez del suelo, que garanticen altos rendimientos (t/ha/año). Teniendo en cuenta estas demandas tecnológicas, la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Passifloras de Colombia (CEPASS) durante los últimos años ha realizado grandes esfuerzos mediante investigación y validación de protocolos para mejorar la oferta de plantas de alta calidad, en viveros que se encuentran registrados ante el ICA como lo es la Unidad de Propagación Biopass ubicada en el municipio de La Plata, Huila (Figura 3). Por tanto, en el presente documento se dan algunas recomendaciones que los productores de granadilla deben tener en cuenta a la hora de adquirir plántulas para su cultivo.



Figura 3. Plántulas de granadilla propagadas en el vivero Biopass, Municipio de La Plata, Huila. Fotografías tomadas por Adalberto Rodríguez-Carlosama.

Selección de la semilla: Los frutos para extraer las semillas deben tomarse de huertos adultos de la región, que ya se encuentran adaptados a las condiciones agroecológicas. Deben ser plantaciones en plena producción (mayor a 24 meses) donde se puedan seleccionar individuos por características sobresalientes como se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Criterios de selección de materiales élite de granadilla. Elaboró: Cepass, 2015.

CRITERIO	CATEGORÍA	RAZÓN
Producción	Mayor de 15 toneladas	Incidencia sobre los costos unitarios
Grados Brix	14 °Brix	Procesamiento agroindustrial
Perecibilidad	Baja	Vida útil del producto
Tamaño del fruto	Grande >7,5 mm de diámetro transversal	Requerimiento para mercado fresco
Rendimiento de la pulpa	Mayor del 30%	Requerimiento para mercado fresco
Emisión de ramas terciarias	Alto	Mantenimiento de la producción a través del tiempo
Resistencia y/o tolerancia a enfermedades (virosis, fusariosis y roña)	Buena	Incide sobre los rendimientos y costos de producción
Maduración del fruto	Uniforme	Apetecido para mercados en fresco
Coloración	Amarillo - Naranja	Requerimiento para mercado fresco

Una vez identificado el huerto madre para la obtención de las semillas, se seleccionan entre 10 y 15 plantas del interior del cultivo que sean sobresalientes a nivel de producción, fitosanidad y calidad. De cada una de ellas se toman 5 frutos completamente maduros, de tamaño uniforme y libre de daños mecánicos; los cuales se deben transportar en condiciones refrigeradas una nevera de icopor hasta el sitio donde se realizará la extracción de la semilla.

Extracción de la semilla: Esta práctica consiste en lavar muy bien los frutos provenientes de los huertos madre para remover impurezas como plaguicidas o microorganismos y extraer la pulpa del fruto en un recipiente plástico o de vidrio bien lavado. Posteriormente, se debe remover el arilo de la semilla, para lo cual en la actualidad se desarrollan dos procedimientos:

- *Fermentación:* Hasta el momento es la técnica más utilizada y consiste en dejar la pulpa de la fruta (arilo + semilla) en el recipiente entre 24 a 48 horas, con agitación cada 12 horas para que haya una fermentación uniforme, la semilla se lava con agua limpia y se frota con un tamiz o colador hasta remover todo el arilo. La semilla se coloca sobre papel absorbente o periódico en un lugar fresco y a la sombra durante tres días, luego se desinfecta en una solución fungicida bactericida para semillas (Zuleta, 2011; Miranda 2009).
- *Uso de enzimas:* La técnica más recientemente utilizada comprende el uso de una enzima que facilita la separación de la semilla y el arilo. A nivel comercial se conoce como Novozim® 33095, la cual contiene la enzima Pectinoliasa. Por cada 100 g de pulpa se requiere 0,5 ml de producto comercial en 100 ml de agua (Cepass, 2013). Se debe agitar y dejar por dos horas, posteriormente se lava la semilla frotándola con abundante agua hasta remover todo el mucílago. La semilla se coloca sobre papel absorbente o periódico en un lugar fresco y a la sombra durante tres días, luego se desinfecta en una solución fungicida-bactericida (Zuleta, 2011; Miranda, 2009).

Tratamiento de semillas mediante la técnica de la termoterapia: Antes de sembrar la semilla esta debe pasar por cámara climática, con temperatura y humedad relativa constante de 38°C y 85%, respectivamente, durante 72 horas; esto como tratamiento preventivo de virosis y demás hongos y bacterias que afectan al cultivo (Zuleta, 2014).

Protocolo para la elaboración de sustrato para el llenado de bandejas, cubetas o bolsas de polipropileno:

- **Ruta 1.** Mezclar tierra: materia orgánica: tamo: rocas minerales en relación 5:1:2:0,5 esta mezcla debe pasar por el proceso de solarización en húmedo.
- **Ruta 2.** Mezclar turba: fibra de coco: materia orgánica fósil: micorrizas, en relación 45:15:2:2, respectivamente.

Pre-germinación: Las bandejas con el sustrato y la semilla (dos semillas por sitio, alvéolo o cubeta), deben ser introducidas en un cuarto oscuro para inducir la germinación de la semilla; 7 a 8 días después las bandejas con la semilla pre-germinada, son llevadas al invernadero para la fase de endurecimiento, este se logra en un periodo aproximado de 45 días.

Crecimiento y prevención fitosanitaria: El óptimo desarrollo de las plántulas depende de la ejecución de prácticas oportunas de manejo agronómico que las debe realizar una persona con las competencias para dichas labores. En este sentido para la propagación de granadilla se deben desarrollar las siguientes labores:

- *Riego:* Aplicación de riego frecuente, de acuerdo al monitoreo del estado de humedad del suelo o sustrato.
- *Nutrición mineral:* Aplicación de fuentes ricas en fósforo (P) y Nitrógeno (N) a nivel edáfico y complementar con nutrientes secundarios y menores a nivel foliar.
- *Manejo fitosanitario:* Se inicia con la inoculación de productos biológicos que funcionan como antagonistas y repelentes de plagas y enfermedades, de igual manera se aplican inductores de resistencia como EM, fosfitos de K y Ca. Finalmente, de acuerdo al monitoreo se hará uso de moléculas de síntesis química de categorías III o IV (Zuleta, 2014).

Se debe resaltar que el material de siembra se debe adquirir en viveros que cuenten con registro ICA mediante la resolución 3180 (ICA, 2009). De igual manera las labores de preparación del terreno en la finca para la siembra deben realizarse de manera oportuna, esto con el fin de que el sitio definitivo de siembra esté listo una vez las plantas lleguen del vivero. Se debe contar con sistema de riego en el lote para

no depender de las lluvias y así evitar que las plántulas sean sujetas a cualquier tipo de estrés.

Si un productor desea obtener plántulas en su propia finca, debe asegurarse de la procedencia de la semilla, el origen y calidad de los sustratos que se vayan a utilizar, realizar chequeo microbiológico y todas las labores de manejo agronómico y control fitosanitario (Guerrero *et al.*, 2012).

ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO

El establecimiento del cultivo comprende una serie de labores que se deben realizar de acuerdo a los criterios técnicos para el cultivo de granadilla, tal como se relaciona a continuación:

Distancias de siembra: De forma general los principales parámetros a tener en cuenta para determinar la distancia de siembra son el desarrollo foliar y radical del cultivo, el tamaño de la plantación, la fertilidad del suelo, la topografía, la altitud sobre el nivel del mar, la nubosidad y la humedad relativa (Castro, 2009; ICA, 2011).

A mayor altitud, nubosidad, humedad relativa y/o topografía pendiente se deben aumentar las distancias de siembra; pero el rango más recomendable deberá estar entre 5 a 6 metros en cuadro. Dentro de este rango, con unas buenas podas y administración se explota todo el potencial productivo de la planta (Castro, 2009).

Construcción del sistema de tutorado: Se recomienda realizar esta labor previa a la siembra de las plántulas. El sistema más utilizado es el “emparrado”, el cual debe quedar a una altura promedio del suelo de dos (2) metros, permitiendo trabajar cómodamente en su interior. Se deben seleccionar materiales durables ya que el cultivo tiene un ciclo de vida promedio de 5-8 años con un adecuado manejo (SEDAM, 2006).

Ahoyado y siembra: De acuerdo con las condiciones de estructura y textura del suelo, que ojalá sea granular y franca, respectivamente; se realiza un repique a una profundidad entre 20-40 centímetros y una anchura no inferior a 40 centímetros, para poder sembrar la planta, labor que se recomienda hacerla mínimo con un mes de anterioridad

y en lo posible realizarle un proceso de solarización e inoculación de hongos benéficos y adición de materia orgánica (ICA, 2011). Posteriormente, se realiza la siembra de las plántulas, labor en la cual se debe contar con humedad en el suelo, bien sea que coincida con épocas de lluvia o se cuente con un sistema de riego (Castro, 2009; Ocampo y Wyckhuys, 2012).

Manejo de arvenses: La presencia de este tipo de plantas en el cultivo de granadilla generan competencia por espacio y nutrientes, que de alguna manera afectan la producción; sin embargo, las arvenses desempeñan un rol importante en el equilibrio biológico, ya que son hospederas de plagas y enfermedades, protegen el suelo de la radiación directa conservando la humedad y evitando la erosión (Zuleta *et al.*, 2011; Asohofrucol, 2001). En el cultivo de granadilla, se recomienda mantener el espacio del plato libre de malezas y hacer cortes con guadaña en las calles; la aplicación de herbicidas afecta la fauna y flora del suelo y su uso debe obedecer a las recomendaciones técnicas de un profesional (Zuleta *et al.*, 2011).

Podas del cultivo: La granadilla por ser una planta de crecimiento indeterminado puede llegar a medir más de 50 metros. Para evitar esto y con el fin de proporcionarle una arquitectura adecuada a la planta, se deben realizar labores de podas de manera oportuna (Castro, 2009).

Una vez realizada la siembra se debe remover las yemas axilares, de tal manera que se deje un solo tallo principal y no se limite su crecimiento. Cuando la planta sobrepasa los alambres, se corta la parte apical y se induce el rebrote de ramas primarias, de las cuales se dejan de cuatro a seis, dependiendo de la altura, clima y las distancias de siembra (Zuleta *et al.*, 2011). A partir del octavo día del despunte, las yemas vegetativas inician la formación de nuevas ramas primarias (SEDAM, 2006). De forma cuidadosa se seleccionan y disponen equidistantemente sobre el emparrado y cuando cada una de estas tiene una longitud de más o menos 1,5 metros, se vuelven a despuntar, resultando la estructura básica conformada por un tallo y de 4 a 6 ramas primarias o principales, labor que se conoce como poda de formación (Castro, 2009).

Otra labor es la poda de mantenimiento que consiste en eliminar las ramas secas, enfermas, defectuosas, así como hojas afectadas por

hongos e insectos-plaga. Labor que se recomienda realizar después de cada cosecha (Rivera *et al.*, 2002).

Finalmente, se realizan podas de renovación que consisten en eliminar a un metro del tallo principal todas las ramas primarias, secundarias y terciarias. Actividad que se realiza especialmente cuando se evidencia una alta incidencia de problemas fitosanitarios y se hace inmanejable el cultivo. Cinco (5) meses después de realizada esta poda se vuelve a tener cosecha (Miranda, 2009).

Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades MIP: En el manejo oportuno de plagas y enfermedades en el cultivo de granadilla es necesario realizar un monitoreo permanente, esto con el fin de implementar las medidas de prevención o prácticas de manejo que corresponda según sea el caso, con especial preferencia en métodos integrales como las prácticas culturales (físicas) y medidas biológicas (SEDAM, 2006; ICA, 2011; García *et al.*, 2007; capítulo 5 del presente libro).

A continuación se presenta una breve descripción de las principales plagas y enfermedades del cultivo de granadilla (Fusariosis o secadera, Botrytis, Mosca del botón floral y Trips), las cuales vienen generando un alto costo en su manejo e incluso han ocasionado el abandono de regiones productoras. Dicha proliferación de plagas y enfermedades han generado un uso indiscriminado de agroquímicos para su control, incrementando los costos de producción, la contaminación de suelos, las fuentes hídricas, se han presentado casos de intoxicaciones, y sobre todo un desestímulo de esta actividad agrícola, sumada a la oferta de un producto que no cumple las exigencias del consumidor.

En aras de generar un proceso productivo sostenible, productores del grupo asociativo APROFRULMIS del Municipio de Santa María, Huila, en la actualidad vienen implementando planes de manejo integrado, que incluyen todas las prácticas de prevención y control de los problemas fitosanitarios del cultivo, que han sido propuestos por diferentes entidades, universidades, centros de investigación y asistentes técnicos de la región, los cuales de manera general se presentan en este capítulo como alternativa de manejo.

Fusariosis ó Secadera (*Nectria haematococca* Berk. & Br Anamorfo: *Fusarium solani*/ *Fusarium oxysporum*): Se considera el problema

patológico más importante en el cultivo de la granadilla en Colombia (capítulo 5 del presente libro). Sus síntomas se evidencian con una marchitez y posterior muerte de la planta (Tamayo, 1999). Es generada por un hongo que puede sobrevivir por mucho tiempo en el suelo y en residuos de cosecha; generalmente requiere heridas para penetrar la planta y colonizar sus tejidos (Tamayo, 1999; García *et al.*, 2007; Castro, 2009; Rivera *et al.*, 2002 y Miranda, 2009). En plantas jóvenes y adultas este patógeno generalmente penetra por las raíces o el tallo a nivel del suelo y se transloca por toda la planta mediante los haces vasculares, los cuales se taponan y toman una coloración rojiza (Figura 4) a medida que la enfermedad avanza (Zuleta, 2014). Cuando esta enfermedad ataca desde la etapa de semillero, las plántulas presentan amarillamiento, crecimiento deficiente y finalmente la muerte (Tamayo, 1999).



Figura 4. Síntomas típicos de Fusariosis en plantas de granadilla. Fotografía tomada por Adalberto Rodríguez-Carlosama.

Recomendaciones de manejo:

- Semilla proveniente de cultivos sanos, libres del patógeno y de viveros registrados ante el ICA.
- Mantener el lote libre de encharcamientos.
- Hacer inoculaciones con *Bacillus subtilis* en dosis de 5 CC/L y *Trichoderma* sp. en dosis de 1 g/L.

- Hacer podas de aclareo, de formación y fitosanitarias mensualmente, para mejorar la aireación y la iluminación del cultivo. Es importante tener en cuenta que se debe desinfectar la herramienta de planta a planta con una solución de yodo agrícola en dosis de 5 cc/L, Safercol® o Cristal Fungibact® en dosis en dosis de 2 cc/L.
- No causar heridas en el cuello de la planta y tratar de no dañar sistema radical con herramientas durante el manejo de arvenses.
- Instalar sitios para desinfección de zapatos en entradas y salidas de los lotes.
- Hacer control de nematodos de manera preventiva, pues el daño de estos es puerta de entrada del hongo.
- Aplicación de inductores de resistencia como Agrifos® y fertilizantes foliares ricos en aminoácidos y vitaminas.

Moho gris (*Botrytis cinerea*): Este hongo afecta especialmente el cultivo en épocas de lluvia y se ve favorecido por la alta humedad relativa. Su sintomatología se evidencia en flores y frutos en desarrollo mediante coloraciones gris oscuro, las cuales avanzan progresivamente hasta causar el aborto floral, en estados avanzados de la enfermedad se presenta abundante esporulación (Zuleta *et al.*, 2011 y Zuleta, 2014), tal como se observa en la figura 5.

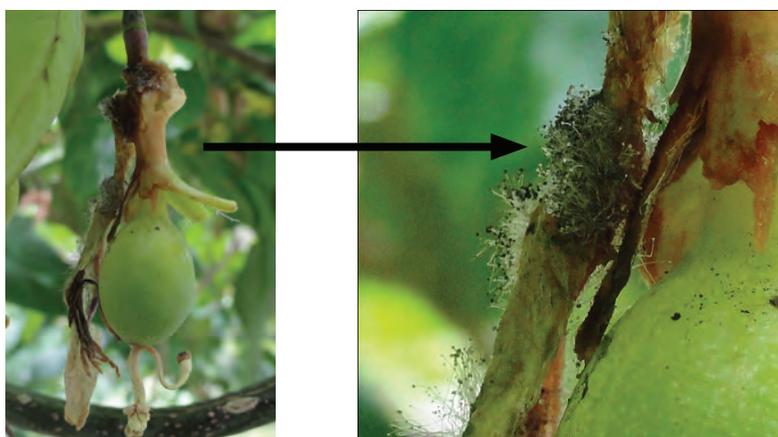


Figura 5. Moho gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de granadilla en formación, se evidencia la esporulación de las estructuras de hongo. Fotografías tomadas por Adalberto Rodríguez-Carlosama.

Recomendaciones de manejo:

A nivel de prácticas culturales se debe permitir la entrada de luz y aire al cultivo, esto se logra con un manejo de podas oportuno y aclareo mediante deshojes. De igual manera se debe tener un adecuado balance nutricional del cultivo, evitando la aplicación si no es necesario de productos nitrogenados, ya que harán la planta más suculenta y susceptible.

En las regiones productoras se viene realizando la recolección de estructuras afectadas y el “descapuche”, que consiste en remover parte de la corona de la flor para permitir la entrada de aire al interior tal como se observa en la figura 6.



Figura 6. Labor de “descapuche” en flores en preantesis (a) y fruto cuajado (b). Fotografías tomadas por Adalberto Rodríguez-Carlosama.

Complementado las labores culturales de prevención y manejo es importante la aspersión de los siguientes productos, para lo cual se recomienda contar con la asesoría de un Ingeniero Agrónomo.

- Aplicación de *Trichoderma harzianum* en dosis de 1 g/L cada 15 días.
- Aplicación de Sulfato de Cobre Penta Hidratado en dosis de 1,5 cc/L, Captan (Coraza®) en dosis de 2,5 cc/L.
- Aplicación de Procloraz (Sportak®, Mirage®) en dosis de 0,7 cc/L, Fenhexamid (Cabo®) en dosis de 1,5 cc/L, Iprodione + Pyrimethanil (Anker®) en dosis de 1,5 cc/L, Pyrimethanil (Bucanero®) 1 – 1,5 cc/L, Kresoxin Metil (Efix 500 SC) en dosis de 0,3 cc/L; Iprodione (Rovral®) en dosis de 1 cc/L.

Mosca del ovario y del botón floral (*Dasiops* sp.): De acuerdo a información suministrada por los productores del Municipio de Santa María, las moscas son consideradas la principal plaga de importancia económica del cultivo de la granadilla, ya que atacan estructuras reproductivas y pueden generar pérdidas por encima del 50%. Las hembras ponen los huevos en la base de los botones florales, la larva al emerger se alimenta de las anteras y el ovario causando amarillamiento y caída de la flor (Figura 7a). Cuando la larva ataca frutos recién formados consumen mucílago y semilla, ocasionando arrugamiento y decoloración de los frutos y aborto de ese órgano (Zuleta, 2014), como se observa en la figura 7c.

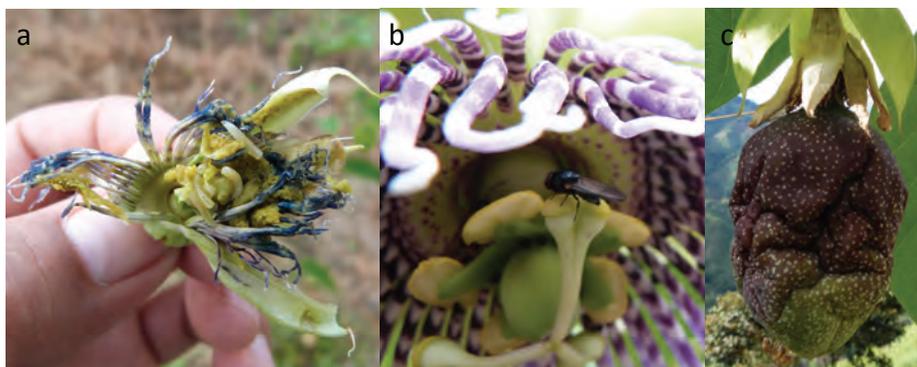


Figura 7. Daño ocasionado por la mosca del ovario (*Dasiops* sp.) en el cultivo de granadilla. a) Larvas afectando anteras y ovario del botón floral. b) Adulto de insecto. c) Arrugamiento del fruto por daño al consumir semillas en desarrollo. Fotografías tomadas por Adalberto Rodríguez-Carlosama.

Recomendaciones de manejo:

- Debido a que la larva continúa su ciclo de vida en el suelo, lugar donde empupa, es importante recoger botones florales e introducirlos en bolsas plásticas transparentes bien cerradas y ubicarlas en un sitio donde quede expuesta a los rayos directos del sol.
- Disponer de trampas McPhail con proteína hidrolizada. Estas deben cebarse con una solución de Proteína hidrolizada de maíz (Cebofrut®) en dosis de 30 cc de Cebofrut en 220 cc de agua. Las trampas deben revisarse cada 8 a 10 días.

- Cuando la población de mosca sea muy alta asperjar el cultivo en forma generalizada con una solución de 5 a 10 cc/L de Cebofrut® y 0.5 cc/L de Success®.
- Aplicación de productos comerciales a base de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Lecanicillium lecanii* y *Bacillus thuringiensis* (Safermix®); *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Paecilomyces lilacinus* (Micosplag®), en dosis de 1 g/L.
- Hacer liberaciones del parasitoide paquita (*Pachycrepoideus vendimiae*) (*Hymenoptera: Pteromalidae*) utilizando 10 unidades por hectárea, cada unidad de paquita está compuesta de aproximadamente 5.000 individuos.
- Hacer aplicación de extracto de ajo y ají Capsialil® en dosis de 0.5 cc/L en mezcla con Latigo® (Clorpirifos + Cipermetrina) en dosis de 2 cc/L y Neofat® en dosis de 0.5 cc/L. esta aplicación se hace dirigida a la flor.

Trips (*Trips* sp): Los adultos y ninfas de esta plaga se alimentan de hojas nuevas, brotes terminales y flores. El aparato bucal es raspador-chupador y el daño en las hojas está asociado a un aclaramiento o amarillamiento sobre el haz y la nervadura principal de las hojas, causando encrespamiento de las mismas. Los puntos de crecimiento detienen su desarrollo y en muchas ocasiones se secan (Figura 8a y 8c). Este insecto probablemente también puede transmitir virus (Castro, 2009 y Zuleta *et al.*, 2011).

Esta plaga ataca en todo el ciclo de vida del cultivo, por lo que es importante hacer un monitoreo semanal y establecer estrategias de manejo de acuerdo al nivel de infestación de la plaga encontrado (N° de individuos promedio/planta).

Recomendaciones de manejo:

- Instalación de trampas azules fuera del lote y revestirlas con Safertac® cada mes.
- Aplicación de Micosplag® (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Paecilomyces lilacinus*) o Safermix® (*Beauveria bassiana*,

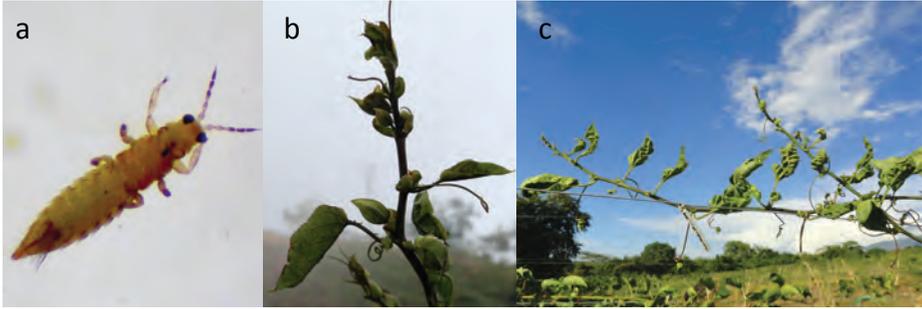


Figura 8. a) Adulto de Trips (*Trips* sp.). b-c) Daño ocasionado por Trips en terminales o “cogollos” de granadilla. Fotografías tomadas por Adalberto Rodríguez-Carlosama.

Metarhizium anisopliae, *Lecanicillium lecanii* y *Bacillus thuringiensis*) en dosis de 1 g/L.

- Liberación de depredadores como *Orius* sp. y *Amblyseius* sp. También *Chrysopa* sp. en dosis de 25.000 a 50.000 larvas por hectárea o liberar adultos prealimentados en dosis de 100 a 200 por hectárea.
- Aplicación de productos a base de Spinosad (Tracer®) en dosis de 0.4 cc/L.
- Rotar productos a base de Spinetoram (Exalt®) en dosis de 0.5 cc/L, Spirotetramat (Movento®) en dosis de 0.8 cc/L, Thiocyclam hidroxalato (Evisect®) en dosis de 1.0 g/L, Capsialil® para disminuir la probabilidad de resistencia de la plaga, de acuerdo a los umbrales de acción en dosis de 0.4 cc/L. Agronim® 2.5 cc/L, Sunfire® 0.6 cc/L. Siempre mezclar el insecticida con el Capsialil®.

REQUISITOS PARA OBTENER LA CERTIFICACIÓN BPA EN LA UNIDAD PRODUCTIVA

Teniendo en cuenta la importancia de la implementación de las BPA en el cultivo de granadilla, el grupo asociativo APROFRULMIS inició el proceso de certificación de la finca Yerbabuena, ubicada en la vereda Mirador del municipio de Santa María. Para lo cual en el año 2012 iniciaron el proceso de tecnificación de los cultivos, implementación de sistemas de riego, adopción de medidas integrales para el manejo de plagas y enfermedades, al igual que se realizaron estudios de suelos y

aguas para lograr una mayor eficiencia en la nutrición del cultivo y en la aplicación de agroquímicos.

Posteriormente, y teniendo en cuenta la regulación exigida por el ICA y la norma Global-GAP, construyeron bodegas, áreas para el almacenamiento de insumos, baños para los trabajadores, zonas de desinfección del calzado y todo un proceso de capacitación del personal en el manejo de registros de las actividades diarias de campo, métodos de aplicación de agroquímicos, uso y calibración de equipos, primeros auxilios, etc.

En la región, APROFRULMIS ha demostrado que las Buenas Prácticas Agrícolas es un proceso que si es posible implementar y que trae consigo grandes beneficios, especialmente en la diferenciación del producto, el cual ellos están comercializando a mercados europeos y donde obtienen precios superiores al mercado local.

A continuación se relaciona de manera general el proceso llevado a cabo en la finca Yerbabuena (Figura 9) para obtener la certificación en Buenas Prácticas Agrícolas y su homólogo Global GAP que se rige por cuatro requisitos fundamentales:



Figura 9. Requisitos fundamentales para la obtención de la certificación en Buenas Prácticas Agrícolas (ICA, 2009). Fotografías tomadas por Adalberto Rodríguez-Carlosama.

1. Requisitos documentales: De manera general el productor debe contar con la siguiente documentación:

- Identificación del solicitante.
- Identificación y ubicación precisa del predio (Figura 10).
- Documento de pertenencia o uso del predio.

- Plano detallado de la finca con señalización de áreas cultivadas y vías de acceso.
- Certificado de uso del suelo (POT) y permiso de uso de agua.
- Contrato de asistencia técnica. Informe sobre condiciones del cultivo y grado de cumplimiento de los requisitos de BPA.

2. Áreas e instalaciones: Cada productor deberá garantizar la infraestructura (instalaciones físicas) mínima requerida en la implementación de la Resolución ICA 4174, ya sea que se construya o se adecúe la existente de manera oportuna según se determine en el diagnóstico y el plan de acción concertado entre el productor y el implementador (ICA, 2009). La estructura exigida según dicha Resolución es:

- Unidad Sanitaria funcional (baño) con pozo séptico o sistema de alcantarillado.
- Ducha de emergencia.
- Lavamanos con instalación de agua e implementos de limpieza.
- Área de almacenamiento de plaguicidas.
- Área de almacenamiento de fertilizantes.
- Área de dosificación y preparación de mezclas de insumos agrícolas.
- Área de acopio de productos cosechados.
- Área para el consumo de alimentos y descanso de los trabajadores.
- Zona de desinfección de calzado o pediluvio.

3. Equipos, utensilios y herramientas:

- Kit para contención de derrames de plaguicidas (arena o material inerte, escoba, recogedor, bolsas o canecas).
- Recipientes para disposición y/o reciclaje de residuos convencionales.
- Recipiente para disposición de los envases vacíos de plaguicidas.
- Recipiente para transporte interno de insumos.
- Procedimientos e instructivos de manejo.

4. Personal:

- Elementos de protección personal.
- Plan de capacitación permanente.
- Capacitación en primeros auxilios y manejo de extintores.
- Plan de manejo de emergencias o contingencias.

MODELOS DE ÁREAS E INSTALACIONES FINCA YERBABUENA, MUNICIPIO DE SANTA MARÍA, HUILA



Figura 10. Mapa de la finca Yerbabuena, Santa María (Huila). Fotografía tomada por Adalberto Rodríguez-Carlosama.

Unidad Sanitaria funcional (baño) con pozo séptico o sistema de alcantarillado: Se puede usar el de la vivienda pero es ideal que se tenga una de uso exclusivo para los trabajadores, que se encuentre cerca al cultivo, en algunos casos es posible la compra de una letrina. Es importante que cuente con los implementos necesarios de aseo.

Ducha de emergencia: Se usará en caso de un accidente con plaguicidas con el fin de tratar la contaminación accidental de la persona. Debe estar ubicada en el lote y cercana al sitio donde se manipulen plaguicidas, además de contar con agua corriente.

Lavamanos con instalación de agua e implementos de limpieza: Se requiere contar con agua limpia para el lavado de manos, así como implementos de aseo.

Área de almacenamiento de plaguicidas: Los materiales para su construcción debe ser resistente al fuego, que el material con que se construye no sea absorbente; además debe ser un sitio ventilado y con acceso restringido. Debe contar con anaqueles o estanterías para la separación de los diferentes agroquímicos (Figura 12).

Área de almacenamiento de fertilizantes: Los fertilizantes deben estar almacenados sobre estibas, sin hacer contacto con el suelo y separados de los plaguicidas y materia orgánica.

Área de dosificación y preparación de mezclas de insumos agrícolas: Contar con un área para la preparación de mezclas y lavado de equipos, donde se dispongan los residuos sin contaminar las fuentes de agua (Área de barbecho) (Figuras 11 y 16).

Área de acopio de productos cosechados: Debe estar construida en un material lavable, aislada de animales y roedores, facilitando el acopio, selección y empaque de la fruta (Figura 13).

Área para el consumo de alimentos y descanso de los trabajadores: Comedores y habitaciones que garanticen calidad de vida al empleado.

Zona de desinfección de calzado o pediluvio: Área para la desinfección de calzado que evite la transmisión de problemas fitosanitarios (Figura 14).

Zona de disposición de residuos orgánicos (Figura 15)



Figura 11. Área de dosificación y preparación de mezclas de insumos agrícolas. Fotografía tomada por Adalberto Rodríguez-Carlosama.



Figura 12. Área de almacenamiento de plaguicidas. Fotografía tomada por Adalberto Rodríguez-Carlosama.



Figura 13. Área de acopio de productos cosechados. Fotografía tomada por Adalberto Rodríguez-Carlosama.



Figura 14. Zona de desinfección de calzado. Fotografía tomada por Adalberto Rodríguez-Carlosama.



Figura 15. Disposición de residuos orgánicos. Fotografía tomada por Adalberto Rodríguez-Carlosama.



Figura 16. Zona de Barbecho. Fotografía tomada por Adalberto Rodríguez-Carlosama.

Adicionalmente, se requiere señalar cada cultivo (Figura 17) para monitoreo y control.



Figura 17. Señalización en el cultivo. Fotografía tomada por Adalberto Rodríguez-Carlosama.

En la adecuación de la infraestructura se deben optimizar los recursos presentes en la finca, teniendo en cuenta que cumplan a cabalidad con lo estipulado en la normatividad. Una vez se cumpla con los puntos de

control se hace la solicitud de visita del auditor del ICA quien avalará el proceso para el otorgamiento de la Certificación BPA del predio.



Agradecimientos especiales al grupo asociativo APROFRULMIS, especialmente a los señores Antonio Hernández, Wilson Medina, Edison Medina, Aldeimar Vanegas, sus esposas e hijos, que de manera conjunta ha demostrado que trabajando el equipo y con una visión de empresa se pueden lograr grandes metas.

REFERENCIAS

ASOHOFrucOL. (2011). *Guía básica para la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas*. Primera edición. Bogotá, Colombia.

CASTRO, L.E. (2009). *Manual técnico e ilustrado del cultivo de la granadilla (Passiflora ligularis Juss) con énfasis en BPA*. Corporación Cepass Huila. Bogotá, D.C.

CEPASS - CORPORACIÓN CENTRO DE INVESTIGACIÓN PARA LA GESTIÓN TECNOLÓGICA DE PASSIFLORA DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA. (2013). *Protocolo para la propagación de material vegetal de las especies de Passiflora*. Neiva Huila.

CONPES - CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL 3514. (2008). *Política nacional fitosanitaria y de inocuidad para las cadenas de frutas y de otros vegetales*. República de Colombia, Departamento Nacional de Planeación. Bogotá, Colombia.

FAO - ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA

AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. (2007). *Manual Buenas prácticas Agrícolas para la Agricultura familiar*.

FISCHER, G.; CASIERRA-POSADA, F.; PIEDRAHÍTA, W. (2009). *Ecofisiología de las especies pasifloráceas cultivadas en Colombia*. En: Miranda D., Fischer G., Carranza C., Magnitskiy S., Casierra F., Piedrahíta W., Flórez L. editores. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá, Colombia. pp. 45-67.

FUNDACIÓN MANUEL MEJÍA. *Agricultura limpia: Buenas Prácticas Agrícolas*.

GARCÍA, L.J.; CHAMORRO, L.E.; FLORIANO, J.A.; VERA, L.F.; SEGURA J.D. (2007). *Enfermedades y plagas del cultivo de la granadilla (Passiflora ligularis) en el departamento del Huila*. Corpoica - Huila unido. p. 24.

GUERRERO LÓPEZ E., POTOSÍ GUAMPE C., MELGAREJO LM., HOYOS CARVAJAL L. (2012). Manejo agronómico de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en el marco de las buenas prácticas agrícolas (BPA). En: Melgarejo L.M. (Ed). *Ecofisiología del cultivo de la gulupa Passiflora edulis* Sims, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia, pp 123- 144.

ICA - INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. (2009). Resolución 3180 de (2009). *Por la cual se establecen los requisitos y procedimientos para la producción y distribución de material de propagación de frutales en el territorio nacional y se dictan otras disposiciones*. Bogotá, Colombia.

ICA - INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. (2011). *Manejo fitosanitario del cultivo de la granadilla (Passiflora ligularis): Medidas para la temporada invernal*. Bogotá Colombia.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL; CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL CCI. (2009). *Manual temático del facilitador en Buenas Prácticas Agrícolas-BPA*. Bogotá, Colombia.

MIRANDA, D. (2009). *Manejo integral del cultivo de la granadilla (Passiflora ligularis Juss.)*. Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá, pp. 121-158.

MIRANDA, D. (2012). Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss). En: *Manual para el cultivo de frutales en el trópico*. Editorial PRODUMEDIOS. pp. 550-578.

MONROY, M.; REYES, R. (2013). *¿Cómo implementar Buenas Prácticas Agrícolas?*, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA. Bogotá, Colombia.

OCAMPO, J.; WYCKHUYS. (2012). *Tecnología para el cultivo de la gulupa en Colombia (Passiflora edulis f. edulis Sims)*. Centro de Bio-sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, República de Colombia, Bogotá.

PARRA, M.; AGUILERA, A.; ESCOBAR, W.; RUBIANO, V.; RODRÍGUEZ, A. (2011). *Agenda Prospectiva de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cadena Productiva de Granadilla en el Departamento del Huila*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Proyecto de Transición de la Agricultura. Universidad del Valle Y CDT Cepass.

PARRA, M.; RODRÍGUEZ, A.; AGUILAR, O.E.; RIVERA, P.A. (2012). *Acuerdo de competitividad para la cadena productiva de Pasifloras en Colombia*. Consejo Nacional de Pasifloras- Corporación Cepass y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia.

REYES, R.T.; TORO, J.C.; PERFETTI, J.J.; RUÍZ, D. (2006). *Plan Frutícola Nacional PNF*. Cali, Colombia.

RIVERA, B.; MIRANDA, D.; ÁVILA, L.; NIETO, A. (2002). *Manejo integrado del cultivo de granadilla (Passiflora ligularis Juss)*. Primera edición. Editorial Litoas. Colombia.

SAGARPA- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN. (2002). *Manual de Buenas Prácticas Agrícolas: Guía para el agricultor*. México.

SEDAM - SECRETARIA DE AGRICULTURA Y MINERÍA DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA. (2006). *Manual técnico del cultivo de granadilla (Passiflora ligularis Juss) en el departamento del Huila*. Cadena Productiva Frutícola- Secretaria Técnica. Gobernación del Huila.

TAMAYO, P. (1999). *Estudio para el control de la secadera (Nectria haematococca Berk. & Br.) de la granadilla (Passiflora ligularis Juss.): evaluación de patrones existentes y prácticas de manejo integrado*. Informe técnico, Rionegro (Colombia). CORPOICA-PRONATA-URRAO. p. 50.

ZULETA, O.J. (2014). *Guía sobre recomendaciones generales para la implementación del protocolo de inocuidad en el cultivo de maracuyá Passiflora edulis f. flavicarpa Degener*. Corporación CEPASS. Neiva, Huila, Colombia.

ZULETA, O.J., RODRÍGUEZ, A.M; MIRANDA, L.D. (2011). *Plan de transferencia en el manejo de secadera Fusarium sp en los cultivos de granadilla y maracuyá y perla de tierra Eurhizococcus sp en el cultivo de mora de castilla en cuatro localidades del departamento del Huila*. Corporación CEPASS. Neiva, Huila, Colombia.



CAPÍTULO 8

COMERCIALIZACIÓN DE GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss)

Marisol Parra Morera^{1*},
*Adalberto Rodríguez Carlosama*²,
*Camilo Andrés Piedrahita*³ y *Alexander Gordillo Gaitan*⁴

¹ Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras de Colombia (CEPASS), Directora ejecutiva. marisol.parra@cepass.org

² Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras de Colombia (CEPASS). Ingeniero Agrónomo, Candidato a Magister en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia.

³ Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras de Colombia (CEPASS), Ingeniero Agrónomo.

⁴ Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras de Colombia (CEPASS), Ingeniero Electrónico.

* Autor para correspondencia.

INTRODUCCIÓN

La granadilla es una fruta apetecida en los mercados nacionales y con muy buena aceptación en los mercados internacionales. Según estudios etnobotánicos realizados por la Universidad de Antioquia y la Corporación CEPASS, ésta fruta ofrece propiedades digestivas, diuréticas y cicatrizantes; además, posee cualidades antiparasitarias, fortalece el sistema inmunológico contra enfermedades respiratorias, estimula la formación de leche materna, es antianémico y es considerada como de gran valor nutritivo en la alimentación de los niños (Estupiñán *et al.*, 2013). El presente capítulo muestra la consolidación de un trabajo de campo, para lo cual se capturó información primaria a través de encuestas y talleres con productores en las diferentes regiones productoras de granadilla del país. Varios de los resultados quedaron plasmados en el Acuerdo de Competitividad de la Cadena Productiva de Pasifloras, 2013 (Estupiñán *et al.*, 2013) y han sido actualizados a 2015 para el actual documento.

La granadilla es exportable, aunque un poco condicionada debido a que no es ampliamente conocida en el mercado internacional; su transporte en fresco es costoso debido a su fragilidad y propensión a la oxidación y no existen alternativas para su exportación en procesado debido a la dificultad de extraer la pulpa (Palacios, 2014).

Dentro de la familia *passifloraceae* es la fruta de mayor consumo en fresco en el mercado nacional, el cual ha generado un incremento en áreas de producción en diferentes regiones de Colombia (Tabla 1) (Agronet, 2014).

En la tabla 1, se registra un promedio de producción de 46.953 toneladas en el periodo 2008-2013. En el año 2013 se observó incremento en la producción aunque fueron menos áreas cosechadas, comparado

Tabla 1. Cuadro de producción en un periodo de 10 años.

AÑO	PRODUCCIÓN (t)	ÁREA COSECHADA (ha)	RENDIMIENTO (t/ha)
2008	52388	4582	11,4
2009	53184	4852	11
2010	47891	4502	10,6
2011	39074	3754	10,4
2012	36943	3552	10,4
2013	52235	3700	14,1

Fuente: Agronet, 2014.

con las cifras reportadas en el año 2008, probablemente debido a la mayor tecnificación del cultivo como parte de la optimización del proceso productivo.

La mitad del área nacional cultivada de granadilla, se encuentra en el departamento del Huila, principalmente en los municipios de La Argentina, Palestina y Santa María, quienes representan cerca del 50%. Le sigue en orden de importancia el departamento de Antioquia con el 29%, siendo Urrao y Caramanta los departamentos de mayor importancia (Figura 1).

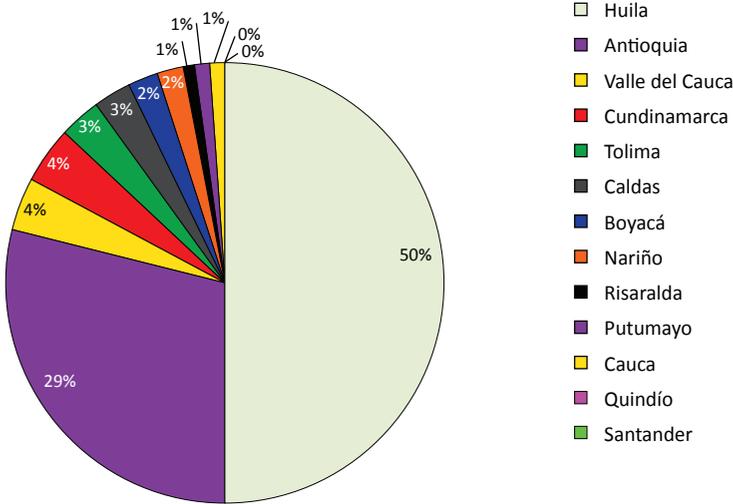


Figura 1. Distribución departamental de la producción de granadilla, año 2013. Fuente: Agronet, 2014.

MERCADO NACIONAL

Según lo reportado en el acuerdo de competitividad de la cadena productiva de passifloras (Estupiñán *et al.*, 2013), el mercado nacional se lleva a cabo generalmente en las principales centrales de abastos del país como comercializador mayorista, y grandes superficies de mercado y mercados locales como comercializadores minoristas que dirigen el mercado de las frutas para el consumo fresco (Figura 2).

El comercializador mayorista lo integra: los agentes intermediarios, las centrales de abastos, las asociaciones de productores, los exportadores y la agroindustria.

La mayor parte de los productores comercializan la fruta a través de los agentes intermediarios, quienes desempeñan un rol importante en el proceso comercial, porque cuentan con el transporte directo desde la zona productora hasta el mercado final, ubicado en las centrales de abastos de las principales ciudades del país (Bogotá, Cali, Medellín, Bucaramanga). La forma de pago entre los agentes intermediarios y los productores se realiza de contado o máximo en un periodo de una semana.

Sin embargo, reconocida la calidad de la fruta del Huila y posicionada en el mercado nacional como la mejor fruta del país, las empresas exportadoras están comprando la fruta directamente a los productores y algunas de ellas les prestan asistencia técnica para garantizar el proceso de trazabilidad de la fruta, el control en el manejo de agroquímicos y el registro de predios para exportación. Aunque, los volúmenes requeridos no compensan con la producción ofertada.

En el marco del programa de Alianzas Productivas del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, se inició un proceso de comercialización directamente con la organización de productores, la cual les permite negociar la fruta a través de la asociación, garantizando una oferta permanente y mejores precios. De ésta manera, se fortalecen los esquemas comerciales con pequeños productores, retribuyendo las utilidades del negocio a la organización.

La relación comercial con las exportadoras de forma directa con productores y la transacción comercial es cumplida alrededor de los

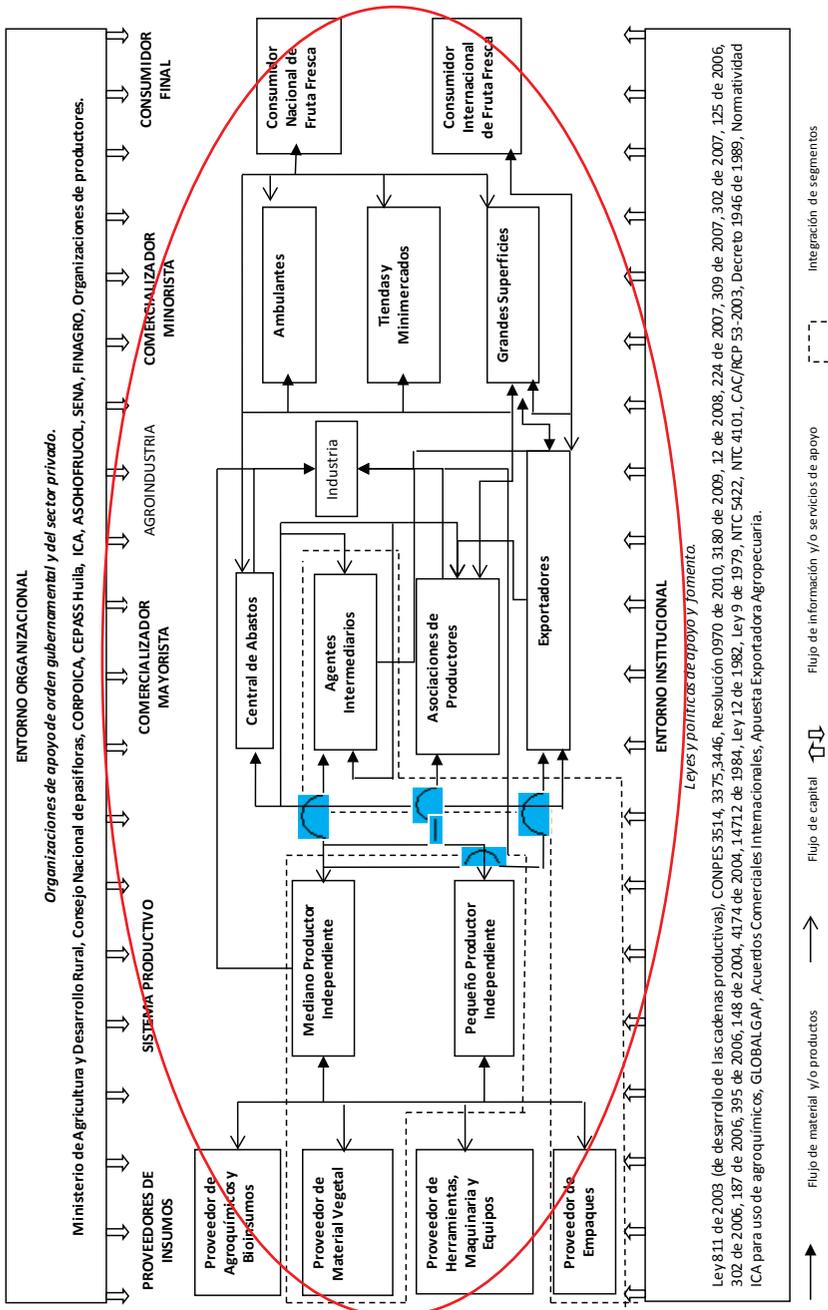


Figura 2. Gráfico del esquema de comercialización de la granadilla. Fuente: Acuerdo de Competitividad de la Cadena Nacional de Pasifloras, 2014.

45 días después de la entrega y facturación de la fruta. Paralelamente, el modo de pago a los exportadores se hace por medio de carta de crédito o contrato de proveeduría (Estupiñan *et al.*, 2013).

Por otro lado, la exigencia de los mercados de los exportadores se rige a la normatividad internacional, por lo cual uno de los principales requisitos son frutas provenientes de fincas certificadas por el ICA con resolución 1806 de 2004 y Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) para el cumplimiento de normas como Global GAP y Tesco Nature Choise de mercados europeos. La actividad de exportación debe incurrir en procesos logísticos que garanticen la calidad de la fruta (Estupiñan *et al.*, 2013).

El tiempo requerido para la exportación dura cerca de los 20 días que comprende desde la adquisición y acopio de la fruta hasta el envío y llegada de la fruta al país de destino. El porcentaje de pérdida de la fruta durante la exportación es del 5 % y su principal causa es la manipulación. Las condiciones del transporte de la fruta son refrigeración de -4°C, empacada en cajas de cartón y estibada en contenedor, a través de transporte aéreo (Estupiñan *et al.*, 2013), porque aún no se ha desarrollado un sistema de transportar la fruta por barco.

Una vez finalizado el proceso de la ruta del mercado mayorista, éste la distribuye a través del comercializador minorista, integrado por grandes superficies, tiendas y mini mercados y vendedores ambulantes; este último segmento aparece en la cadena en algunas épocas del año, cuando se presenta sobreoferta de la fruta.

Según la información primaria capturada en el Acuerdo de Competitividad de la Cadena Nacional de Pasifloras, los mercados demandantes son del orden nacional, el cual representa el 90%, y un 10% para el mercado externo dirigido a países de la Unión Europea y Ecuador aunque con bajos volúmenes de exportación por falta de promoción de la fruta.

PRECIOS

El precio de la granadilla varía de acuerdo a la oferta y demanda del mercado, depende de la estacionalidad de los cultivos y los periodos

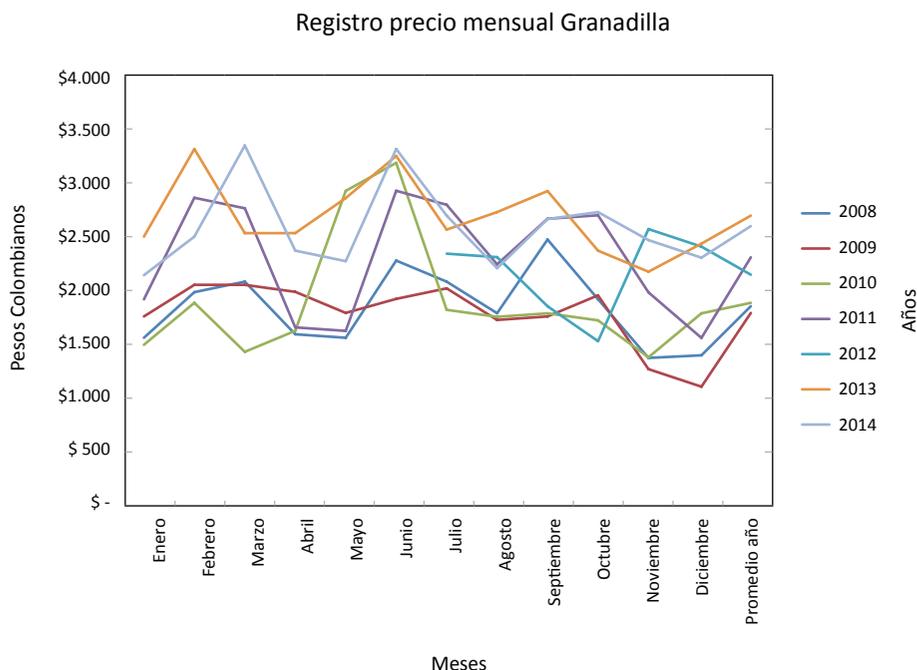


Figura 3. Registro mensual de precios por kilogramo de granadilla. Precios nacionales 2008-2014. Fuente: SIPSA - Agronet, 2014. Consultado: diciembre, 2014.

de cosecha de la fruta, lo cual impacta notablemente cuando se presenta escasez. A continuación se muestra el comportamiento de los precios mensuales/Kg de granadilla, durante un periodo de 7 años (Figura 3).

Los destinos a mercados nacionales son; para Badea: Bucaramanga, Cali, Ibagué, Montería y Neiva. Curuba larga: Bucaramanga, Duitama, Medellín, Neiva y Sogamoso. Gulupa: Bogotá. Granadilla: Bucaramanga, Cali, Duitama, Ibagué, Ipiales, Medellín, Palmira, Pereira y Sogamoso. Maracuyá: Armenia, Bucaramanga, Cali Chiquinquirá, Honda, Ibagué, Ipiales, La Ceja, Manizales, Medellín, Montería, Palmira, Pereira, Rio negro, San Gil, Sogamoso, Tuluá, Tunja y Villavicencio.

De acuerdo al comportamiento histórico 2008-2014, el precio por kilo de granadilla se registra de mayor valor durante los meses de Febrero, Junio y Septiembre.

EMPAQUES

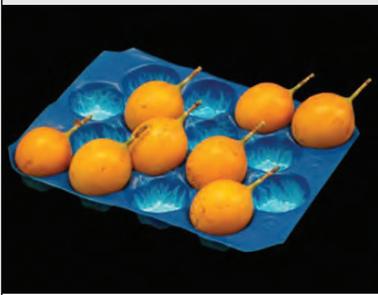
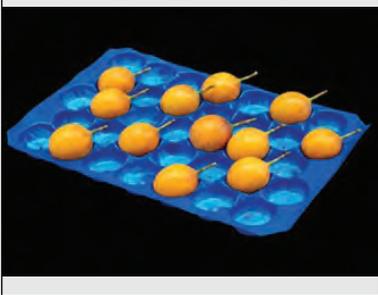
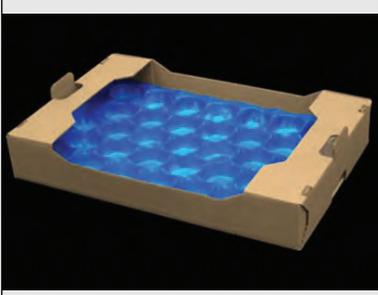
De acuerdo a la investigación realizada en el marco de la Agenda Prospectiva de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cadena de Granadilla en el departamento del Huila (Parra *et al.*, 2010) y validada por la Cadena Productiva de Pasifloras, se utilizan varios tipos de empaque (Tabla 2); el empaque más utilizado por los productores es la caja tipo manzanera, la cual tiene una capacidad promedio de 115 granadillas y alcanza un peso neto de 13 kilogramos; considerando un peso promedio por granadilla de 113 gramos. Sin embargo, la caja granadillera de 30x28x50 centímetros, con una capacidad de 10 a 12 kilogramos, aunque menos utilizada ofrece mejores condiciones para la conservación del fruto. Otros tipos de empaques son canastillas modulares, de 60x40x25 centímetros, con una capacidad de 13 kilogramos. En el fondo de las cajas se coloca un tendido de papel; igualmente, entre tendido y tendido se ubica la granadilla (Parra *et al.*, 2010).

Dentro de los empaques más utilizados en el departamento del Huila para el mercado nacional, se encuentran las cajas manzaneras, recicladas de los productos importados chilenos; sin embargo, actualmente, algunos grupos asociativos, por exigencia de mercados como los de Europa y Ecuador han creado sus propios empaques, de acuerdo a lo exigido por la Norma Técnica Colombiana ICONTEC (2007), NTC 5422 de Empaque y Embalaje de Frutas, Hortalizas y Tubérculos Frescos. Entre los municipios del departamento que lideran este proceso se encuentra Palestina, ubicado al sur del Huila y considerado como la primera región productora nacional de granadilla.

La ruta del segmento de los empaques reciclados para el productor, se establece a partir del intermediario, quien le suministra los empaques como estrategia de comercialización para asegurar la fruta en las zonas productoras, claro está forma parte del precio final de la compra (Parra *et al.*, 2010).

Actualmente el precio de la caja manzanera oscila entre \$ 2.000,00 y \$2.300,00 y es una de las mayores transmisoras de hongos, desmejorando la calidad de la fruta.

Tabla 2. Descripción de los empaques más usados en el transporte de la granadilla.

TIPO DE EMPAQUE	PRESENTACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Kit 1000		<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones (Largo x Ancho x Alto) 188 x 144 x 124 mm. • Material Poliuretano (PU) • Capacidad aprox. 1000 grs.
ALVEOLO 30X40		<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones (Largo x Ancho) 390 X 290 mm. • Material Película de Polipropileno (PP) • Cavidades 12/14/16/18/20/23/25/27/30/ 33/36
ALVEOLO 60X40		<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones (Largo x Ancho) 590 X 390 mm. • Material Película de Polipropileno (PP) • Cavidades 9/15/18/25/30/35/39/45/56/ 66
ALVEOLOS POR CAJA		<p>Cajas de Cartón:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ref: 60x40x10 - 1 Tendido • Ref: 60x40x14 - 1 a 2 Tendidos • Ref: 60x40x18 - 2 a 3 Tendidos • Ref: 60x40x22 - 2 - 4 Tendidos

TIPO DE EMPAQUE	PRESENTACIÓN	CARACTERÍSTICAS			
CANTIDAD DE CAJAS POR PALLET			Pallet 160	Pallet 200	Pallet 240
		Caja Baja (60x40x10)	70	90	110
		Caja Media (60x40x14)	50	65	80
		Caja Alta (60x40x22)	30	40	50
EMPAQUE SANTANA		Tipo exportación			
CAJA MANZANERA		Presentación más común para mercados locales, centrales de abastos, mercado fronterizo de Ipiales. Es un material reutilizable de los productos que llegan al país especialmente de Chile.			
BALDE PLÁSTICO		Transporte de frutos de granadilla a los centros de selección y empaque.			

Fuente: Corporación CEPASS, 2010.

MERCADO INTERNACIONAL

Varias de las especies *passiflora* que se cultivan en el país tienen un destacado comportamiento en los mercados de exportación. La participación de las especies de *passiflora* en los mercados internacionales está determinada por la exportación de la fruta en fresco: Gulupa, Granadilla, Maracuyá y Curuba en fresco, y también de un producto de la agroindustria como jugo de Maracuyá (Parra *et al.*, 2010).

Al año 2014, el total de exportaciones colombianas de Granadilla fue de US\$2.499.923 de dólares (Tabla 3). Históricamente las exportaciones más altas de *passifloras* se atribuyen a la Gulupa en fresco, seguido por Granadilla en fresco, jugo de Maracuyá y en una proporción más baja Maracuyá en fresco y Curuba (Parra *et al.*, 2010). La tabla 3 muestra la información detallada de las exportaciones de la Granadilla.

Tabla 3. Exportaciones colombianas de granadilla, 2014.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Peso Neto (t)	420,24	244	975	825	665	603	1.281	954
Valor FOB (Miles US\$)	705,7	564,42	3.326,90	2.792,75	2.553,19	3.084,62	3.070,74	3.216,03
Valor Unidad (US\$/t)	1.679	1.475	3.412	3.386	3.842	5.299	2.397	3.467

Fuente: Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario – AGRONET Colombia. Consulta: Enero, 2015.

BALANZA COMERCIAL DE GRANADILLA

La granadilla representa la segunda fuente de exportación más importante de las frutas del género *Passiflora* que se comercializan en fresco. La balanza comercial de este producto ha mostrado un superávit de cada uno de los años observados 2008-2014 (Figura 4); sin embargo, es evidente que las exportaciones de esta fruta aumentaron notablemente sobre el promedio desde el 2012 hasta el 2013, en el 2014 se ve una reducción debajo del promedio de los últimos 7 años (Figura 5).

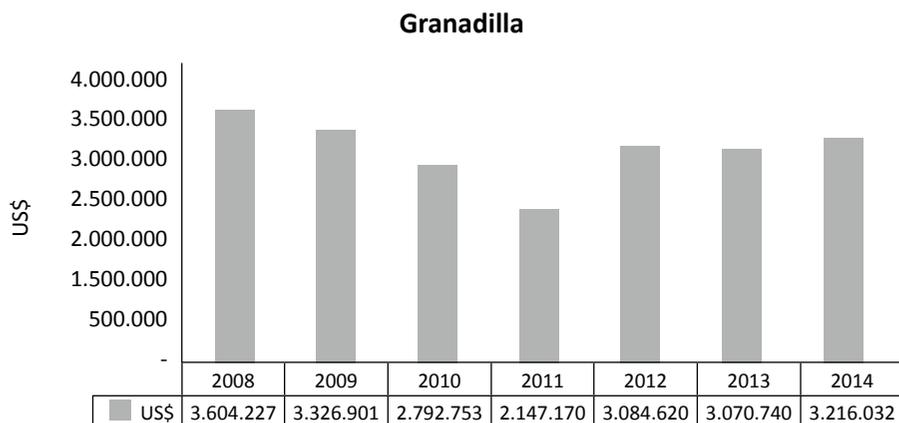


Figura 4. Balanza comercial de granadilla en fresco (2008-2014).

Fuente: Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario – AGRONET Colombia, Consulta: Enero, 2015.

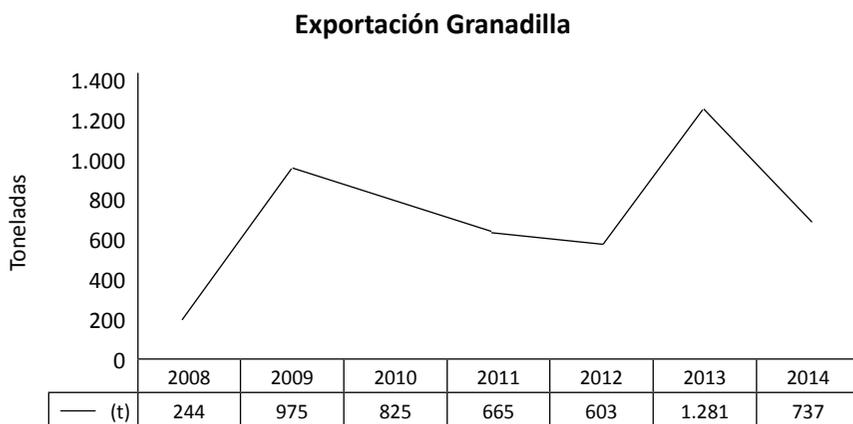


Figura 5. Exportación de granadilla.

Fuente: Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario – AGRONET Colombia, Consulta: Enero, 2015.

Las exportaciones de granadilla en el 2013 mantienen su mayor pico sobre el promedio de los últimos 7 años con un cambio considerable para el 2014 que terminó por debajo del promedio de 761,42 toneladas.

Los principales mercados para granadilla colombiana calculados a partir de registros en volumen (toneladas) del 2014 se muestran en la figura 6:

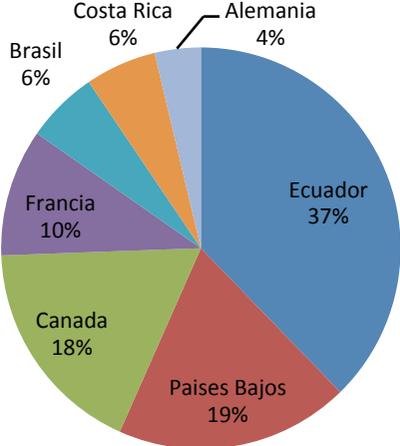


Figura 6. Principales mercados externos para granadilla fresca con origen colombiano.

Fuente: Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario – AGRONET Colombia, Cálculos propios CEPASS. Enero, 2015.

Ecuador es el principal importador con 295,4 toneladas de granadilla; sin embargo, ésta cifra no refleja la realidad del volumen comercializado, teniendo en cuenta el alto índice de informalidad en el mercado de la frontera. Le sigue Países Bajos y Canadá con 148,4 y 139,2 t, respectivamente. Francia, Costa Rica, Brasil y Alemania, mantienen un promedio de 50 t hasta el momento.

Se presenta una fluctuación muy amplia en el 2007 al 2008 con un incremento del 19,58%. A partir de este año, se registra un leve decremento en el precio de la fruta, el cual inicia su incremento a US\$3.084 (valor FOB unitario USD/Tonelada) en el año 2012; este comportamiento muestra la estabilidad en el mercado internacional de la granadilla. En el año 2013 se reporta un mínimo descenso en el precio, hasta US\$14; para el año 2014, el precio se incrementa a un valor de US\$3.467 (Figura 7).

PRECIOS MERCADOS INTERNACIONALES (granadilla)

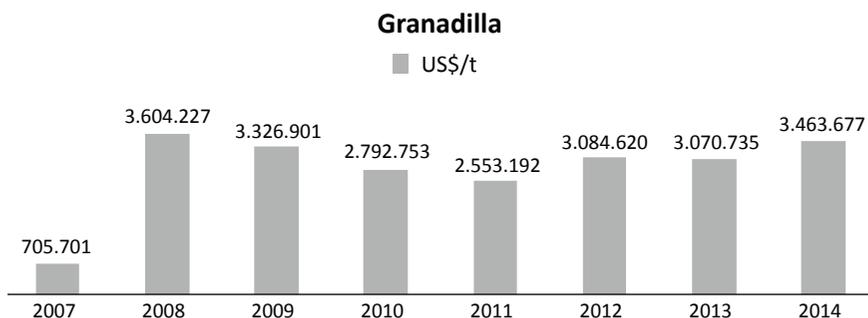


Figura 7. Valor FOB Unitario (USD/t).

Fuente: Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario – AGRONET Colombia. Consulta: Enero, 2015.



Fotografía tomada por Marisol Parra Morera.

REQUISITOS DE MERCADO

Para atender los mercados internacionales, se deben cumplir con los procesos de registro de predios y certificación de fincas, bajo las normas internacionales de calidad como GLOBAL GAP (The Global Partnership for Good Agricultural Practice), HACCP (Hazar Analysis Critical Control Points), Fairtrade International, USDA (United States Department of Agricultura), NOP (National Organic Program), CEE Reglamento Europeo, Naturland, EU Ecolabel, ISO 9001 (International Organization of standarization), ISO 14001 y SCS (Scientific Certification Systems).

Actualmente en el departamento del Huila, con apoyo de entidades como la Corporación Cepass y ASOHOFrucol (Recursos del Fondo

Nacional para el Fomento de la Horticultura FNFH), desarrollan actividades en los municipios de Santa María, Palermo, Iquira, Algeciras, Pitalito y San Agustín, orientadas a la implementación de las Buenas Prácticas Agrícolas en el marco de la Resolución ICA 4174/2009 y Resolución 1806/2004 para registro y manejo de predios de producción de fruta fresca para exportación, y el registro de los exportadores.

Estas actividades han dinamizado los procesos de comercialización para mercados de exportación, y han permitido a los productores mejorar sus precios con la categorización de la fruta para exportación en predios debidamente registrados.

FICHA TÉCNICA DE LA GRANADILLA

En la actualidad la granadilla del departamento del Huila es considerada como la fruta de mejor calidad, siendo ampliamente demandada tanto para el mercado local como internacional. Se considera que la oferta ambiental y el manejo agronómico dado por los productores de la región, le confieren características que satisfacen las necesidades al consumidor final. Con la finalidad de dar a conocer la fruta ofertada en la región, se realizó una ficha técnica de la granadilla en el municipio de Santa María, donde se identificó el color, sabor, forma y peso del producto; así como la calidad cosmética ofertada a los diferentes mercados (Tabla 4).

Fecha: 13 de febrero de 2015

Finca: El Mirador

Productor: Javier Narváez

Vereda: Mirador

Municipio: Santa María

Altitud: 2.200 msnm

De acuerdo a la norma ICONTEC NTC 4101 (ICONTEC, 1997) se consideran variables que determinan la calidad del producto ofertado en el municipio de Santa María, Huila; para lo cual se tomaron frutos de cuatro categorías: Extra, primera, segunda y tercera en grado de color N° 6.

Tabla 4. Ficha técnica de la granadilla municipio Santa María, Huila.
Fuente: autores 2015.

CATEGORIA EXTRA	DESCRIPCIÓN
	<p>La fruta cumple con los requerimientos generales definidos en la normatividad NTC 4101 y está exenta de todo defecto que desmerite su calidad. Cuenta en promedio con 13,3 °Brix, 130 g de peso, color anaranjado brillante, forma alargada oval con un diámetro longitudinal de 83 mm y transversal de 78 mm, y un excelente llenado.</p>
CATEGORIA PRIMERA	DESCRIPCIÓN
	<p>La fruta tiene un diámetro mayor de 66 mm con defectos o manchas en la cáscara entre el 5 y 10%. El mercado acepta ligeros defectos en el color y cicatrices ocasionadas por insectos y/o ácaros.</p>
CATEGORIA SEGUNDA	DESCRIPCIÓN
	<p>La fruta tiene un diámetro entre 61 y 65 mm con defectos o manchas en la cáscara entre el 5 y 10%. Presenta defectos en el color, rugosidades en la cáscara, ausencia de cera, cicatrices superficiales ocasionadas por ácaros, que no deben exceder el 20% del área del fruto.</p>
CATEGORIA TERCERA	DESCRIPCIÓN
	<p>La fruta tiene un diámetro menor de 61 mm con defectos o manchas en la cáscara hasta del 20%. Presenta defectos en el color, rugosidades en la cáscara, ausencia de cera, cicatrices superficiales ocasionadas por ácaros.</p>

Desecho	Descripción
	<p>En la región se presenta un porcentaje de fruta que no es comercializada debido a daños fitosanitarios. En promedio un 3 al 5% de la fruta es desechada y llevada a una fosa, aun internamente se encuentre en buen estado.</p>

De acuerdo a las características de la granadilla ofertada en el departamento del Huila (forma, color, sabor, tamaño) y su excelente aceptación en el mercado, se puede considerar como un nuevo ecotipo denominado “Huila”.

REFERENCIAS

AGRONET - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2014). Recuperado de: <http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estadisticas.aspx>

ESTUPIÑAN, F.; GUZMÁN, L.H.; CUESTAS, M.; BAREÑO, F.; PARRA, M.; PALACIO, A.E.; RIVERA, J.E.; MORAD, K. (2013). *Acuerdo de Competitividad de la Cadena Nacional de Pasifloras*. Neiva: Corporación CEPASS.

ICONTEC - INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. (1997). *Norma NTC 4101*. Bogotá.

ICONTEC - INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. (2007). *Norma NTC 5422*. Bogotá.

PALACIOS, A. (2004). *Banco de Iniciativas Regionales para el Desarrollo de Antioquia*. Medellín: Banco de Iniciativas Regionales para el Desarrollo de Antioquia. p. 158.

PARRA, M.; AGUILERA, A.A.; RUBIANO, V.M.; RODRÍGUEZ, A; ESCOBAR, W. (2010). *Agenda Prospectiva de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cadena de Granadilla en el departamento del Huila*. Neiva: Corporación CEPASS. p. 39.

CAPÍTULO 9

SOCIALIZACIÓN ACADÉMICA CON EL GREMIO DE AGRICULTORES DE GRANADILLA DEL HUILA

Se llevaron a cabo talleres días de campo, en fincas de los agricultores que permitieron establecer parcelas experimentales para la ejecución del proyecto. Se realizaron conferencias y prácticas demostrativas, discusiones acerca del manejo del cultivo y cómo solucionar o mitigar algunos problemas que se pudieran presentar durante el cultivo de la granadilla, así como observación directa del cultivo en campo con énfasis en enfermedades o síntomas por problemas nutricionales y qué medidas realizar. Luego de la ejecución del proyecto se presentaron resultados con miras al fortalecimiento de un paquete tecnológico que podrían implementar productores de la región.

A continuación se presentan los manuales, nominados:

- ENFERMEDADES DEL CULTIVO DE GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss), PLANES DE FITOMEJORAMIENTO PARA SU MANEJO Y ECOFISIOLOGÍA.
- NUTRICIÓN MINERAL, BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS (bpa), FISIOLOGÍA DEL FRUTO Y FENOLOGÍA DE GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss).
- A TENER EN CUENTA PARA EL CULTIVO DE LA GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss).

PROYECTO “Caracterización ecofisiológica de granadilla bajo dos
condiciones ambientales en el departamento del Huila”
Contrato 273 -2013

ENFERMEDADES DEL CULTIVO DE GRANADILLA (*Passiflora Ligularis* Juss), PLANES DE FITOMEJORAMIENTO PARA SU MANEJO Y ECOFISIOLOGÍA

*Equipo técnico y preparación del texto:
Natalia Rodríguez-Castillo, Nohra Rodríguez-Castillo,
Katherine Rodríguez-León, Lilliana Hoyos-Carvajal,
Luz Marina Melgarejo*
(Huila, agosto 2014).*

* Autor para correspondencia: Immelgarejom@unal.edu.co

MEDIDAS FISIOLÓGICAS

FLUORESCENCIA DE LA CLOROFILA: La luz absorbida por las moléculas de clorofila de la hoja puede tomar tres vías: 1) vía fotoquímica - Fotosíntesis, 2) Disipación de calor y 3) emisión de energía como fluorescencia (Solarte *et al.*, 2010). La fluorescencia puede medirse por medio de un Fluorómetro con el que se aplica destellos de luz saturante a los que la hoja responde emitiendo fluorescencia, obteniendo parámetros para determinar si la planta tiene algún tipo de estrés (alta radiación, alta temperatura, baja disponibilidad de agua o nutrientes, enfermedades, entre otros) que reduzca la eficiencia de la fotosíntesis por medio del cual produce fotoasimilados como azúcares.



Fotografía tomada por Natalia Rodríguez-Castillo.



Fotografía tomada por Natalia Rodríguez-Castillo.

INTERCAMBIO DE GASES: La tasa fotosintética, la tasa transpiratoria, la concentración de carbono intercelular, la proporción de apertura de estomas son medidos con el IRGA (analizador de gases en infrarrojo – El CO_2 absorbe a esta longitud de onda). Este equipo permite medir la concentración de gases que entran y salen a través de las hojas.

Otros parámetros importantes que se calculan a partir de los parámetros obtenidos con este equipo es el uso eficiente del agua que hace la planta de acuerdo a las condiciones ambientales con las que está interactuando. También permite hallar la radiación a la cual la planta realiza la fotosíntesis máxima, y por tanto indicar si después de este punto de luz la planta puede estar teniendo algún daño por el cual no puede realizar eficientemente la fotosíntesis, fundamental para el normal crecimiento y desarrollo de la planta y para la formación de frutos (Solarte *et al.*, 2010).



Fotografía tomada por
Natalia Rodríguez-Castillo.

POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR: Con la bomba de presión se puede medir el potencial hídrico de la hoja, por tanto de la planta. Indica la energía con la cual el agua está siendo retenida en un tejido (Solarte *et al.*, 2010). Su medida se realiza antes del amanecer porque nos permite determinar cuál es el estado hídrico de la planta y si puede estar o no sufriendo algún tipo de estrés, luego se vuelve a medir hacia medio día cuando hay la mayor radiación solar. Un buen estado hídrico de la planta se observa cuando al final del día la planta se recupera aumentando su potencial hídrico.

POTENCIAL HÍDRICO DEL SUELO: Con el tensiómetro que se introduce a 15-20 cm de profundidad en el suelo se calcula el potencial hídrico en el suelo. Valores muy altos (por encima de -70kPa) indican que hay poca disponibilidad de agua para las plantas y por tanto puede generar estrés en las plantas (Fischer *et al.*, 2009).



Fotografías tomadas por
Natalia Rodríguez-Castillo.

ENFERMEDADES Y PLAGAS RELACIONADOS CON GRANADILLA

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DE SINTOMAS O SIGNOS	RECOMENDACIONES
Secadera (<i>Fusarium</i> spp.)	<p>Enfermedad.</p> <p>Presente en diferentes estados de desarrollo de la planta. Coloración amarillenta en hojas, tallo, raíz, frutos. Muerte de la planta.</p>	<p>Control preventivo con tratamiento químico o físico del suelo; al diagnosticarse debe eliminarse la planta (incinerar), tratar el sitio con fungicida y encalar (Rivera <i>et al.</i>, 2002). Se recomienda aplicación del hongo <i>Trichoderma</i> sp. y otros hongos de suelo biocontroladores durante las diferentes etapas de desarrollo de las plantas (Rivera <i>et al.</i>, 2002).</p>
Virus de la hoja morada	<p>Enfermedad.</p> <p>Presencia de tonalidades moradas a lo largo de las venas y nervaduras de la hoja. En los cogollos o brotes tiernos las hojas se deforman y se arrugan. En los frutos se manifiesta como anillos y moteados de color verde</p> <p>Reducción de tamaño y calidad de los frutos.</p>	<p>Eliminar e incinerar inmediatamente hojas con síntomas. Utilizar semillas sanas. Manejo de plagas como trips que son transmisores. Manejo preventivo de arvenses hospederas alternas. Aplicar sustancias enmascaradoras como quelatos de zinc, magnesio y boro. El virus generalmente se transmite por el uso de herramientas contaminadas (García <i>et al.</i>, 2007).</p>



Secadera (*Fusarium* spp.)
Fotografías tomadas por Adalberto Rodríguez-Carlosama.



Virus de la hoja morada
Fotografías tomadas por Katherine Rodríguez-León.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DE SINTOMAS O SIGNOS	RECOMENDACIONES
Moho gris de los botones florales (<i>Botrytis</i> sp.)	Enfermedad. El moho de color gris ataca botones florales y frutos durante los primeros estados de desarrollo.	Manejo de la humedad relativa dentro del lote por medio de podas para facilitar ingreso de luz y circulación de aire, y labores de adecuación de suelo para evitar encharcamiento. Desinfección de herramientas de poda. Manejo preventivo con fungicidas dirigidos a las flores y frutos. Aplicación de hongo <i>Trichoderma</i> sp., caldos supermagro, caldo de ceniza y caldo sulfocálcico (García <i>et al.</i> , 2007).
Ojo de pollo (<i>Phomosis</i> sp.)	Enfermedad. Hojas afectadas presentan lesiones redondas con anillos concéntricos de color marrón. Amarillamiento de las plántulas y caída de hojas.	Se debe evitar establecer semilleros y almácigos en zonas húmedas. Eliminar, recolectar e incinerar hojas afectadas. Realizar podas de formación, dejando un tallo principal hasta que alcance el alambre. Realizar podas sanitarias, facilitando entrada de luz y circulación del aire. Establecer drenajes en caso de encharcamiento. Desinfectar herramientas de poda. Aplicación de hongo <i>Trichoderma</i> sp, y aplicación preventiva con extracto de manzanilla y canela (García <i>et al.</i> , 2007).



Moho gris de los botones florales (*Botrytis* sp.) Fotografías tomadas por Katherine Rodríguez-León.



Ojo de pollo (*Phomosis* sp.)
Fotografías tomadas por Katherine Rodríguez-León.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DE SINTOMAS O SIGNOS	RECOMENDACIONES
Trips (<i>Thrips</i> sp.)	Plaga. Se encuentra generalmente en época seca. Se presentan malformaciones en botones florales. Se observa amarillamiento y secamiento de las hojas y brotes.	Método usado para su control consiste en colocar trampas en el cultivo, estas trampas pueden ser construidas con material plástico de diferentes colores a los que se les impregna de una sustancia pegajosa. Se deben revisar periódicamente y cambiar con frecuencia (cada 15 días), reduciendo la población del insecto. Se recomiendan control preventivo (podas, fertilización, etc) (Rivera <i>et al.</i> , 2002).
Mosca del botón floral (<i>Dasiops</i> sp.)	Plaga. Se alimenta de las estructuras florales, causando la caída del botón floral y daño del fruto en crecimiento.	Recolectar botones, flores y frutos del suelo; posteriormente incinerar. Realizar podas con frecuencia. Evitar uso de insecticidas. Distribuir por todo el lote en floración y producción trampas con cebado de proteína hidrolizada. Aplicar extractos vegetales como ají, ajo y ruda como repelente (García <i>et al.</i> , 2007).



Trips (*Thrips* sp.)
Fotografías tomadas por Katherine Rodríguez-León.



Mosca del botón floral (*Dasiops* sp.)
Fotografías tomadas por Katherine Rodríguez-León.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN DE SINTOMAS O SIGNOS	RECOMENDACIONES
Arañita de hoja (Tetranychus sp.)	Plaga. Ácaro de color rojo, que dan esta apariencia a la hoja. Generalmente aparecen en épocas secas con altas temperaturas.	Manejo de podas. Aplicación de extractos vegetales como ají, ajo como Alisin, y neem con Biomel (García <i>et al.</i> , 2007).



Arañita de hoja (*Tetranychus* sp.)
Fotografía tomada por Adalberto Rodríguez-Carlosama.

MEJORAMIENTO GENÉTICO

Comprende el uso de técnicas destinadas a optimizar la expresión de la información genética existente en una planta, en un cultivo, entre otros. La idea es generar plantas con mejores combinaciones genéticas que permitan maximizar el rendimiento, la tolerancia a diferentes tipos de estrés, o la resistencia a plagas y enfermedades. Si en cultivo se encuentran algunas plantas tolerantes a la sequía, al ataque de plagas o enfermedades, o producen frutos de gran tamaño, buen peso, buen contenido de azúcar, mejor color en la pulpa, o presentan buen porte, podría pensarse en seleccionar para iniciar un programa de mejoramiento. Al tener plantas con dichas características se pueden propagar por semilla para preservarlas. Una vez se cuente con una buena cantidad de esas plantas seleccionadas, se procede a realizar experimentos para determinar el mejor método de mejoramiento. Existen técnicas convencionales que se pueden implementar fácilmente en campo (Martínez, 1999).

Métodos de mejoramiento

- **Selección de plantas y propagación:** primordialmente por semillas.

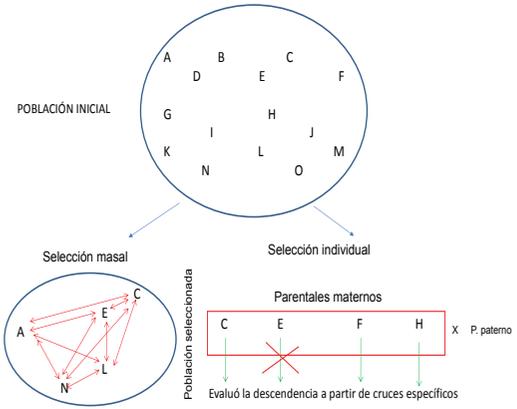


Figura de Nohra Rodríguez-Castillo.

- **Cruzamientos intra e interespecíficos:** Los cruzamientos intraespecíficos se realizan entre plantas de la misma especie, por ejemplo: granadilla cultivada X granadilla silvestre, este cruzamiento permite introducir dentro del material cultivado alguna(s) característica(s) del material silvestre. Generalmente los materiales más rústicos como los silvestres presentan frutos más pequeños, lo cual no es de interés para el productor, pero, están mas adaptados a ambientes desfavorables, o tienen resistencia a patógenos como *Fusarium solani* o *Fusarium oxysporum*. Como las características de interés para el productor pueden perderse en las primeras descendencias, se realizan retrocruzas a fin de recuperarlas en futuras generaciones (Allard, 1960).

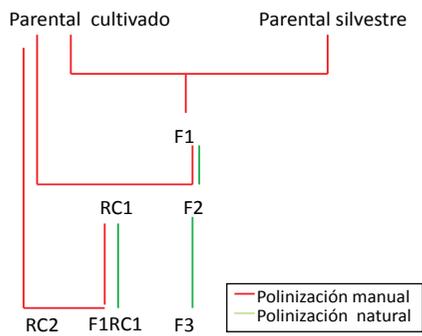


Figura de Nohra Rodríguez-Castillo.

Los **cruzamientos interespecíficos** se realizan con plantas de especies emparentadas para asegurar la compatibilidad de sus genomas. En el caso de granadilla, se han realizado cruzamientos con *P. maliformis* o cholupa como una posible fuente de resistencia a *Fusarium sp.* Algunas pasifloras con su potencialidad son presentadas en la siguiente tabla.

ESPECIE	POTENCIALIDAD PARA CRUZAMIENTO
<i>P. alata</i>	Alto grado de fertilidad y buena calidad de los frutos
<i>P. cincinnata</i>	Alto grado de fertilidad y buena calidad de los frutos
<i>P. caerulea</i>	Resistente a condiciones climáticas adversas y bacteriosis
<i>P. mollisima</i>	Resistente a <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>passiflorae</i>
<i>P. maliformis</i>	Resistente a <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>passiflorae</i>
<i>P. giberti</i>	Resistente a <i>Fusarium sp.</i>
<i>P. caerulea</i>	Tolerante a nematodos y <i>Fusarium</i> . Tolera suelos salinos y mal drenados, es usada como patrón de <i>P. edulis</i>
<i>P. manicata</i>	Tolerante a nematodos y enfermedades asociadas por hongos, por ejemplo: <i>Colletotrichum sp.</i> <i>Alternaria spp.</i> Esta puede ser usada como patrón para <i>p. tripartita</i> var. <i>mollisima</i>

¿Cómo hacer un cruzamiento?

Seleccionar los botones florales, embolsarlos para evitar que sean fecundados con polen de otra planta. Para iniciar el procedimiento y tan pronto abra la flor (anthesis) quitarla bolsa, retirar las anteras con una pinza o tijera, impregnar el estigma o parte femenina con polen de la planta de interés a cruzar (parental) con ayuda de un pincel, luego marcar la flor y colocar la bolsa nuevamente para evitar la polinización cruzada. Este procedimiento debe llevarse a cabo en las horas de la mañana o bien tarde para reducir el estrés causado por la alta temperatura y radiación del medio día (Smith y Kinman, 1965). Las anteras portadoras del polen pueden conservarse durante algún tiempo muy corto en nevera (3°C), en frascos secos de vidrio y con sílica gel para que absorba la humedad, y luego ser empleadas en los cruzamientos, aunque lo ideal es que se cuente con polen fresco para realizar los cruzamientos.

Injertos

Se puede emplear un tallo grueso, que facilite y promueva la adhesión de los tejidos más fácilmente. En el tercio medio del tallo de la planta a trabajar se realiza un corte longitudinal con una navaja, se retiran todas las ramas dejando únicamente las yemas más pequeñas. Por otra parte, el injerto en este caso de granadilla, debe tener un tallo grueso y fuerte pero puede ser de menor diámetro que el del patrón; se realiza sobre este dos cortes diagonales generando una cuña en “V”, se retiran todas las ramas dejando solo las yemas, luego, se introduce el injerto dentro del patrón y se adhiere con una buena cantidad de cinta parafinada o con un elástico que permita fusionar firmemente las dos especies. De esta manera quedan fusionados los tejidos conductores de las dos especies. Posteriormente, se va monitoreando que el injerto haya quedado bien hecho y que continúen creciendo las ramas del injerto, y podando las del patrón. El limitante de esta técnica es el costo de la mano de obra para realizar este procedimiento en una finca de grandes extensiones teniendo en cuenta que sólo durará lo que dure el cultivo. (Bizkaiko Foru Aldundia, 2014).

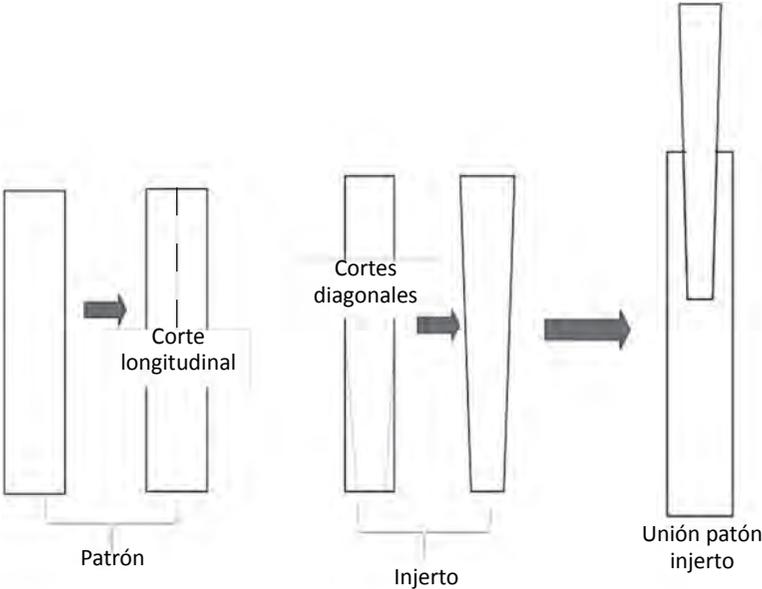
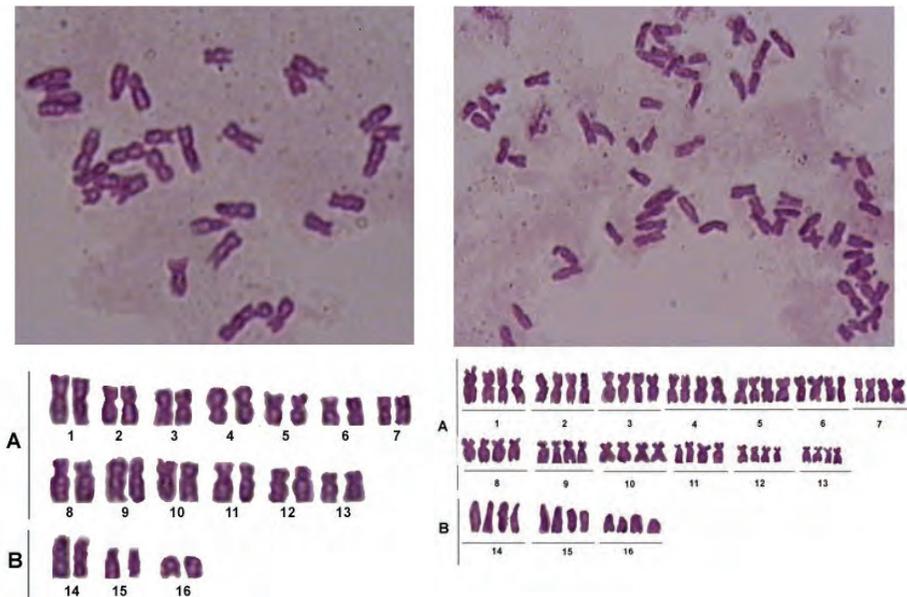


Figura de Nohra Rodríguez-Castillo.

DUPLICACIÓN DE CROMOSOMAS

También llamada duplicación de la información genética. Esto significa que si una planta tiene 32 cromosomas, al duplicar su información, tendrá 64 cromosomas. Implica por ejemplo que si tiene una dosis de un gen relacionado con la producción de azúcar, ahora tendrá dos. Estos procesos de duplicación de cromosomas llevados a cabo con algunos cultivos han permitido el incremento del tamaño del fruto, de las hojas, de la semilla, así como el incremento en la altura de las plantas. Para lograr la duplicación de los cromosomas se emplean agentes inhibidores del ciclo celular como son las bajas temperaturas (1-3°C) y algunos agentes químicos como la colchicina (Puede emplearse colchicum un medicamento empleado para la gota), orizalina (Un herbicida de empleo comercial), y otros agentes químicos como 8-hidroxiquinolina y p-diclorobenceno. Estos se emplean en plántulas recién germinadas bajo cortos tiempos de exposición y altas concentraciones (Rodríguez y Bueno, 2004).



Fuente: Rodríguez y Bueno, 2004.

REFERENCIAS

ALLARD, R. (1960). *Principles of plant breeding*. John Willey & sons Inc NY.

ARIAS, J. (2012). *Biología reproductiva del maracuya e hibridación interespecífica como estrategia para el mejoramiento genético (Passiflora edulis f. flavicarpa Degener)*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Colombia- Manizales. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

BIZKAIKO FORU ALDUNDIA. (2014). Injertos en frutales. *Boletín de agricultura*. p. 20. Disponible en línea en: www.bizkaia.net/nekazaritza/agricultura/boletines/ca_injertos.pdf

FISCHER G., CASIERRA-POSADA F., PIEDRAHÍTA W. (2009). Ecofisiología de las especies pasifloráceas cultivadas en Colombia. En: Miranda D., Fischer G., Carranza C., Magnitskiy S., Casierra F., Piedrahíta W., Flórez L. editores. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá, Colombia. pp. 45-67.

GARCÍA, J., FLORIANO, J., VERA. L.F. (2007). *Enfermedades y plagas del cultivo de granadilla (Passiflora ligularis) en el departamento del Huila*. Centro de Investigación Nataima, El Espinal, Tolima, CORPOICA, Colombia. p. 37.

MARTÍNEZ. O. (1999). *Conceptos y principios de genética cuantitativa con aplicación al mejoramiento de especies vegetales*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía, Departamento de fisiología de cultivos.

RIVERA B., MIRANDA D., ÁVILA L., NIETO AM. (2002). *Manejo integral del cultivo de granadilla (Passiflora ligularis Juss.)*. Litoas Editorial, Manizales, Colombia. pp. 9-15.

RODRÍGUEZ, N. BUENO, M. (2004). Estudio Citogenético En Physalis peruviana L. Uchuva (Solanaceae). *Acta Biológica Colombiana*, 9 (2): pp. 124-125.

SMITH, J., KINMAN, M. 1965. The use of parent off spring regression as an estimator of heritability. *Crop Science*.

SOLARTE M., PÉREZ-MARTÍNEZ L., MELGAREJO L.M. (2010). Capítulo VIII. Ecofisiología vegetal. En: Melgarejo L.M., editora. *Experimentos en fisiología vegetal*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. pp. 137-166.

FOTOGRAFÍAS

Natalia Rodríguez-Castillo, Laboratorio de fisiología y bioquímica vegetal, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia.

Liliana Hoyos Carvajal Profesora Asociada, Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín.

Adalberto Rodríguez-Carlosama, Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Passiflora de Colombia – CEPASS.

Katherine Rodríguez-León, Laboratorio de fisiología y bioquímica vegetal, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia.

Nohra Rodríguez-Castillo, Laboratorio de fisiología y bioquímica vegetal, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia.

AGRADECIMIENTOS

Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - Colciencias por la financiación del Contrato 273 -2013.

Universidad Nacional de Colombia y Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Passiflora de Colombia – CEPASS.

A los cultivadores

Wilson Medina (Santa María),

Adolfo Sarmiento (Santa María),

Dagoberto Montealegre (La Argentina),

y Carlos Hernández (La Argentina),

del departamento del Huila, Colombia.

PROYECTO “Caracterización ecofisiológica de granadilla bajo dos
condiciones ambientales en el departamento del Huila”
Contrato 273 -2013

NUTRICIÓN MINERAL, BUENAS PRÁCTICAS
AGRÍCOLAS (BPA), FISIOLOGÍA DE FRUTO
Y FENOLOGÍA DE GRANADILLA
(*Passiflora ligularis* Juss)

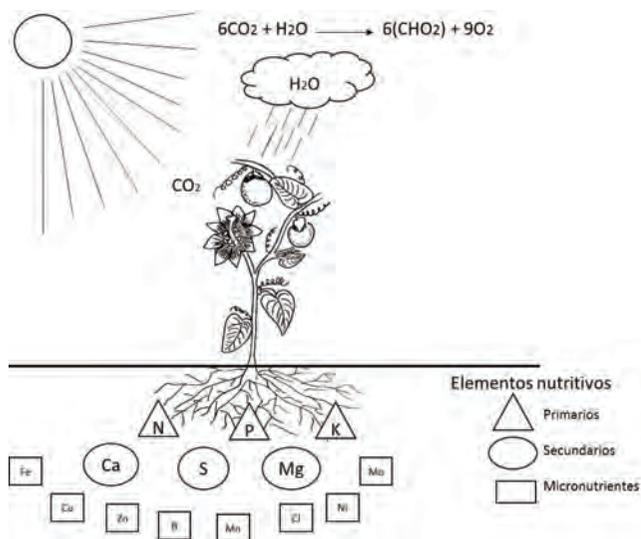
*Rodríguez-Castillo Natalia, Rodríguez-León Katherine,
Espinosa Diana, Moreno Darwin, Rodríguez Adalberto,
Miranda Diego, Melgarejo Luz Marina**
(Huila – Colombia, octubre 2014).

* Autor para correspondencia: Immelgarejom@unal.edu.co

1. NUTRICIÓN MINERAL ¿ QUÉ ES Y POR QUÉ FERTILIZAR?

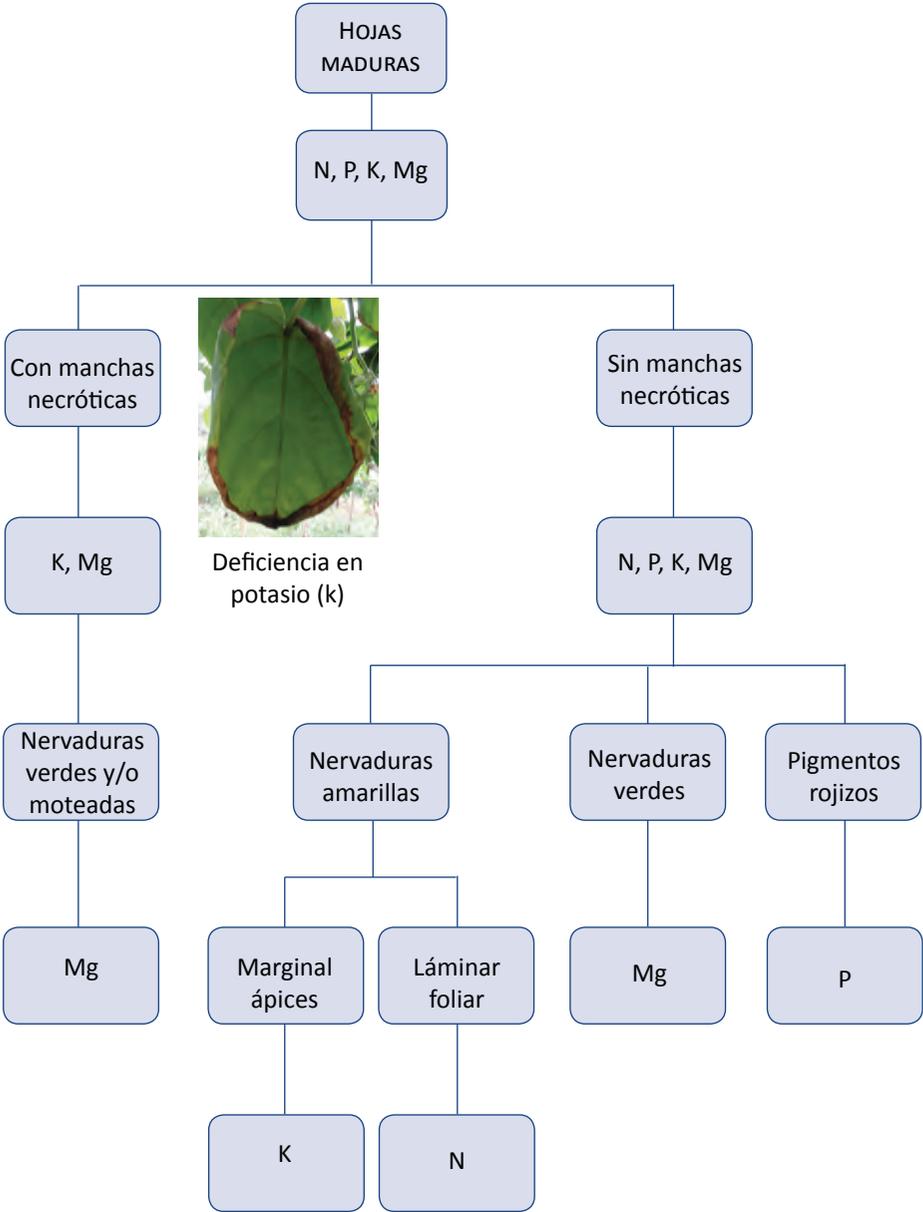
El requerimiento nutricional es la cantidad de nutriente que una planta necesita extraer del suelo para cumplir su ciclo productivo y generar un rendimiento deseado (Rivera *et al.*, 2002). La planta toma los nutrientes del aire y del suelo; sin embargo, es en el suelo donde se tiene mayor conocimiento sobre la toma de nutrientes (FAO y IFA, 2002). Cuando el suelo no cumple con los requerimientos nutricionales de las plantas se requiere la aplicación de nutrientes minerales (Magnitskiy, 2011).

- Los FERTILIZANTES pueden ser de tipo orgánico o de síntesis química.
- Es importante utilizar las fuentes orgánicas disponibles que deben ser transformados en abono y descompuestos antes de su aplicación.
- El material orgánico permite mejorar algunas condiciones del suelo (estructura, reduce erosión, regula temperatura, almacena humedad, favorece el equilibrio biótico del suelo) (FAO y IFA, 2002).



Los nutrientes son esenciales para el desarrollo de las plantas. Tomado y modificado de Gómez, 2012.

IDENTIFICACIÓN Y PRONÓSTICO DE DEFICIENCIAS DE NUTRIENTES EN PLANTAS

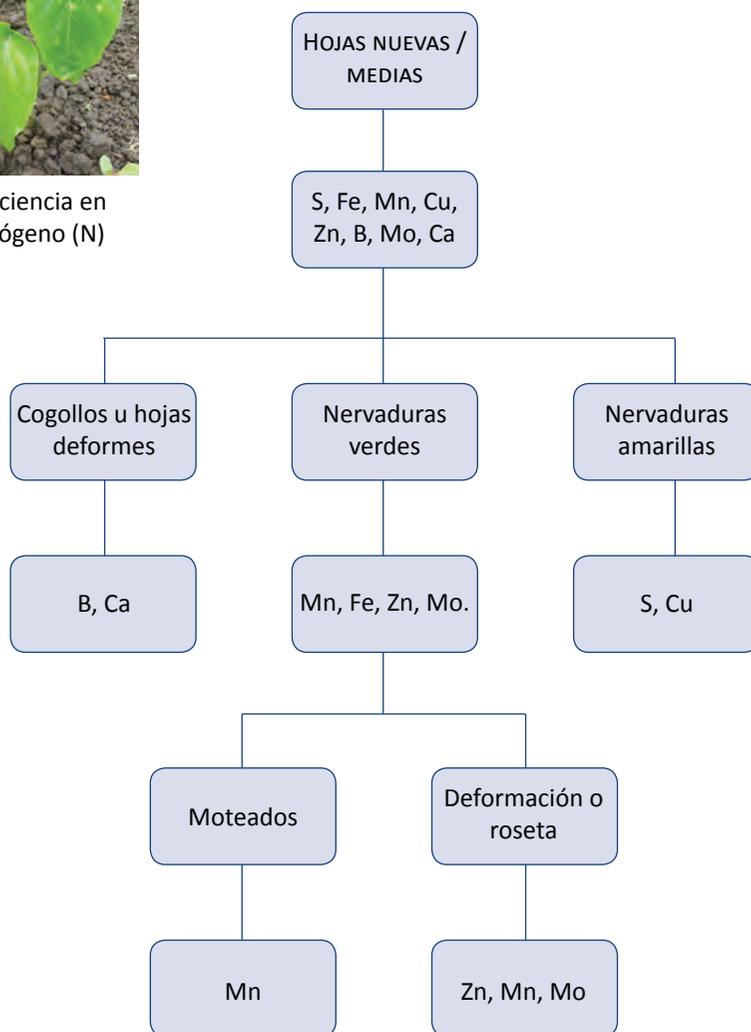


(Modificado de Gómez, 2012).
 Fotografía tomada por Adalberto Rodríguez-Carlosama.

IDENTIFICACIÓN Y PRONÓSTICO DE DEFICIENCIAS DE NUTRIENTES EN PLANTAS



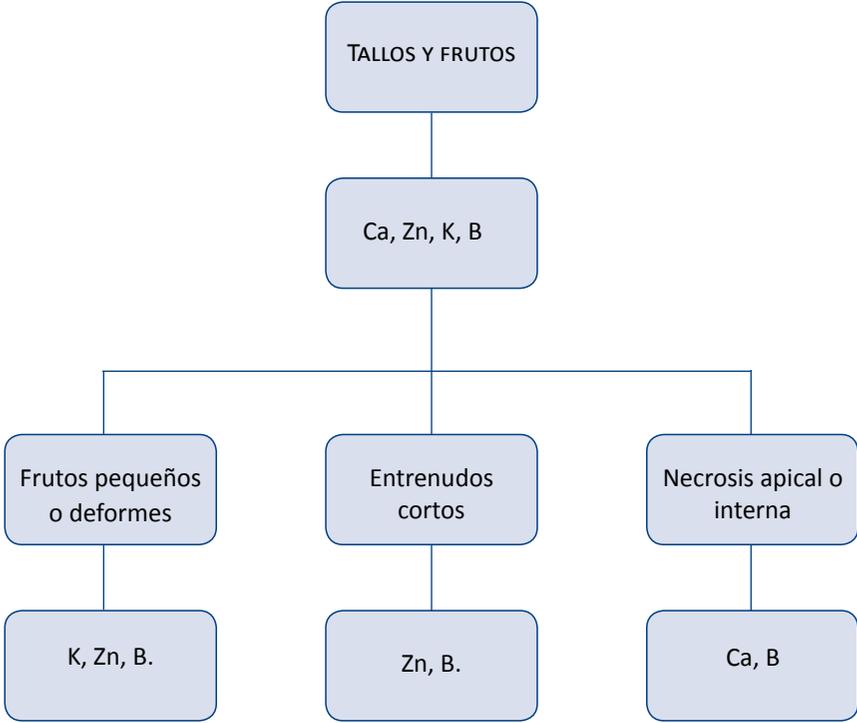
Deficiencia en Nitrógeno (N)



(Modificado de Gómez, 2012).

Fotografía tomada por Adalberto Rodríguez-Carlosama.

IDENTIFICACIÓN Y PRONÓSTICO DE DEFICIENCIAS DE NUTRIENTES EN PLANTAS



Deficiencia en Boro (B)



Deficiencia en Calcio y Boro (Ca) y B)

(Modificado de Gómez, 2012).
Fotografías tomadas por Adalberto Rodríguez-Carlosama.

¿ POR QUÉ HACER ANÁLISIS DE SUELO Y DE TEJIDO FOLIAR?

Análisis de suelo

- Proporciona información sobre las características fisicoquímicas que inciden en la disponibilidad de nutrientes (Rivera *et al.*, 2002); es decir, permite conocer cuánto hay de cada nutriente en el suelo y su disponibilidad para la planta, y cuánto debe ser aplicado en forma de fertilizante mineral para obtener un buen rendimiento del cultivo (FAO y IAF, 2002).
- El resultado de la cantidad total de los nutrientes individuales en los suelos tiene un valor muy limitado, para predecir el suministro de los mismos para las diferentes etapas del crecimiento vegetal. Normalmente están poco relacionados con valores de los nutrientes disponibles. Además, los niveles de referencia con los que se comparan son muy generales, por tanto, se logra una mayor aproximación determinando los nutrientes disponibles (Miranda 2014).



Análisis de tejidos de la planta

- Permite diagnosticar el estado nutricional del cultivo y evaluar la disponibilidad de reservas en la planta (Rivera *et al.*, 2002). Se usan normalmente hojas jóvenes (4-5ta hoja desde el ápice-tercio medio de la rama) (Magnitskiy, 2011).
- Las muestras foliares deben ser tomadas en las épocas del crecimiento vegetativo activo y de pre-fructificación (Magnitskiy, 2011). Además, se debe tener en cuenta las condiciones ambientales al momento del muestreo, la variedad o el cultivar, si es una planta injertada o no, entre otros.
- Los resultados del análisis de tejidos de la planta se consideran complementarios al resultado del análisis de suelo y mediante varias metodologías se pueden relacionar para diseñar planes de fertilización para cultivos en diferentes etapas de desarrollo y sitios de plantación específicos (Miranda, 2014).



Fotografías tomadas por Katherine Rodríguez-León.

PARÁMETROS Y MÉTODOS DE ANÁLISIS

PARÁMETRO	MÉTODOS DE ANÁLISIS	VALORACIÓN
pH	Suspensión suelo: agua (relación peso: volumen 1:1)	Potenciométrica
CE: Conductividad eléctrica	Extracto de la pasta de saturación	Conductimétrica
CO: Carbono orgánico oxidable	Walkley-Black	Colorimétrica
N: Nitrógeno total	Estimado a partir del CO (factor empleado 0,0862)	
Ca,K,Mg, Na: Bases intercambiables	Extracción con NH ₄ - Acetato 1M pH 7	Absorción Atómica
CIC: Capacidad de intercambio catiónico	Desplazamiento del NH ₄ intercambiado con NaCl	Volumétrica
CICE: CIC Efectiva	Estimado por suma de bases y acidez intercambiables	
AI: Acidez intercambiable	Extracción con KCl 1M	Volumétrica
P: Fósforo disponible	Bray II	Colorimétrica
S: Azufre disponible	Extracción con fosfato monocálcico	Turbidimétrica
CU, Fe, Mn, Zn: Microelementos	Extracción con DTPA	Absorción Atómica
B: Boro	Extracción con fosfato monocálcico	Colorimétrica
Arcilla (Ar), limo (L) arena (A)	Bouyocos, dispersión con Na-Hexa-metafosfato	Densimétrica
Textura	Triángulo de clasificación textural USDA	

Metodología de análisis de suelo del Laboratorio de Suelos, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2014.

FORMA DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE UN ANÁLISIS DE FERTILIDAD DE SUELOS PARA GRANADILLA

Niveles generales de referencia

Elemento	Clima	Alto	Medio	Bajo
N	Frío	>0.50	0.25-0.50	<0.25
	Medio	>0.25	0.15-0.25	<0.15
	Cálido	>0.20	0.10-0.20	<0.10

Municipio: La Argentina, Huila. Cultivo: Granadilla

Elemento	Alto	Medio	Bajo
P	>40	20-40	<20
K	>0.55	0.15-0.35	<0.15
Ca	>6	3.6-6.0	<3
Mg	>2.5	1.5-2.5	<1.5

Altitud: 2232 msnm. Edad: 4 meses

pH	CE ds/m	CO	N	Ca	K	Mg	Na	Al	CICE	CIC
		%		meq/100g						
5,3	ns	11,6	1,00	1,61	0,74	0,77	0,18	1,31	4,62	ns
ns: no solicitado										
P	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Ar	L	A	Textura
mg/kg							%			
3,13	ns	0,13	98,7	1,69	7,10	0,19	15	24	61	FA

Finca La Merced (La Argentina, Huila).

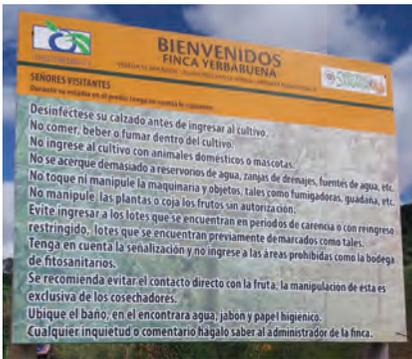
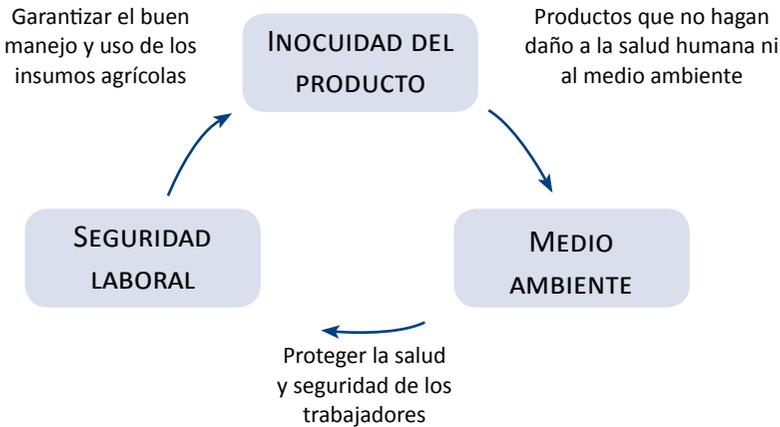
Para la interpretación de resultados se acude a diferentes metodologías como son:

- Comparación con niveles críticos, que relacionan la concentración del nutriente y su afectación sobre el rendimiento (esta metodología tiene varios inconvenientes para la definición del nivel crítico).
- Comparación con valores estandarizados (obtenidos en muestras de varios cultivos con condiciones normales del cultivo).
- Comparación con rangos de suficiencia para el cultivo, los cuales se obtienen bajo condiciones controladas (técnica del elemento faltante en soluciones nutritivas y soluciones aplicadas a plantas establecidas en sustratos inertes, extracción de nutrientes).

2. BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS: Estudio de caso Granadilla (Finca Yerbabuena - Santa María, Huila, Colombia)

Resolución 4174 de 2009 del Instituto Colombiano Agropecuario - ICA

“Conjunto de prácticas para el mejoramiento de los métodos convencionales de producción agrícola, haciendo énfasis en la inocuidad del producto, y con el menor impacto de las prácticas de producción sobre el ambiente y la salud de los trabajadores.”



Finca Yerbabuena (Santa María, Huila).
Fotografía tomada por Luz Marina Melgarejo. (ICA, 2009; FAO, 2007).

REQUISITOS DE LAS BPA's

Documentales

- Identificación del solicitante, identificación y ubicación precisa del predio
- Documento de pertenencia o uso del predio, plano de la finca con señalización de áreas cultivadas y vías de acceso.
- Permisos de uso de suelo y/o aguas.



Áreas e instalaciones

- Sanitarios adecuados y lavamanos equipados.
- Almacén de insumos, separado de la vivienda, con señalización.
- Botiquín de primeros auxilios, extintor y kit para derrames; señalización de peligros y uso de protección personal.
- Área de dosificación separada y preparación de mezclas de insumos agrícolas.
- Área de acopio y almacenaje temporal de los productos cosechados.
- Área para el consumo de alimentos y descanso de los trabajadores.



Equipos, utensilios y herramientas

- Programa y registro de actividades de mantenimiento, desinfección y calibración.
- Instructivo y/o procedimiento para el manejo que evite riesgos, daños y mal funcionamiento.



Personal

- Elementos de protección personal de acuerdo a la labor.
- Capacitación permanente (documentada) sobre insumos agrícolas, higiene, manejo de equipos y riesgos profesionales.
- Un integrante capacitado en primeros auxilios y manejo de extintores.

Fotografías tomadas por Katherine Rodríguez-León.

(ICA, 2009)

COMPROMISOS DEL PRODUCTOR

Evaluar las características y recursos de la zona (RIESGOS) que afecten la INOCUIDAD, PRODUCTIVIDAD y CALIDAD de los productos agrícolas.

Identificar la FUENTE DE AGUA a utilizar en las labores, evaluar su calidad (microbiológica y fisicoquímica) y tener un plan de protección del recurso.

Tener un **MANEJO INTEGRADO DEL CULTIVO** (manejo de suelos, manejo integrado de plagas MIP, material de propagación, nutrición de la planta, protección del cultivo)

DOCUMENTACIÓN Y REGISTRO de cumplimiento de los parámetros exigidos (procedimientos, instructivos, planos, calibraciones, registro y/o preparación de insumos agrícolas, registro de capacitaciones, entre otros).



(ICA, 2009)

Fotografías tomadas por Katherine Rodríguez-León.

COMPROMISOS DEL PRODUCTOR

DISEÑAR PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS, establecer áreas de barbecho debidamente identificadas para disposición de estos residuos.



Manipulación y correcta disposición de **ENVASES DE PLAGUICIDAS**. Implementar técnica de triple lavado, perforación de los envases sin dañar la etiqueta y mantenimiento adecuado hasta la devolución al fabricante.



REMOCIÓN DE RESIDUOS VEGETALES de podas sanitarias o plantas enfermas, ya sea retirándolos del lote o enterrándolos. Preferiblemente retirar

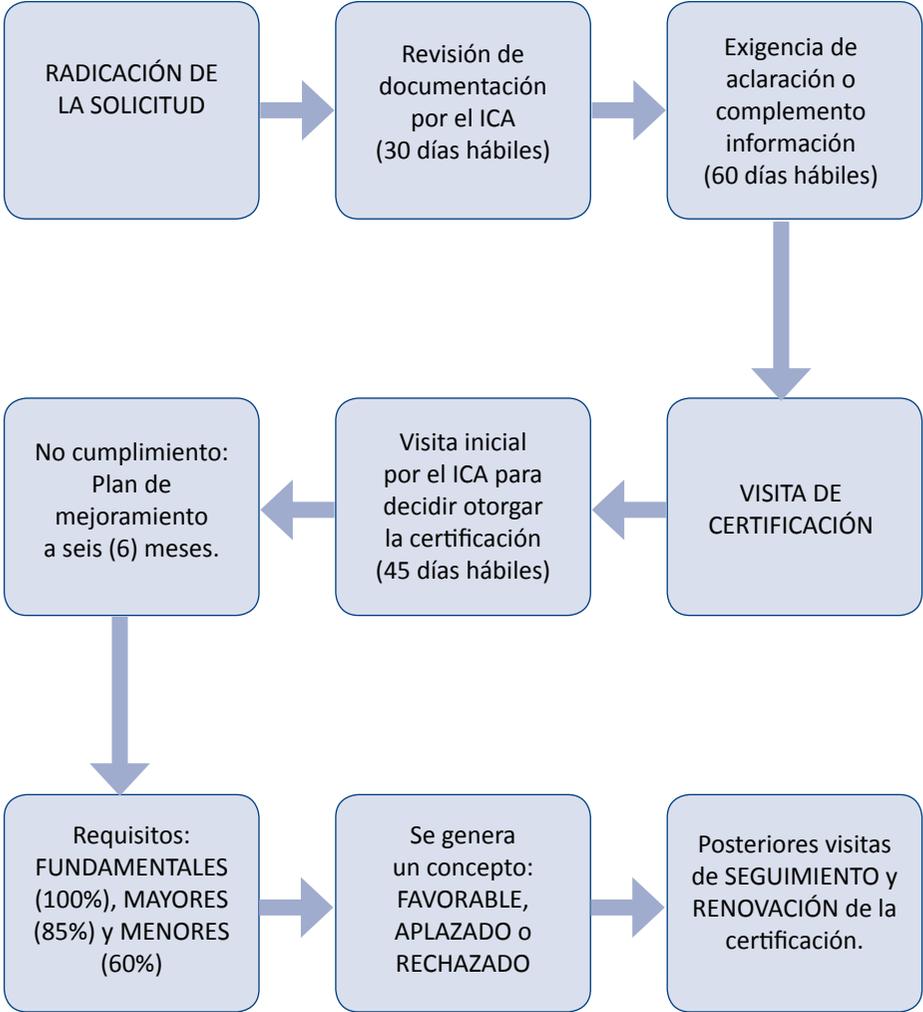
Dar **AVISO OPORTUNO AL ICA** cuando se generen **MODIFICACIONES** o **CAMBIOS EN LA INFORMACIÓN** suministrada para obtener la certificación.



(ICA, 2009)

Fotografías tomadas por Katherine Rodríguez-León.

TRÁMITE DEL CERTIFICADO DE BPA

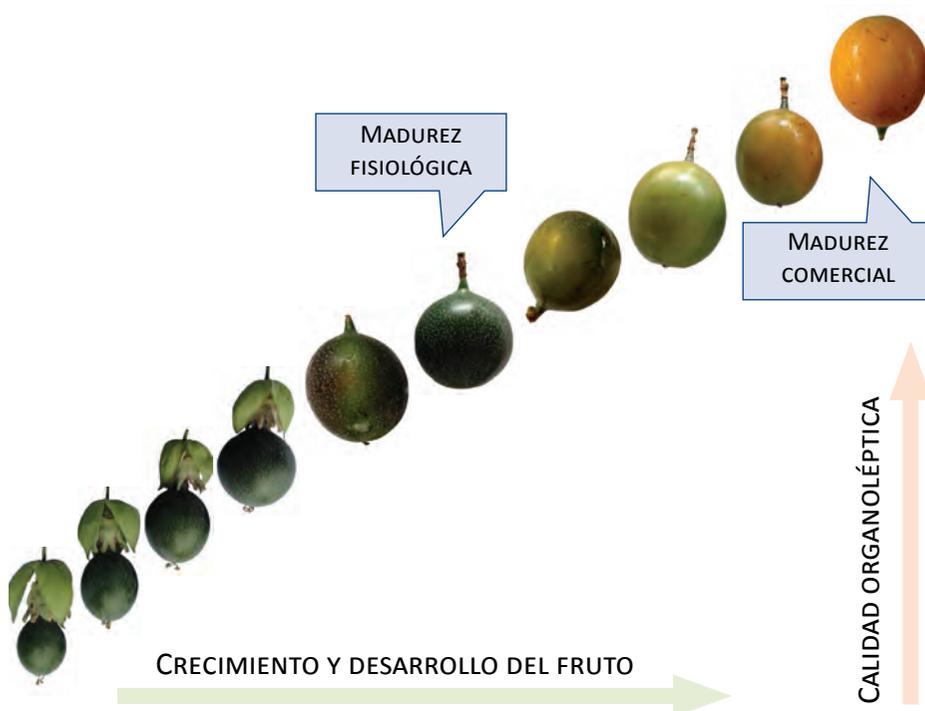


(ICA, 2009)

3. FISIOLÓGÍA DE FRUTO

¿Que es la madurez?

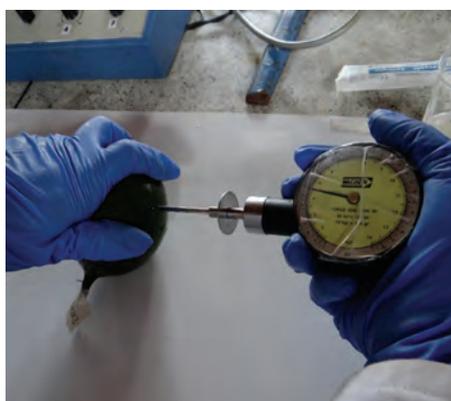
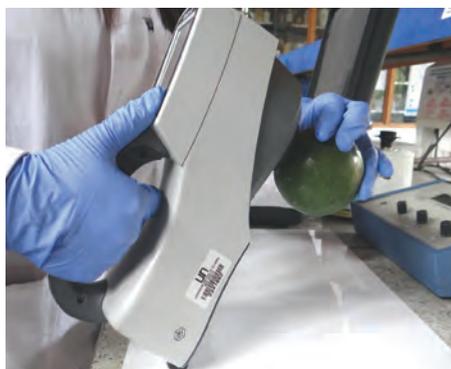
- **Madurez fisiológica:** Cuando la fruta logra su máximo estado de crecimiento y desarrolla todas sus partes. Las semillas están formadas, maduras y aptas para su reproducción.
- **Madurez de cosecha:** Es una etapa fisiológica en el desarrollo de la fruta, la cual se desprende del árbol y puede llegar a desarrollar su madurez de consumo.
- **Madurez de consumo:** Es el momento del desarrollo fisiológico del fruto cuando todas las características sensoriales propias del fruto, como el sabor, el color, el aroma, la textura y la consistencia son completas (Pinzón *et al.*, 2007).



Fotografías tomadas por Diana Espinosa y Adalberto Rodríguez-Carlosama.

¿QUE ES LA CALIDAD?

- La calidad de un producto se determina por las condiciones de crecimiento, regímenes nutricionales y el potencial genético de una variedad (FAO, 2003).
- Los aspectos principales que definen la calidad de un fruto son las propiedades sensoriales (color, sabor, textura, aroma y apariencia), nutritivas (características bioquímicas) y funcionales (vitaminas) (Valero y Serrano, 2010).



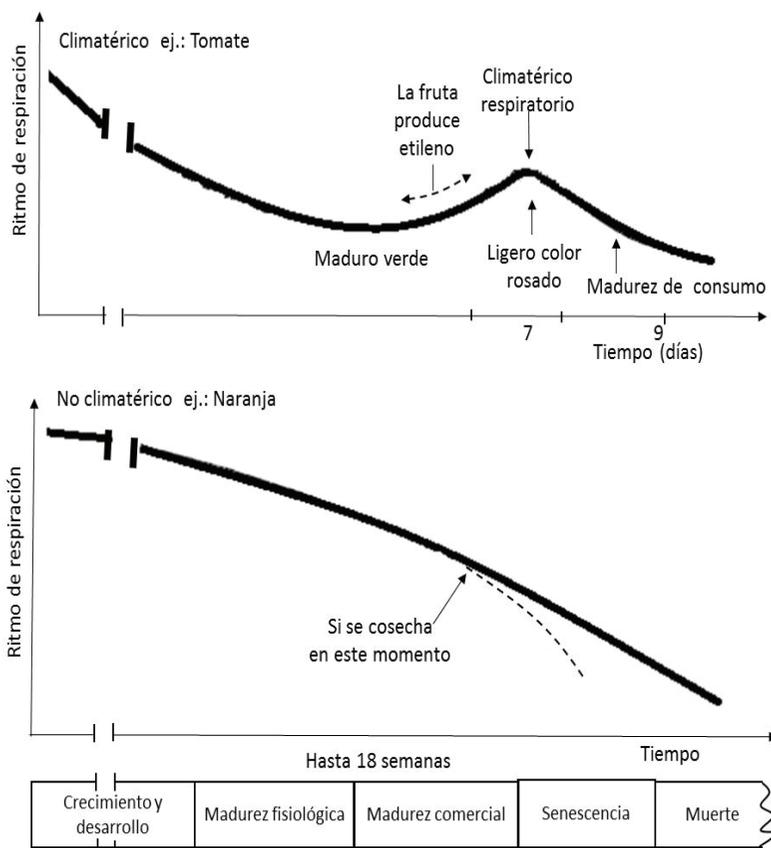
Fotografías tomadas por Diana Espinosa.

¿QUE ES UN FRUTO CLIMATÉRICO?

- Es un fruto que es capaz de generar etileno, una hormona necesaria para que el proceso de maduración continúe, aún separado de la planta.
- Los cambios en el sabor, aroma, color y textura están asociados a un pico transitorio respiratorio y vinculados estrechamente a la producción autocatalítica del etileno (FAO, 2003).



Fotografía tomada por Diana Espinosa.



Fuente: FAO, 1989.

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

ATT -Acidez Total
Titulable



Titulación con NaOH

COLOR



Colorímetro

ÁCIDOS ORGÁNICOS
Y AZÚCARES



Cromatografía
líquida – HPLC

PESO FRESCO



Balanza analítica

RESPIRACIÓN



Cromatografía de gases

DIÁMETRO



Calibrador

pH



pH-metro

SST - SÓLIDOS SOLUBLES
Totales



Refractómetro

FIRMEZA



Penetrómetro

Fotografías tomadas por Diana Espinosa.

4. FENOLOGÍA DEL CULTIVO DE GRANADILLA- Proyecto en ejecución

- La **FENOLOGÍA** es el estudio periódico de los eventos biológicos de un organismo, la cual es determinada por fases que marcan la **aparición, transformación o desaparición de órganos vegetativos y reproductivos**, tales como la emergencia de las plantas, aparición de nudos, brotes, flores y frutos (Flórez *et al.*, 2012; Salazar *et al.*, 2008; Rivera *et al.*, 2002).



- En el proceso de crecimiento de las plantas, la ocurrencia de estos cambios en el tiempo se llama “**fase**” y el período entre dos distintas fases es llamado “**estado fenológico**” (Villalpando y Ruíz, 1993).



- Una **etapa fenológica** está delimitada por dos fases sucesivas (Rivera *et al.*, 2002).

Fotografías tomadas por Adalberto Rodríguez y Diana Espinosa.

¿ PARA QUÉ SIRVE LA FENOLOGÍA?

- Determinar la capacidad de una zona o región para producir cosechas dentro del esquema de su régimen climático. El clima genera un efecto directo sobre la fenología del cultivo, especialmente la temperatura y la precipitación (Rajan *et al.*, 2011).
- Pronosticar épocas de madurez de frutos (cosecha) necesarias para suplir la oferta de mercado.
- Preparar e implementar un adecuado plan de manejo del cultivo, generando alertas ante cambios ambientales.
- Estimar periodicidad de los ciclos del cultivo.
- Programas de mejoramiento genético (Variedades e híbridos - Precocidad).
- **¿Qué es la escala BBCH?**: la escala BBCH (*Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry*), desarrollada por entidades de orden internacional, surge como respuesta a la necesidad de crear un vocabulario común que permita unificar bajo un solo código las diferentes especies vegetales basado únicamente en características fenológicas de las plantas (Meier, 2001).



Fotografía tomada por Adalberto Rodríguez-Carlosama.

Escala BBCH para cultivos de granadilla en el Huila (Colombia)



Estado 51
Botón floral
visible



Estado 52-57
Cartuchos
florales



Estado 58
Máximo tamaño
de la flor



Estado 65
Plena floración
(antesis)



Estado 69
Fin de la floración
(Cuajado de fruto)



Estado 70
Fruto visible



Estado 71
Fruto con 10% de
su tamaño final



Estado 75
Fruto con 50%
de su tamaño final



Estado 79
Fruto alcanza
tamaño propio de
su especie



Estado 83
Fruto con 30%
color verde 70%
amarillo



Estado 85
Fruto con 50%
color verde
50% amarillo



Estado 89
Fruto en madurez
comercial

Fotografías tomadas por Katherine Rodríguez-León y Adalberto Rodríguez-Carlosama.

LITERATURA CITADA

GÓMEZ M.I. Fertilización de frutales. En: Fischer, G. (Ed). *Manual para el cultivo de frutales en el trópico*. Produmedios, Bogotá, Colombia. p. 141- 168. 2012.

FAO y IAF. *Los fertilizantes y su uso*. Roma. Cuarta Edición. pp. 87. 2002. En: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuso.pdf>

FAO. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas, del campo al mercado. *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO*. Roma, Italia. Volumen 151. pp. 179. 2003 En: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/y4893S/y4893S00.pdf>

FAO. Manual *Buenas Prácticas Agrícolas para la Agricultura Familiar*. Roma, Italia. pp. 54. 2007 En: <http://www.fao.org/co/manualbpa.pdf>

FLÓREZ LM., PÉREZ LV., MELGAREJO LM. Manual calendario fenológico y fisiología del crecimiento y desarrollo del fruto de Gulupa (*Passiflora edulis* Sims) de tres localidades del departamento de Cundinamarca. p. 33-51. En: *Ecofisiología del cultivo de la Gulupa (Passiflora edulis* Sims). Melgarejo LM. (Ed). Editorial Universidad Nacional de Colombia. p. 144. 2012.

ICA. Resolución 004174 del 06 de noviembre de 2009. *Por medio de la cual se reglamenta la certificación de Buenas Prácticas Agrícolas en la producción primaria de frutas y vegetales para consumo en fresco*. pp. 14. 2009. En: <http://www.ica.gov.co/getattachment/b0afcc30-d68b-4e41-9fea-66a4360ce60d/2009R4174.aspx>

MAGNITSKIY, S. *Manejo de fertilización en pasifloráceas*. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. 2011. En: http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_149_Manejo_fertilizaci%C3%B3n.pdf

MEIER, U. *Estadios de las plantas mono- y dicotiledóneas, BBCH Monografía*. Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura. Segunda Edición. p. 149. 2001.

RAJAN S, TIWARI D, SINGH V K, SAXENA P, SINGH S, REDDYL Y, UPETRIL K, BURONDKAR M, BHAGWAN A., KENNEDY R. Application

of extended BBCH scale for phenological studies in mango (*Mangifera indica* L.). *Journal of Applied Horticulture*. 13 (2): 108-114 2011.

RIVERA B., MIRANDA D., AVILA L., NIETO AM. *Manejo integral del cultivo de granadilla (Passiflora ligularis* Juss). Litoas Editorial, Manizales, Colombia. 2002.

SALAZAR M R, JONES J W, CHÁVEZ B, COOMAN A Y FISCHER G. Base temperature and simulation model for nodes appearance in cape gooseberry (*Physalis peruviana*). *Revista Brasileira de Fruticultura*. 30(4): 862-867. 2008.

PINZÓN, I. FISCHER, G. & CORREDOR, G. Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims.) *Agro-nomía Colombiana* 25(1): 83-95. 2007.

VALERO, D., SERRANO, M. *Postharvest Biology and Tecnology for Preserving Fruit Quality*. Taylor & Francis Group. Valero, D., Serrano, M. Editores. Primera Edición. New York, USA. p. 217. 2010.

VILLALPANDO J., RUÍZ, A. *Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura*. Editorial Limusa. México. 1993.

FOTOGRAFÍAS

Rodríguez Katherine, Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Departamento de Biología - Universidad Nacional de Colombia.

Espinosa Diana, Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Departamento de Biología - Universidad Nacional de Colombia.

Rodríguez Adalberto, Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Passiflora de Colombia – CEPASS.

Melgarejo LM., Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Departamento de Biología - Universidad Nacional de Colombia.

AGRADECIMIENTOS Y CREDITOS

Al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - Colciencias por la financiación del Contrato 273 -2013. A la Universidad Nacional de Colombia y a la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Passiflora de Colombia – CEPASS. A los cultivadores Wilson Medina (Santa María), Adolfo Sarmiento (Santa María), Dagoberto Montealegre (La Argentina) y Carlos Hernández (La Argentina).

PROYECTO “Caracterización ecofisiológica de granadilla bajo dos
condiciones ambientales en el departamento del Huila”
Contrato 273 -2013

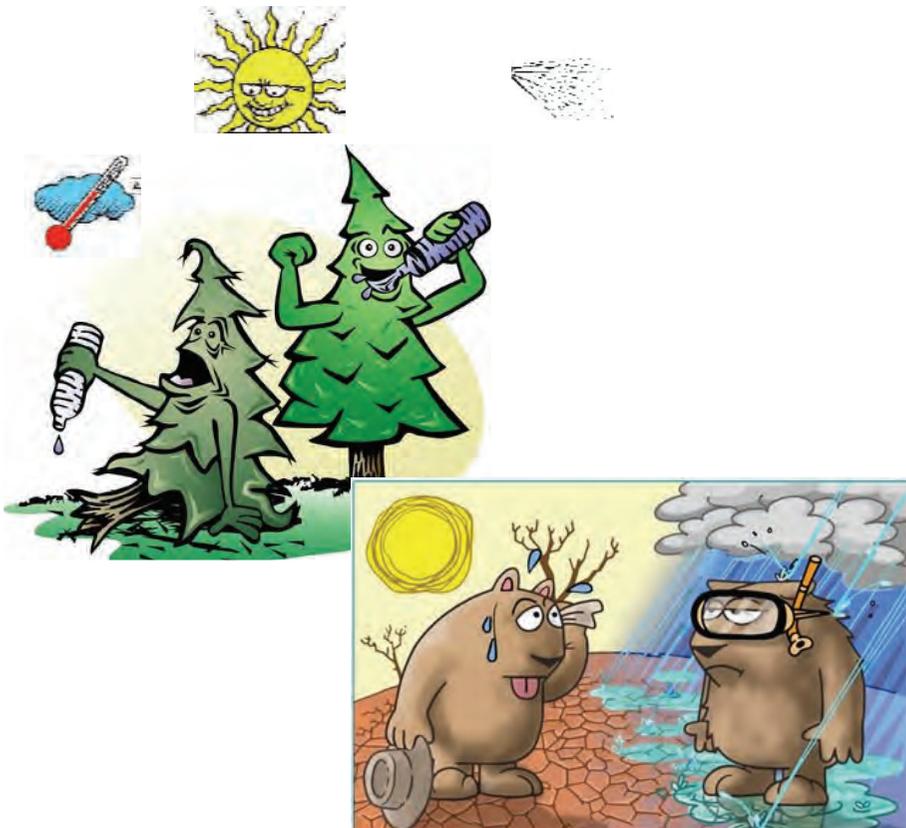
“... A TENER EN CUENTA PARA
EL CULTIVO DE LA GRANADILLA
(*Passiflora ligularis* Juss)”

*Rodríguez-León Katherine, Espinosa Diana,
Rodríguez-Castillo Natalia, Rodríguez Adalberto,
Miranda Diego, Melgarejo Luz Marina**
(Huila – Colombia, Mayo 2015).

* Autor para correspondencia: Immelgarejom@unal.edu.co

FISIOLOGÍA VEGETAL: Estudia funcionamiento de las plantas bajo condición controlada

ECOFISIOLOGÍA VEGETAL: Estudia el funcionamiento de las plantas bajo la interacción Planta (genotipo)- ambiente; así como los procesos de aclimatación, adaptación, tolerancia o mecanismos de la planta frente al ambiente, al estrés biótico y abiótico



Fuente: Esquemas de PMS instrument- USA.

LA ECOFISIOLOGÍA

- Permite dilucidar condiciones óptimas para el desarrollo de un cultivo. El éxito de una especie en determinado sitio.
- Tras la identificación de materiales con buenas características en rendimiento y en capacidad de respuesta frente al ambiente, o frente a estreses abióticos o bióticos; permite seleccionar cuáles de ellos son susceptibles de mejoramiento genético o para el desarrollo de cultivares productivos en ambientes específicos.
- Permite valorar la capacidad de los genotipos y la calidad de sus metabolitos.



Fotografías tomadas por Adalberto Rodríguez-Carlosama



Información general de la ubicación de los cultivos de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) evaluados ecofisiológicamente, en el Departamento del Huila.

MUNICIPIO	VEREDA	NOMBRE FINCA	COORDENADAS		ALTITUD (msnm)
			N	O	
Santa María	Mirador	La Ceiba	02° 57' 48,7''	075° 37' 13,2''	2.060
La Argentina	Alto Carmen	La Merced	02° 11' 58,6''	075° 55' 36,3''	2.232

Rev. L.M. Melgarejo.

PROMEDIO DIARIO DE LAS VARIABLES AMBIENTALES MÁS IMPORTANTES PARA EL DESARROLLO DE LAS PLANTAS DE GRANADILLA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA- COLOMBIA

Variable ambiental		Localidad	
		La Ceiba (Santa María)	La Merced (La Argentina)
PAR (horas de máxima radiación μmol fotones/ m^2s)		1.267	1.474
Temperatura atmosférica (°C) promedio diaria	Diurna (7:00-17:00 h)	19,2	19,3
	Nocturna (18:00-6:00 h)	14,7	14,4
Humedad relativa (%)	Diurna (7:00-17:00 h)	84	73
	Nocturna (18:00-6:00 h)	93	89
Déficit de presión de vapor (kPa)		0,23	0,40
Precipitación media anual (mm)		1.200	1.380

Las dos localidades presentan condiciones óptimas para la producción de granadilla y buena capacidad fotosintética (Más detalles!!, ver Resultados capítulo 1 del presente libro). Se sugiere que otras regiones del país con parámetros similares podrían ser potencial para el cultivo de granadilla.

FENOLOGÍA

Es el estudio periódico de los eventos biológicos de un organismo, la cual es determinada por fases que marcan la aparición, transformación o desaparición de órganos vegetativos y reproductivos, tales como:

- Germinación de las semillas.
- Emergencia de las plantas.
- Emisión de ramas.
- Activación de yemas.
- Aparición de nudos y brotes.
- Aparición de flores.
- Formación de frutos.
- Maduración de frutos.

(Flórez *et al.*, 2012; Salazar *et al.*, 2008; Rivera *et al.*, 2002).

DESCRIPCIÓN ESCALA BBCH

Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry.

General para todas las especies, pero se adecua para cada caso en específico.

Necesidad de un vocabulario común, basado en características fenológicas de las plantas. Se aplica para monocotiledóneas como dicotiledóneas.

- Mismo estadio fenológico = mismo código.
- Cada código con descripción conocida, algunos con dibujos.
- Uso de características externas fácilmente reconocibles.
- Solo se toma el desarrollo del tallo principal.
- Se usan tamaños relativos a los finales a esperar.

(Meier, 2001)

LOCALIDADES DE ESTUDIO

Datos de ubicación y altitud de las fincas productoras de granadilla, incluidas en estudio fenológico, en el Departamento del Huila-Colombia.

FINCA	MUNICIPIO	VEREDA	COORDENADAS		ALTITUD msnm
			N	O	
La Ceiba	Santa María	Mirador	02° 57' 48,7''	75° 37' 13,2''	2.060
Yerbabuena	Santa María	Mirador	02° 57' 53,9''	75° 37' 50,4''	2.270
Betania	La Argentina	Betania	02° 12' 55,7''	75° 56' 54,7''	1.845
Providencia	La Argentina	Sinaí	02° 09' 14,0''	76° 58' 45,0''	1.935
La Merced	La Argentina	Alto Carmen	02° 11' 58,6''	75° 55' 36,3''	2.232

MADURACIÓN DE FRUTO

Escala BBCH establecida para el Estado 8: Maduración de frutos de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en parcelas experimentales establecidas en campo y cultivos comerciales de la zona.

CÓDIGO BBCH	DDA*	DESCRIPCIÓN
81	70	Inicio de la maduración / coloración del fruto.
82	n.d	La corteza del fruto presenta el 10% del color típico para la especie.
83	78	La corteza del fruto presenta el 25% del color típico para la especie.
84	n.d	La corteza del fruto presenta el 40% del color típico para la especie.
85	85	La corteza del fruto presenta el 50% del color típico para la especie.
8.		Los estados continúan hasta
88	n.d	La corteza del fruto presenta el 90% del color típico para la especie, disminución de la consistencia del fruto.
89	92	Maduración plena, de recolección. Fin de la coloración típica según la especie.

* Días después de antesis.



CÓDIGO 83

CÓDIGO 85

CÓDIGO 89

Fotografías tomadas por Katherine Rodríguez-León.



Otros resultados de estados fenológicos...
Ver capítulo 2 del presente libro)

FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA FRUTA

Alteraciones de la textura

- Temperatura solar
- Áreas sombrías
- Nutrición (boro)



Alteraciones de la apariencia

- Temperatura alta y luz (Escaldado superficial)
- Temperatura baja (Daños por frío)



Alteraciones del sabor y aroma

- Fertilizantes
- Agua
- Luz

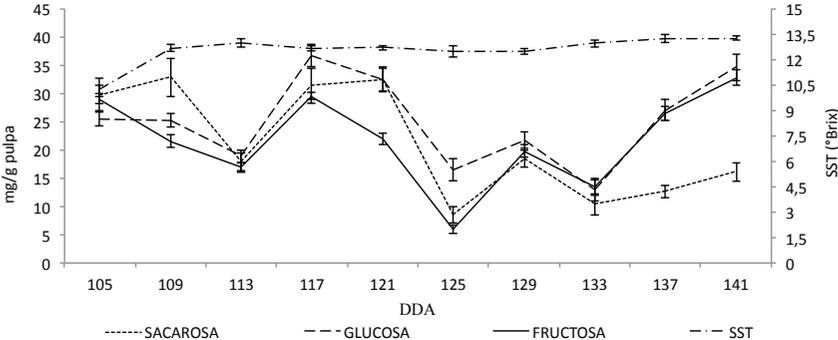
Fisiopatologías

- Desórdenes nutricionales
- Temperatura
- Luz
- Humedad relativa

Recolección

- Elección adecuada del estado de madurez

...Y entre los parámetros de calidad están: Sólidos Solubles Totales y Azúcares en Granadilla



Se observa acumulación de sacarosa durante el desarrollo del fruto hasta el día 121 Días Después de Anthesis para posteriormente mostrar una disminución; debido al aumento de los contenidos de glucosa y fructosa productos de la hidrólisis de la sacarosa.

Tabla de calidad de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss).
DDA Días después de antesis.

ESTADO DE MADUREZ		DESCRIPCIÓN	ESCALA COLOR	°Brix	ACIDEZ (%)	ÍNDICE DE MADUREZ (°Brix/ACIDEZ)
1		Fruto 100% de crecimiento, 100% verde 49-105 DDA	L= 38,49	10,2	1,4	7,6
			C= -2,76			
			h=14,55			
2		Fruto 100% de crecimiento, 60% verde - 40% amarillo 109-117 DDA	L= 53,65	12,8	1,1	12,2
			C= 9,22			
			h= 38,92			
3		Fruto 100% de crecimiento, 60% amarillo - 40% verde 121 - 129 DDA	L= 61,96	12,5	0,7	17,4
			C= 22,39			
			h= 53,27			
4		Fruto 100% de crecimiento, 100% amarillo 133-141 DDA	L= 61,77	13,1	0,7	18,5
			C= 24,43			
			h= 51,47			

Fotografías tomadas por Diana Espinoza

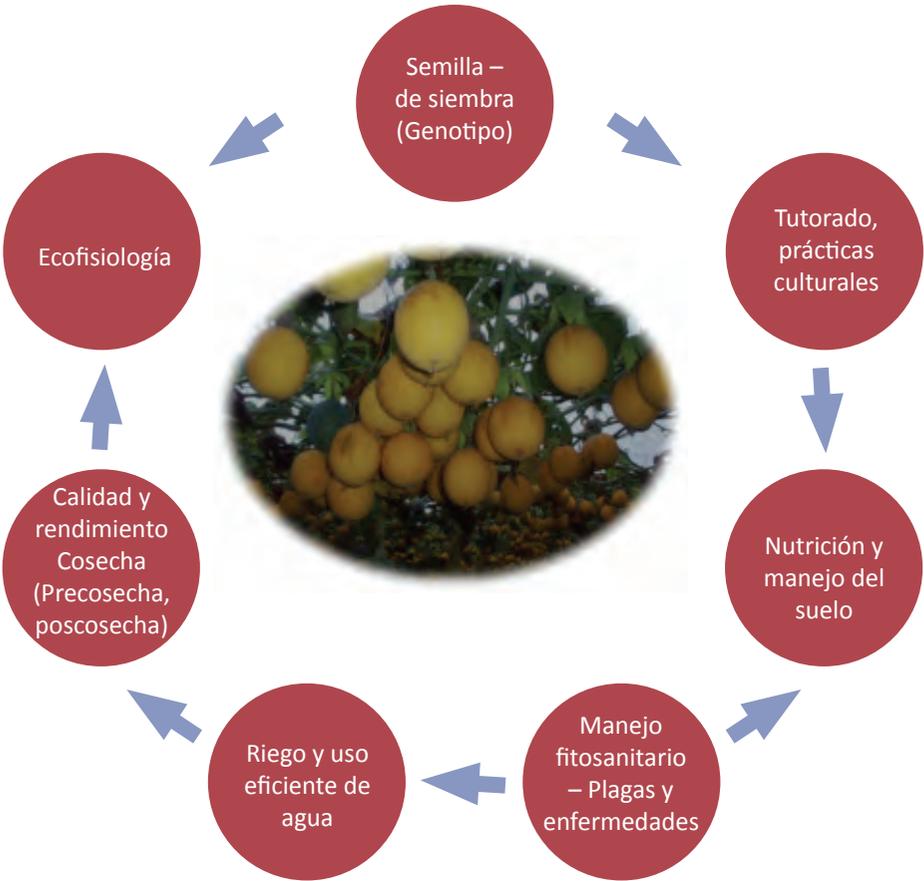
El fruto se puede cosechar en el estado 4 (código BBCH: 84) de maduración debido a que allí se expresan todas las cualidades sensoriales del fruto; sin embargo, cosechar en el estadio 3 podría brindar tiempo para transporte hacia el sitio de venta.



Otros resultados de la fisiología del fruto de granadilla....
 Ver capítulo 3 del presente libro).

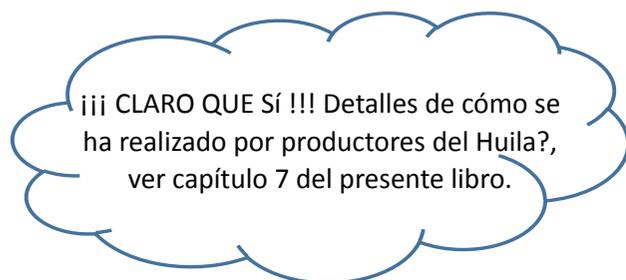
IMPLEMENTACIÓN DE LAS BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS (BPA)

Teniendo en cuenta las exigencias del mercado y el gran potencial que tiene la granadilla así como otras passifloras producidas en Colombia, se deben implementar lineamientos de manejo integrado del cultivo así como adopción de sistemas de prevención de riesgos con miras a la obtención de productos que cumplan con las normas de calidad e inocuidad



¿LOGRA EL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN UN PRODUCTOR DE GRANADILLA?

Proceso que complementa y hace más eficiente su actividad como fruticultor, propendiendo en proteger la salud humana, mitigar el impacto ambiental, uso racional de los recursos, una mayor rentabilidad y la oferta de un producto acorde a las exigencias del mercado.



Fotografía tomada por Adalberto Rodríguez-Carlosama.

AGRADECIMIENTOS

PROYECTO “Caracterización ecofisiológica de granadilla bajo dos condiciones ambientales en el departamento del Huila”

Al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - Colciencias por la financiación del Contrato 273 -2013.

A la Universidad Nacional de Colombia.

A la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Passiflora de Colombia - CEPASS.

A los cultivadores:

Wilson Medina (Santa María),

Adolfo Sarmiento (Santa María),

Dagoberto Montealegre (La Argentina),

Carlos Hernández (La Argentina),

Antonio Abella (La Argentina).

REFERENCIAS

FAO, 1989. Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas. pp.87

FLÓREZ, L.; PÉREZ, L.; MELGAREJO, L.M. 2012. Manual calendario fenológico y fisiología del crecimiento y desarrollo del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims.) de tres localidades del departamento de Cundinamarca. pp. 33 -51. En: Melgarejo M. (Ed.). *Ecofisiología del cultivo de gulupa (Passiflora edulis Sims)*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. pp. 144.

MEIER, U. 2001. *Estadios de las plantas mono- y dicotiledóneas, BBCH Monografía*. Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura. 2° Edición. pp. 149.

RIVERA, B.; MIRANDA, D.; ÁVILA, L.; NIETO, A. 2002. *Manejo integrado del cultivo de la granadilla (Passiflora ligularis Juss)*. Editorial Litoas, Manizales Colombia. pp. 123.

SALAZAR, M.; MELGAREJO, P.; MARTÍNEZ, R.; MARTÍNEZ, J.; HERNÁNDEZ, F.; BURGUERA, M. 2006. Phenological stages of the guava tree (*Psidium guajava* L.). *Scientia Horticulturae*. 108: 157 – 161.

GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss):
CARACTERIZACIÓN ECOFISIOLÓGICA
DEL CULTIVO

Editado por el Departamento de Biología, Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá,
Fuente principal Calibri

En el interior se utilizó papel mate de 115 gramos
y en la carátula papel esmaltado blanco de 250 gramos
Se imprimieron 1000 ejemplares en los talleres de Disonex S.A.
Av. calle 3 No 38-20 int 3 Bogotá, D.C., Colombia
Bogotá - junio de 2015



Este libro presenta resultados de la investigación realizada en granadilla (*Passiflora ligularis* Juss), la cual es una de las especies incluidas en la apuesta exportadora de Colombia. La demanda por esta fruta se ha incrementado para consumo tanto a nivel nacional como internacional y el sector productivo frutícola colombiano se beneficia con los precios alcanzados. Los resultados obtenidos han permitido fortalecer un paquete tecnológico con el fin de consolidar la oferta de producto de excelente calidad.

ISBN: 978-958-775-396-7



9 789587 753967