



## CAPÍTULO 2

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

*Adriana Katherine Rodríguez-León<sup>1</sup>,  
Adalberto Rodríguez Carlosama<sup>2</sup>, Luz Marina Melgarejo<sup>3\*</sup>,  
Diego Miranda Lasprilla<sup>4</sup>, Gerhard Fischer<sup>5</sup>,  
Orlando Martínez Wilches<sup>6</sup>.*

---

<sup>1</sup> Adriana Katherine Rodríguez León, [akrodriguezl@unal.edu.co](mailto:akrodriguezl@unal.edu.co), Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Departamento de Biología – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Ingeniera Agrónoma.

<sup>2</sup> Adalberto Rodríguez Carlosama, [adalberto.rodriguez@cepass.org](mailto: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.

<sup>3</sup> Luz Marina Melgarejo, [lmelgarejom@unal.edu.co](mailto:lmelgarejom@unal.edu.co), Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Departamento de Biología – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Bióloga. Ph.D.

<sup>4</sup> Diego Miranda Lasprilla, [dmirandal@unal.edu.co](mailto:dmirandal@unal.edu.co), Departamento de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Ingeniero Agrónomo. Ph.D.

<sup>5</sup> Gerhard Fischer, [gfischer@unal.edu.co](mailto:gfischer@unal.edu.co), Departamento de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Ingeniero Agrónomo. Ph.D.

<sup>6</sup> Orlando Martínez Wilches, [ormawi@hotmail.com](mailto: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).

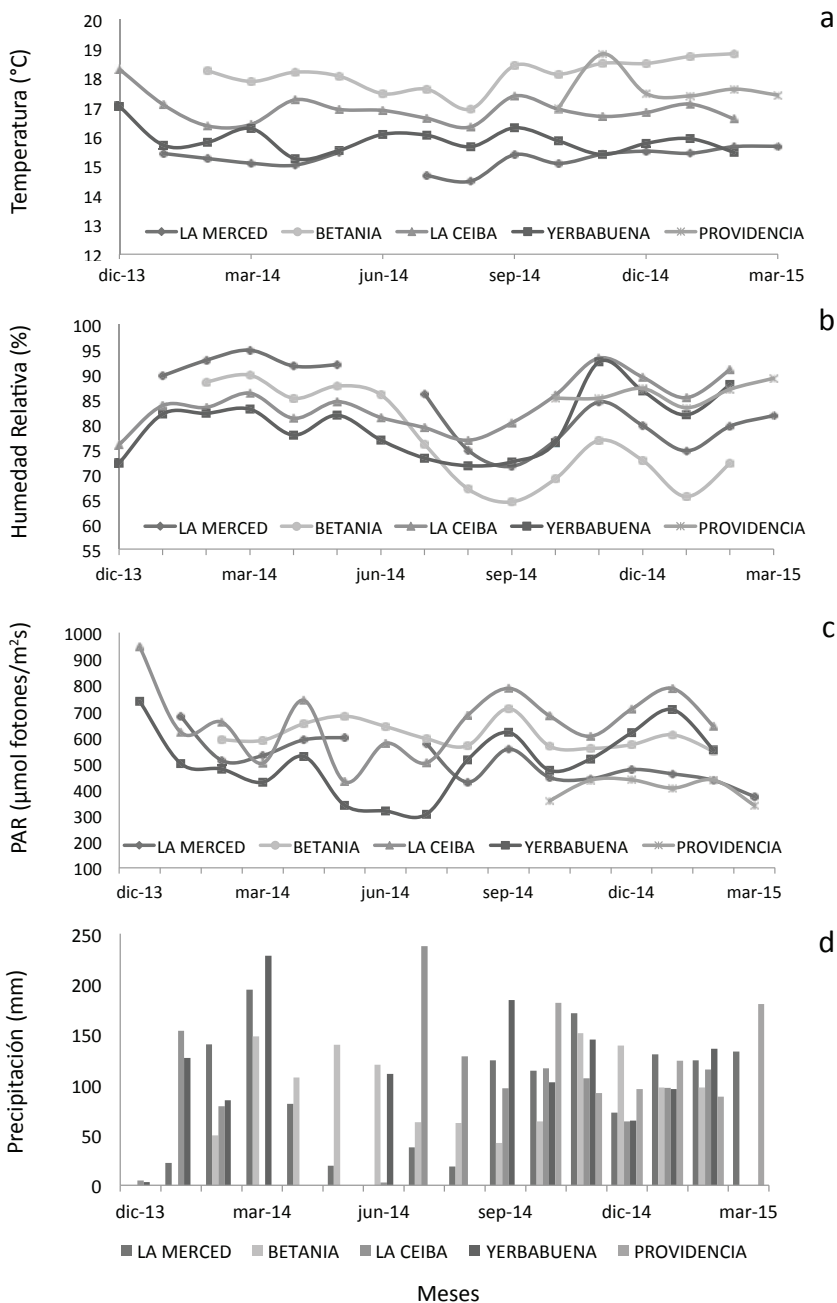
El seguimiento a los estados fenológicos se realizó en 15 plantas por parcela determinando el crecimiento de tallo principal, registrando su longitud y el número de nudos semanalmente; para las ramas primarias y secundarias se seleccionaron tres ramas representativas en 15 plantas para seguimiento de 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<sup>®</sup> 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 (μmol fotones/m <sup>2</sup> 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 μmol fotones/m<sup>2</sup>s) respecto a las demás, seguido de Betania (605,34 μmol fotones/m<sup>2</sup>s), muy similar en Yerbabuena (508,32 μmol fotones/m<sup>2</sup>s) y La Merced (506,71 μmol fotones/m<sup>2</sup>s), y finalmente Providencia (401,51 μmol fotones/m<sup>2</sup>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

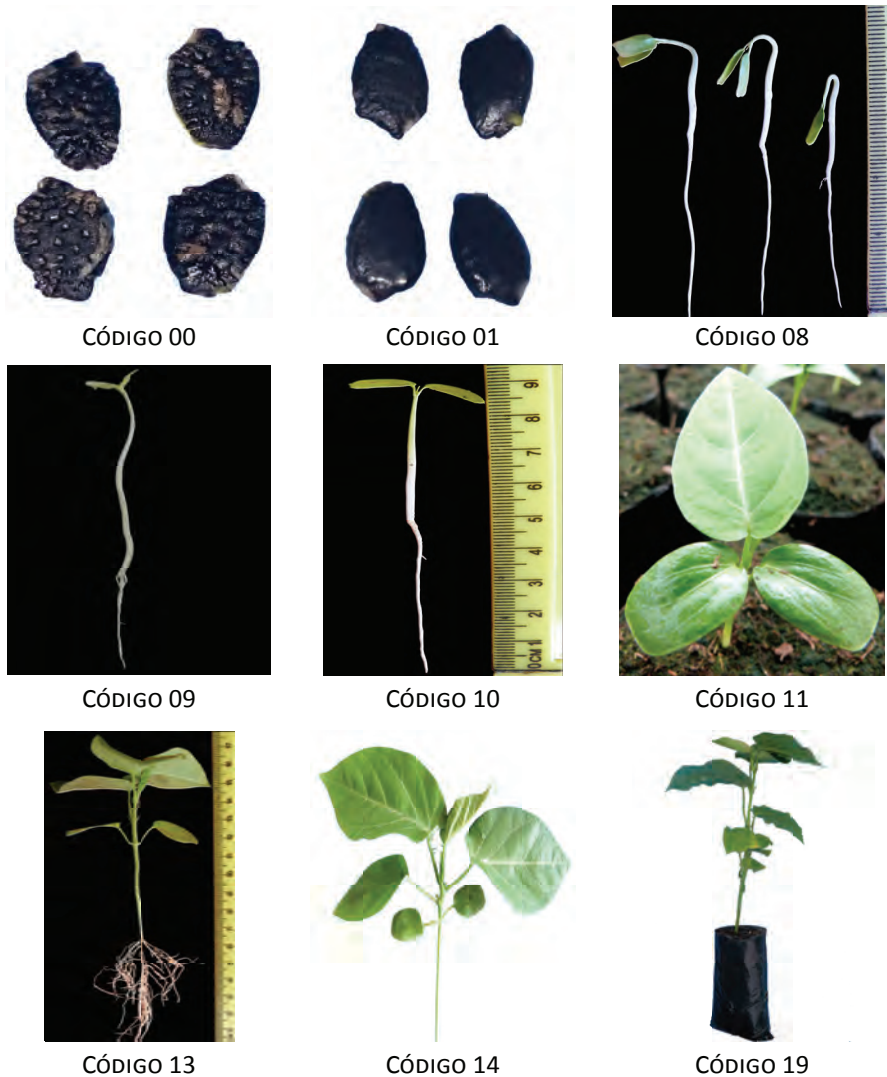
**Tabla 3.** Escala BBCH establecida para el Estado 0: germinación de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss), ensayo establecido en el municipio de Santa María (Huila).

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.

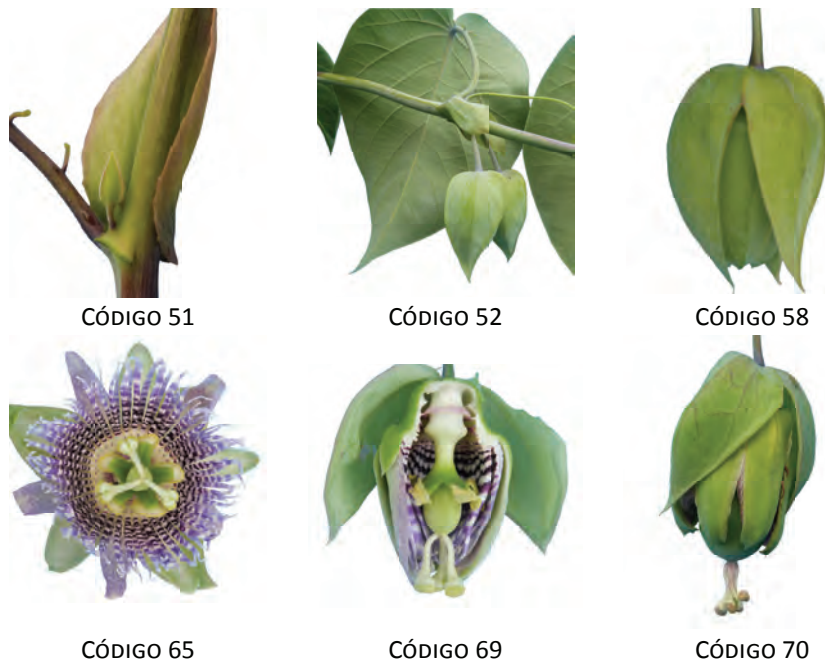
**Tabla 11.** Escala BBCH establecida para el Estado 7: Formación del fruto de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en parcelas experimentales establecidas en campo y cultivos comerciales de la zona.

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.		

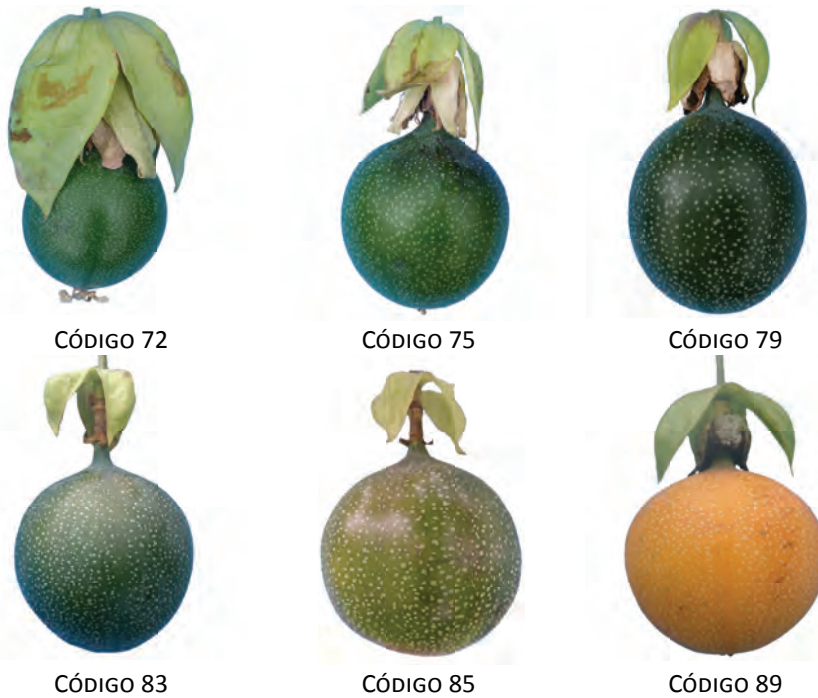
**Tabla 12.** Escala BBCH establecida para el Estado 8: Maduración de frutos de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en parcelas experimentales establecidas en campo y cultivos comerciales de la zona.

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.

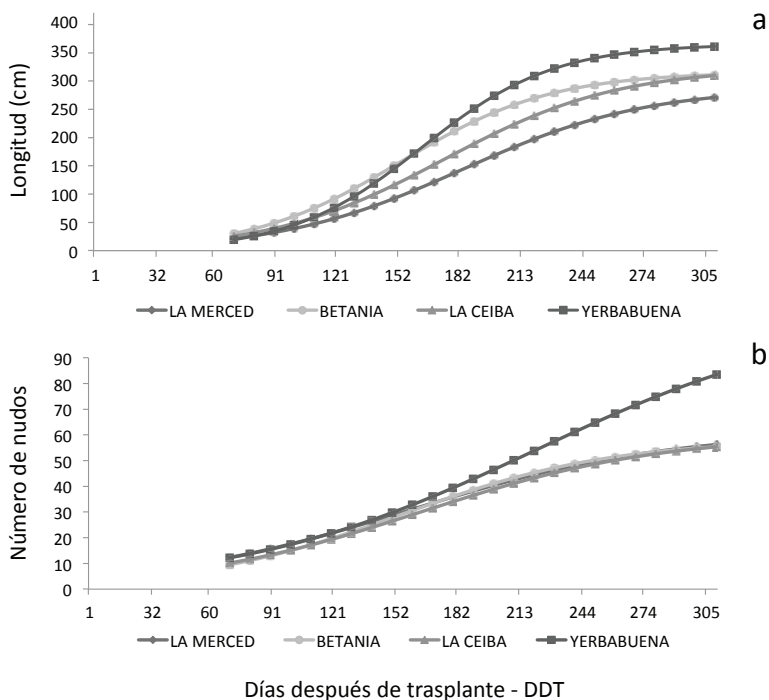
## **DESARROLLO FENOLÓGICO Y DURACIÓN DE LAS FASES FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE GRANADILLA**

### **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.

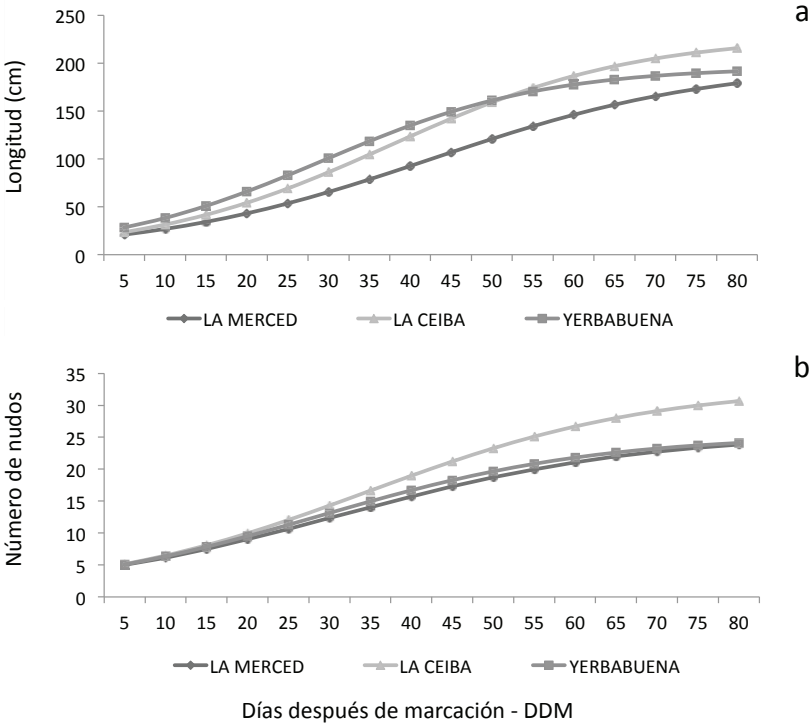
**Tabla 13.** Modelos logísticos de tres parámetros ajustados para la longitud y número de nudos del tallo principal de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) durante el estudio en las fincas productoras en el Departamento del Huila. DDT: días después de transplante.

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 <sup>2</sup> : 0,8048	$Y = \frac{61,59}{1 + \text{Exp}(2,4788 - 0,0156 * \text{DDT})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,8990
Betania	$Y = \frac{311,37}{1 + \text{Exp}(4,0666 - 0,0265 * \text{DDT})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,8149	$Y = \frac{58,2}{1 + \text{Exp}(2,9887 - 0,0193 * \text{DDT})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,7926
La Ceiba	$Y = \frac{318,84}{1 + \text{Exp}(4,023 - 0,023 * \text{DDT})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,7407	$Y = \frac{60,078}{1 + \text{Exp}(2,7771 - 0,0169 * \text{DDT})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,8230
Yerbabuena	$Y = \frac{359,94}{1 + \text{Exp}(4,9614 - 0,0303 * \text{DDT})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,9035	$Y = \frac{108}{1 + \text{Exp}(3,0227 - 0,0137 * \text{DDT})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 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.

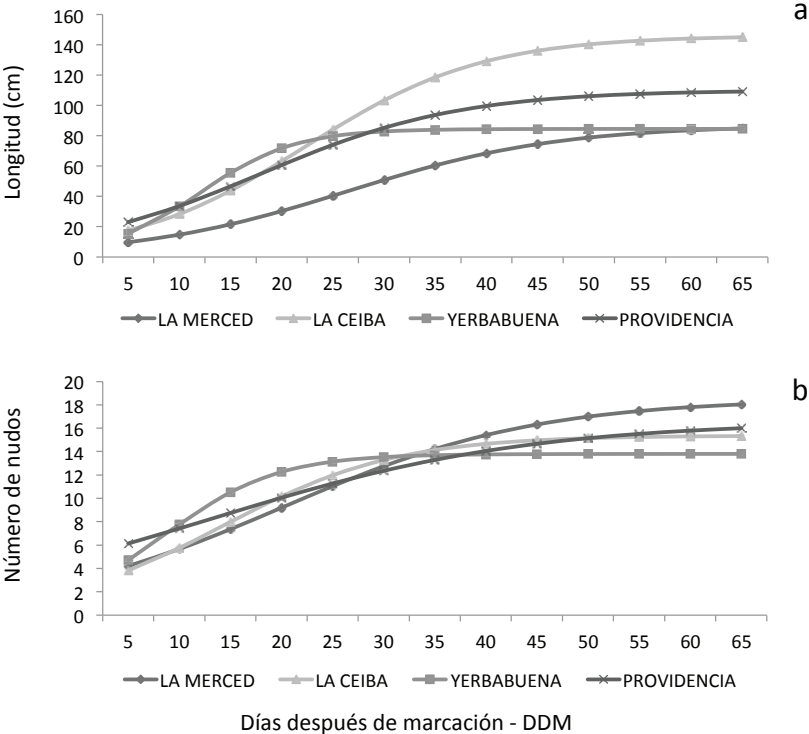
LOCALIDAD	MODELO LOGÍSTICO DE TRES PARÁMETROS AJUSTADO PARA LONGITUD	MODELO LOGÍSTICO DE TRES PARÁMETROS AJUSTADO PARA NÚMERO DE NUDOS
La Merced	$Y = \frac{200,33}{1 + \text{Exp}(2,4353 - 0,0571 * \text{DDM})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,8162	$Y = \frac{25,566}{1 + \text{Exp}(1,6865 - 0,0539 * \text{DDM})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,8380
La Ceiba	$Y = \frac{228,49}{1 + \text{Exp}(2,5007 - 0,0666 * \text{DDM})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,8119	$Y = \frac{196,18}{1 + \text{Exp}(2,1508 - 0,0735 * \text{DDM})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,8308
Yerbabuena	$Y = \frac{196,18}{1 + \text{Exp}(2,1508 - 0,0735 * \text{DDM})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,8609	$Y = \frac{25,321}{1 + \text{Exp}(1,6768 - 0,0584 * \text{DDM})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 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 <sup>2</sup> : 0,8348	$Y = \frac{18,523}{1 + \text{Exp}(1,6265 - 0,0806 * \text{DDM})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,9040
La Ceiba	$Y = \frac{146,05}{1 + \text{Exp}(2,5785 - 0,1154 * \text{DDM})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,9291	$Y = \frac{15,369}{1 + \text{Exp}(1,6948 - 0,1181 * \text{DDM})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,9232
Yerbabuena	$Y = \frac{84,537}{1 + \text{Exp}(2,5798 - 0,2152 * \text{DDM})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,8835	$Y = \frac{13,801}{1 + \text{Exp}(1,5695 - 0,1821 * \text{DDM})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,9296
Providencia	$Y = \frac{110,06}{1 + \text{Exp}(1,8478 - 0,1027 * \text{DDM})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,7021	$Y = \frac{16,581}{1 + \text{Exp}(0,8534 - 0,0642 * \text{DDM})}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,7268

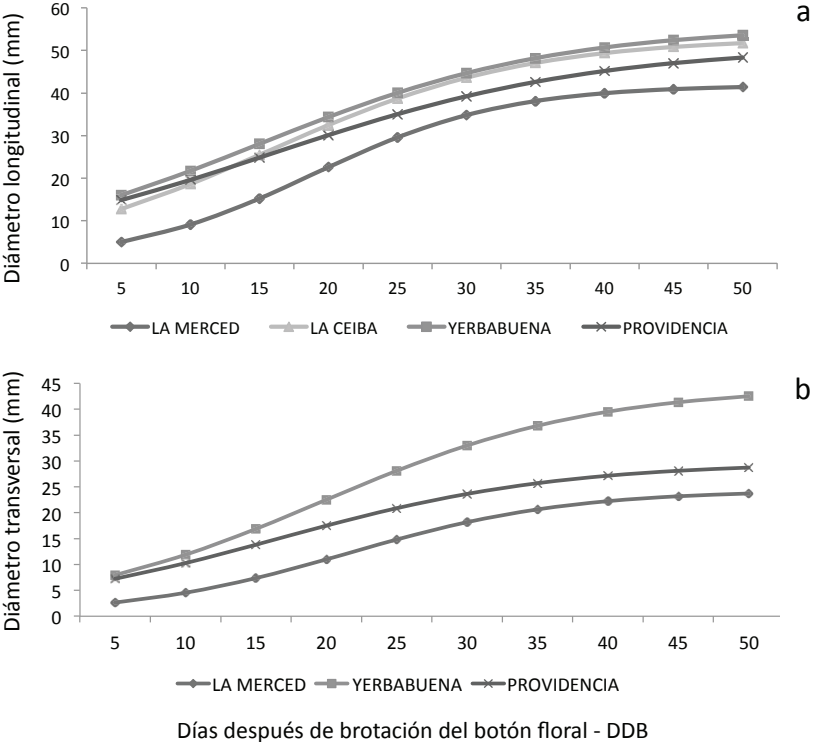
## Cambios de magnitud y desarrollo del botón floral de granadilla

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 R<sup>2</sup> 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.



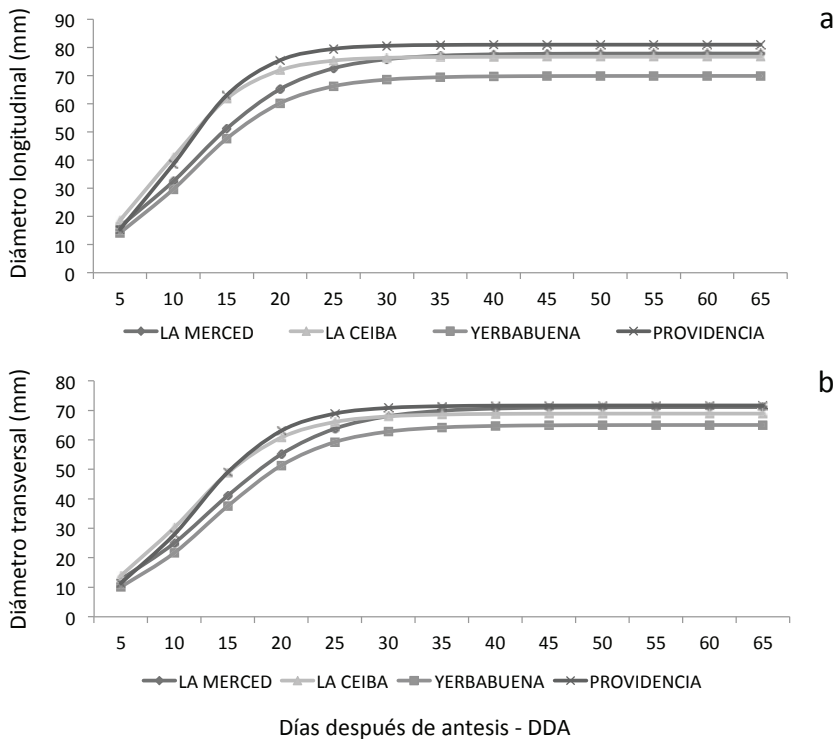
**Figura 7.** Promedio de a) Diámetro longitudinal (mm) y b) Diámetro transversal de botones florales de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) durante el estudio en las fincas productoras en el Departamento del Huila. n= 12 botones/rama, 3 ramas/planta y 15 plantas/parcela.

**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 <sup>2</sup> : 0,8246	$Y = \frac{24,346}{1 + \text{Exp}(2,7497 - 0,1277 * DDB)}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,8190
La Ceiba	$Y = \frac{53,026}{1 + \text{Exp}(1,6858 - 0,1072 * DDB)}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,9498	Crecimiento no ajustado al modelo logístico.
Yerbabuena	$Y = \frac{55,61}{1 + \text{Exp}(1,3714 - 0,0926 * DDB)}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,9248	$Y = \frac{44,374}{1 + \text{Exp}(2,0403 - 0,1035 * DDB)}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,9655
Providencia	$Y = \frac{51,058}{1 + \text{Exp}(1,3108 - 0,0837 * DDB)}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,8114	$Y = \frac{29,742}{1 + \text{Exp}(1,6361 - 0,0997 * DDB)}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 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.

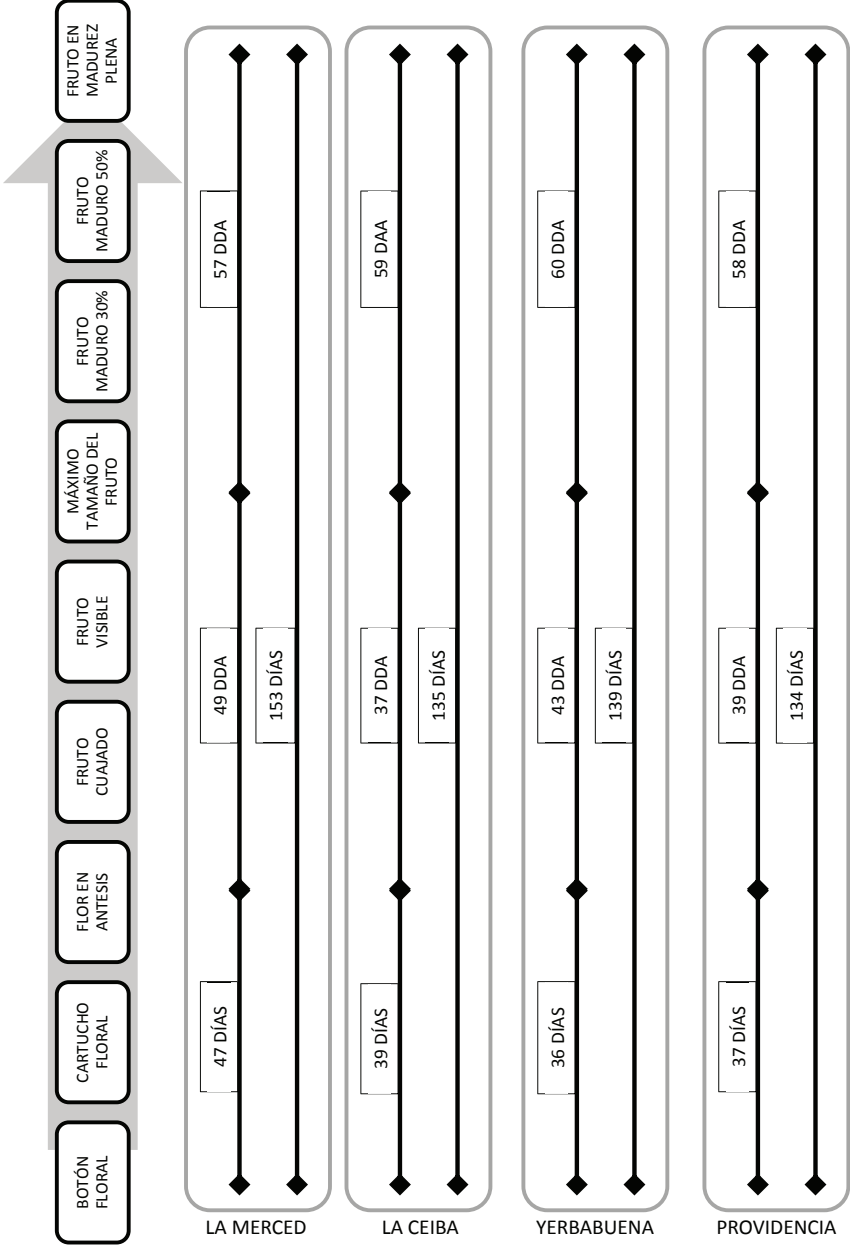
LOCALIDAD	MODELO LOGÍSTICO DE TRES PARÁMETROS AJUSTADO PARA DIÁMETRO LONGITUDINAL	MODELO LOGÍSTICO DE TRES PARÁMETROS AJUSTADO PARA DIÁMETRO TRANSVERSAL
La Merced	$Y = \frac{77,866}{1 + \text{Exp}(2,3068 - 0,1973 * DDA)}$ Pseudo R <sup>2</sup> : 0,9017	$Y = \frac{71,112}{1 + \text{Exp}(2,4591 - 0,1849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