



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Caracterización fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) bajo tres ambientes contrastantes

Laura Marcela Flórez Gutiérrez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Agronomía, Escuela de posgrados
Bogotá D.C., Colombia

2012

Caracterización fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) bajo tres ambientes contrastantes

Laura Marcela Flórez Gutiérrez

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magíster en Ciencias Agrarias

Directora:

Dr. Sci. Luz Marina Melgarejo Muñoz

Línea de Investigación:

Fisiología de Cultivos

Grupo de Investigación:

Fisiología del estrés y Biodiversidad en plantas y microorganismos

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Agronomía, Escuela de posgrados
Bogotá D.C., Colombia

2012

*A mis padres Luis y Bertha, a mi hermanita
Lilian y a mi tía Betty por su apoyo incondicional.*

Agradecimientos

Quiero agradecer a las siguientes personas y entidades por su colaboración en la elaboración de ésta investigación.

A la Profesora Luz Marina Melgarejo Muñoz, por la dirección de la tesis y respaldo desde mi pregrado.

A las Biólogas Laura Victoria Pérez Martínez y Marisol Cruz Aguilar por su apoyo en la realización de esta investigación, y por su amistad durante mi proceso de formación.

A la Ingeniera Agrónoma Carmen Tulia Potosí, a la química Sandra Carolina Crespo y a la laboratorista Yuli Paola Valencia por su colaboración en los procedimientos de laboratorio.

También quiero agradecer al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), a Ocati S.A. y a la Universidad Nacional de Colombia por la financiación del proyecto.

Finalmente, un agradecimiento especial para el señor Carlos Díaz por permitir realizar el estudio en la finca San Juanito, en el municipio de Granada. También a los encargados de cada una de las fincas: Wilson Díaz en Tena, José González en Granada y al personal de OCATI en Chía, quienes realizaron las labores relacionadas con el manejo de las parcelas experimentales.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar fisiológica y bioquímicamente el fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en tres ambientes (Granada, Tena y Chía). Para el análisis fisiológico y bioquímico se realizaron determinaciones en frutos que maduraron unidos a la planta (pre cosecha) y separados de la planta (pos cosecha), correspondientes a 5 estados de madurez (0%, 30%, 50%, 70% y 100%), siendo 0% madurez fisiológica. En cada estado se midieron las variables de respiración, emisión de etileno, color, firmeza, contenido de sólidos solubles totales (SST), acidez total titulable (%ATT), pH, índice de madurez, % pérdida de peso, evolución de proteínas, azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa) y ácidos orgánicos no volátiles (cítrico, ascórbico, málico y oxálico). Por otra parte, se realizó el seguimiento fenológico desde el estado de yema floral hasta fruto en madurez organoléptica, así como las curvas de crecimiento del fruto (peso fresco, peso seco, diámetro longitudinal y transversal) y se calcularon las tasas de crecimiento absoluto y relativo (TCA y TCR). Adicionalmente, por medio de análisis de regresión múltiple paso a paso, se determinaron las relaciones entre el clima, la fenología reproductiva y el crecimiento del fruto.

Como resultados, se obtuvo la caracterización fisiológica y bioquímica de cada estado para los tres sitios de estudio; se encontraron diferencias en el contenido de azúcares, ácidos y proteínas entre los estados y entre las localidades, relacionadas con las condiciones climáticas. La producción de etileno y la respiración mostraron tendencias similares entre los estados y las localidades, que permitieron corroborar el carácter climatérico de esta fruta. Las variables de SST, %ATT, pH, firmeza y color también mostraron diferencias que permitieron establecer al estado de 70% como el punto óptimo de cosecha para las tres localidades. Mediante el seguimiento fenológico, se establecieron la escala fenológica reproductiva BBCH y los calendarios fenológicos. Las curvas de crecimiento se ajustaron a modelos logísticos. Las variables climáticas más influyentes fueron precipitación, humedad relativa y temperatura del aire.

Palabras clave: Grados Brix, acidez, respiración, etileno, índice de madurez, fenología, curvas de crecimiento, BBCH.

Abstract

The aim of this research was characterize the physiological and biochemical aspects of gulupa fruit (*Passiflora edulis* Sims) in three environments (Granada, Tena and Chía). Physiological and biochemical analysis was performed on ripened fruits attached (preharvest) and detached (postharvest) from the vine corresponding to 5 maturity stages (0%, 30%, 50%, 70% and 100%). Respiration rate, ethylene production, color, firmness, total soluble solids (TSS), total titratable acidity (TTA), pH, maturity index, weight loss, proteins, sugars (glucose, sucrose, fructose), acids (citric, oxalic, ascorbic, malic) was determined for each of the maturity stages. On the other hand a phenological monitoring was determined starting from buds floral to fruit full ripe; also growth curves (fresh weight, dry weight, longitudinal diameter, transverse diameter) was determined, and the absolute and relative growth rate (AGR and RGR) was calculated. A stepwise regression analysis was done to obtain models for climate and phenology relations.

As a result, it was obtained the physiological and biochemical characterization of each state for the three study sites. Differences were found in sugars, acids and proteins content between stages and between localities, and are related to environmental conditions. Respiration rate and ethylene production showed similar trends among stages and between localities, which allowed corroborate climacteric fruit character. SST, ATT, pH, firmness and color also showed differences that allowed qualify the stage 70% as ideal for harvest in the three localities. The BBCH scale and phenological calendars were established. Growth curves were fit to logistic models. The most influential climatic variables were rainfall, relative humidity and air temperature.

Keys words: Brix grades, titratable acid, respiration rate, ethylene production, maturity index, growth curves, BBCH.

Contenido

	Pág.
Resumen	VIII
Lista de figuras.....	XIII
Lista de tablas	XVI
Lista de abreviaturas.....	19
Introducción	20
1. Escala fenológica de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims) de acuerdo al modelo BBCH.....	24
1.1 Resumen	24
1.2 Introducción	24
1.3 Materiales y métodos.....	25
1.4 Resultados.....	26
1.4.1 Estado de crecimiento 5 y 6: emergencia de yemas florales y floración.....	26
1.4.2 Estado de crecimiento 7: desarrollo del fruto.....	29
1.4.3 Estado de crecimiento 8: maduración del fruto.....	30
1.5 Discusión	31
2. Fenología reproductiva, fisiología y crecimiento del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims) bajo tres ambientes	34
2.1 Resumen	34
2.2 Introducción	35
2.3 Materiales y métodos.....	38
2.3.1 Material vegetal.....	38
2.3.2 Seguimiento fenológico	38
2.3.3 Curvas de crecimiento.....	39
2.3.4 Medición de variables climáticas	40
2.3.5 Análisis estadístico.....	40
2.4 Resultados.....	41
2.4.1 Comportamiento de las variables climáticas en los sitios de estudio ...	41
2.4.2 Seguimiento fenológico (Calendarios)	47
2.4.3 Duración de los estados fenológicos	54
2.4.4 Producción de los cultivos.....	56
2.4.5 Efecto de las variables climáticas sobre la fenología	57
2.4.6 Curvas de crecimiento del fruto	60
2.4.7 Efecto de las variables climáticas sobre el crecimiento del fruto	65
2.5 Discusión	66

2.5.1	Fenología.....	66
2.5.2	Curvas de crecimiento	68
3. Evaluación fisicoquímica, fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims) bajo tres ambientes.....73		
3.1	Resumen.....	73
3.2	Introducción.....	74
3.3	Materiales y métodos	77
3.3.1	Material vegetal	77
3.3.2	Seguimiento frutos que maduraron unidos a la planta (precosecha)....	78
3.3.3	Seguimiento frutos que maduraron separados de la planta (poscosecha)	79
3.4	Resultados	81
3.4.1	Seguimiento frutos que maduraron unidos a la planta (precosecha)....	81
3.4.2	Ensayo 1: seguimiento poscosecha de frutos cosechados en madurez fisiológica.....	90
3.4.3	Ensayo 2: seguimiento poscosecha de frutos cosechados en diferentes estados de madurez	97
3.5	Discusión.....	109
3.5.1	Seguimiento frutos unidos a la planta (precosecha).....	109
3.5.2	Seguimiento poscosecha ensayos 1 y 2	111
4.	Conclusiones	116
4.1	Fenología y crecimiento del fruto.....	116
4.2	Maduración y calidad del fruto.....	117
ANEXOS.....		119
Bibliografía		123

Lista de figuras

Figura 1-1. Arquitectura de plantas de gulupa, mediante manejo en tutorado de espaldera simple. Se aprecian las ramas primarias (1°), secundarias (2°) y terciarias (3°).	26
Figura 1-2. Estados fenológicos simultáneos en rama terciaria.	27
Figura 1-3. Crecimiento de las yemas florales en gulupa. A) Yema en crecimiento del mismo tamaño que los sépalos del epicáliz. B) Yemas alcanzan 50% de su tamaño final. C) Yemas 100% desarrolladas.	28
Figura 1-4. Estados de crecimiento 51-60 de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims) según la escala fenológica BBCH.	28
Figura 1-5. Detalle de flor de gulupa cerrándose luego de ser (o no) polinizada.	29
Figura 1-6. Estados de crecimiento 71-79 de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims) según la escala fenológica BBCH.	30
Figura 1-7. Estados de crecimiento 83 - 89 de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims) según la escala fenológica BBCH.	31
Figura 2-1. Estados fenológicos evaluados.	39
Figura 2-2. Comportamiento de la precipitación (barras) y la temperatura media (■), la temperatura mínima (▲) y la temperatura máxima (○) en la localidad de Granada.	42
Figura 2-3. Comportamiento de la precipitación (barras) y la temperatura media (■), la temperatura mínima (▲) y la temperatura máxima (○) en la localidad de Tena.	43
Figura 2-4. Comportamiento de la precipitación (barras) y la temperatura media (■), la temperatura mínima (▲) y la temperatura máxima (○) en la localidad de Chía.	44
Figura 2-5. Calendario fenológico de la gulupa en la localidad de Tena, Cundinamarca. El número que aparece en algunas casillas indica que el pico de producción de ese órgano ocurrió en ese mes y corresponde al valor promedio/planta.	49
Figura 2-6. Calendario fenológico de la gulupa en la localidad de Granada. El número corresponde al valor promedio/planta y al pico de producción.	52

Figura 2-7. Calendario fenológico de la gulupa en la localidad de Chía, Cundinamarca. El número que aparece en algunas casillas indica que el pico de producción de ese órgano ocurrió en ese mes. El número es el valor promedio/ planta.	53
Figura 2-8. Duración de los eventos fenológicos en plantas de gulupa sembradas en Tena, Granada y Chía. DDA=Días después de anthesis.	54
Figura 2-9. Producción (kg de fruta) en los cultivos de Tena, Granada y Chía durante los años 2010 y 2011.	57
Figura 2-10 Comportamiento de la precipitación (barras) y la producción de flores en: A) Granada. Ciclo I (○). Ciclo II (▲). B) Tena Ciclo I (○) Ciclo II (▲). C) Chía (○).	59
Figura 2-11. Relación precipitación y abortos de estructuras reproductivas. Precipitación (barras). Abortos de yemas florales (◆). Abortos de flores y frutos (□).	60
Figura 2-12. Curvas de crecimiento de Diámetro Ecuatorial (Transversal) del fruto de gulupa, ajustadas a un modelo logístico de tres parámetros en Tena, Granada y Chía..	61
Figura 2-13. Curvas de crecimiento de Diámetro longitudinal del fruto de gulupa, ajustadas a un modelo logístico de tres parámetros en Tena, Granada y Chía.	61
Figura 2-14. Curvas de crecimiento de Peso fresco ajustadas a un modelo logístico de tres parámetros en Tena, Granada y Chía.	62
Figura 2-15. Curvas de crecimiento de Peso seco ajustadas a un modelo logístico de tres parámetros en Tena, Granada y Chía.	62
Figura 2-16. Tasa de crecimiento absoluto (TCA) y Tasa de crecimiento Relativo (TCR) en frutos de gulupa cultivados en Chía, Granada y Tena.	64
Figura 2-16. Continuación.	65
Figura 3-1. Comportamiento de las variables de calidad en frutos de gulupa que maduraron unidos a la planta (pre cosecha). A) Actividad respiratoria B) Sólidos Solubles Totales (SST) C) Acidez Total Titulable (ATT) D) Índice de madurez (SST/ATT) E) pH. (n=3)	82
Figura 3-2. Contenido de azúcares de frutos de gulupa en 5 estados de madurez provenientes de Chía, Granada y Tena. A) Glucosa B) Fructosa y C) Sacarosa. Las barras indican el error estándar.	85
Figura 3-3. Contenido de ácidos orgánicos en 5 estados de madurez de frutos de gulupa provenientes de las localidades de Chía, Granada y Tena. A) Ácido ascórbico, B) ácido cítrico, C) ácido málico, D) ácido oxálico.	87
Figura 3-4. Contenido de proteínas en pulpa de frutos de gulupa en 5 estados de madurez (0%, 30%, 50%, 70%, 100%) cultivados en Chía, Granada y Tena.	89
Figura 3-5. Actividad respiratoria promedio de frutos de gulupa cosechados en madurez fisiológica en Tena y Granada. Las barras verticales representan el error estándar de 3 réplicas.	90
Figura 3-6. Producción de etileno promedio de frutos de gulupa cosechados en madurez fisiológica en Tena y Granada. Las barras verticales representan el error estándar de 3 réplicas.	91
Figura 3-7. Calidad de frutos de gulupa cosechados en madurez fisiológica en Tena y Granada. A) Sólidos Solubles Totales (°Brix). B) Acidez Total Titulable (%ATT). C) Índice	

de madurez (SST/ATT). D) pH. Las barras verticales representan el error estándar de 3 réplicas.....	93
Figura 3-8. Color (coordenadas L*C*h) del exocarpo de frutos de gulupa cosechados en madurez fisiológica en Tena y Granada. A) Luminosidad (L). B) Croma (C). C) Angulo hue (h). Las barras verticales representan el error estándar de 12 réplicas.....	96
Figura 3-9. Tasa respiratoria de frutos de gulupa de plantas sembradas en Chía (A) y Granada (B). Ensayo poscosecha en 4 estados de madurez (30%, 50%, 70% y 100%). Las barras indican el error estándar de 3 replicas.	98
Figura 3-10. Producción de etileno en frutos de gulupa de plantas sembradas en Chía (A) y Granada (B). Ensayo poscosecha en 4 estados de madurez (30%, 50%, 70% y 100%). Las barras indican el error estándar de 3 replicas.	99
Figura3-11. Sólidos solubles totales (°Brix) de frutos de gulupa de plantas sembradas en Chía (A) y Granada (B). Ensayo poscosecha en 4 estados de madurez (30%, 50%, 70% y 100%). Las barras indican el error estándar de 3 replicas.	100
Figura 3-12. Acidez Total Titulable (%ATT) de frutos de gulupa de plantas sembradas en Chía (A) y Granada (B). Ensayo poscosecha en 4 estados de madurez (30%, 50%, 70% y 100%). Las barras indican el error estándar de 3 replicas.	101
Figura 3-13. pH de frutos de gulupa de plantas sembradas en Chía (A) y Granada (B). Ensayo poscosecha en 4 estados de madurez (30%, 50%, 70% y 100%). Las barras indican el error estándar de 3 replicas.....	102
Figura 3-14. Índice de madurez (°Brix/%ATT) de frutos de gulupa de plantas sembradas en Chía (A) y Granada (B). Ensayo poscosecha en 4 estados de madurez (30%, 50%, 70% y 100%). Las barras indican el error estándar de 3 replicas.	103
Figura 3-15. Medición de firmeza (kgf) de frutos de gulupa de plantas sembradas en Chía (A) y Granada (B). Ensayo poscosecha en 4 estados de madurez (30%, 50%, 70% y 100%). Las barras indican el error estándar de 3 replicas.	105
Figura 3-16. % Pérdida de peso de frutos de gulupa de plantas sembradas en Chía (A) y Granada (B). Ensayo poscosecha en 4 estados de madurez (30%, 50%, 70% y 100%). Las barras indican el error estándar de 3 replicas.	106
Figura 3-17. Color de frutos de gulupa. A) Luminosidad de Chía B) Luminosidad de Granada C) Croma de Chía D) Croma de Granada E) ángulo hue de Chía F) ángulo hue de Granada en 4 estados de madurez (30%, 50%, 70% y 100%). Las barras indican el error estándar de 5 replicas.....	107

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1. Estados de crecimiento reproductivo de gulupa (<i>Passiflora edulis</i> Sims) según la escala fenológica BBCH.....	31
Tabla 2-1. Condiciones climáticas promedio durante el seguimiento fenológico para las tres localidades. Los valores de precipitación corresponden a la sumatoria de los mm registrados durante los meses en que las estructuras reproductivas fueron observadas. T°=Temperatura; %HR= Humedad relativa; min=mínima; max=máxima; PAR=Radiación fotosintéticamente activa; DPV=Déficit de presión de vapor.	46
Tabla 2-2. Ecuaciones de los variables evaluados para determinar el crecimiento del fruto de gulupa en Tena, Granada y Chía.	63
Tabla 2-3. Valores promedios de peso fresco, peso seco, diámetro longitudinal y transversal del fruto de gulupa cultivados en 3 localidades. Promedios de la misma variable seguidos de letras distintas son estadísticamente diferentes, según test de Tukey ($P<0,05$).	64
Tabla 2-4. Modelos de regresión para las variables de crecimiento del fruto de gulupa cultivados en Tena, Granada y Chía. HR= Humedad Relativa.	65
Tabla 3-1. Estados de madurez y días después de anthesis (DDA) en gulupa. Frutos al 0% ya se encuentran en madurez fisiológica. * Los DDA pueden presentar variaciones debidas a factores como localidad, fenómenos climáticos, estrés, incidencia y severidad de enfermedades,	77
Tabla 3-2. Condiciones climáticas de las localidades durante el crecimiento del fruto. Humedad Relativa, Temperatura y PAR describen promedios. La precipitación corresponde a la sumatoria de mm de lluvia.	78
Tabla 3-3. Valores promedio de las características químicas del fruto de gulupa en diferentes estados de madurez de 30% a 100%. SST: Sólidos Solubles Totales; ATT: Acidez total titulable; IM: Índice de madurez. Los valores en paréntesis indican la desviación estándar. Promedios de la misma variable del fruto en la misma columna	

seguidos de letras distintas son estadísticamente diferentes, según test de Tukey ($P<0,05$).	83
Tabla 3-4. Contenidos de fructosa, glucosa y sacarosa en 5 estados de madurez del fruto de gulupa sembrados en Chía, Granada y Tena.	84
Tabla 3-5. Contenidos de ácido cítrico, ácido málico, ácido oxálico y ácido ascórbico en 5 estados de madurez del fruto de gulupa de las localidades de Granada, Tena y Chía. ..	88
Tabla 3-6. Contenido de proteínas en pulpa de frutos de gulupa en 5 estados de madurez (0%, 30%, 50%, 70%, 100%) cultivados en Chía, Granada y Tena.	89
Tabla 3-7. Valores promedio de las características químicas del fruto de gulupa en diferentes estados de madurez de 30% a 100% en el 24 DDC. SST= Sólidos Solubles Totales; ATT= Acidez total titulable; IM= Índice de madurez. Los valores en paréntesis indican la desviación estándar; promedios de la misma variable del fruto seguidos de letras distintas son estadísticamente diferentes, según test de Tukey ($P<0,05$).	92
Tabla 3-8. Valores promedio de las coordenadas colorimétricas del fruto de gulupa en diferentes estados de madurez provenientes de Tena y Granada. Los valores en paréntesis indican la desviación estándar; promedios de la misma variable del fruto seguidos de letras distintas son estadísticamente diferentes, según test de Tukey ($P<0,05$).	95
Tabla 3-9. Valores promedio de las características químicas del fruto de gulupa en diferentes estados de madurez provenientes de Chía y Granada. SST= Sólidos Solubles Totales; ATT= Acidez total titulable; IM= Índice de madurez. Los valores en paréntesis indican la desviación estándar; promedios de la misma variable del fruto en la misma columna seguidos de letras distintas son estadísticamente diferentes, según test de Tukey ($P<0,05$). Las letras mayúsculas indican diferencias entre localidades y las minúsculas entre estados de una misma localidad.	104

Lista de abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
ACC	1-aminociclopropano-1-carboxílico
BBCH	<i>Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry</i>
Bx	Grados Brix
DDA	Días después de antesis
DDC	Días después de cosecha
DPV	Déficit de presión de vapor
h	Horas
HR	Humedad Relativa
PAR	Radiación fotosintéticamente activa (<i>Photosynthetic active radiation</i>)
min	Minutos
mm	Milímetros
SAM	S-adenosil-metionina
t	Toneladas
T°	Temperatura
msnm	Metros sobre el nivel del mar

Introducción

La especie *Passiflora edulis* Sims conocida a nivel nacional como Gulupa y a nivel internacional como fruto de la pasión (*Passion fruit*), hace parte del género más diverso de la familia *Passifloraceae*, cuya distribución casi se restringe a las zonas tropicales y sub-tropicales del mundo. Colombia es el país con la mayor riqueza de especies de esta familia, con un total de 42 especies que producen frutos comestibles, de las cuales 9 son comercializadas en los mercados nacionales e internacionales, siendo la gulupa y la maracuyá las más importantes (Ocampo *et al.*, 2007). La gulupa es originaria del sur de Brasil y fue ampliamente distribuida durante el siglo XIX a otros países de América del Sur, el Caribe, Asia, África, India y Australia (Nakasone y Paull, 1998). A nivel botánico es catalogada como una liana trepadora semileñosa, con zarcillos en las axilas foliares, porte trepador, muy abierto, follaje persistente, verde vivo y brillante; hojas alternas, trilobadas, onduladas; lóbulos ovoides con márgenes dentados; de crecimiento rápido (Hernández y Bernal, 2000).

El fruto de gulupa es de forma redonda a levemente oblonga. Su pericarpo es liso y firme en el exterior, presentando colores verde claro a púrpura oscuro, mientras que en el interior es blanca, blanda y de textura medulosa o porosa. El fruto maduro pesa entre 38 y 75 g, con diámetro longitudinal entre 48 y 63 mm y diámetro ecuatorial entre 45 y 56 mm. El interior del fruto se compone de semillas negras y ovaladas, recubiertas con un arilo de color amarillo a naranja que constituye la pulpa del fruto, la cual es empleada para el consumo directo o en la preparación de jugos, néctares y postres (Orjuela-Baquero *et al.*, 2011a).

En Colombia, la gulupa es cultivada comercialmente entre 1400 y 2200 msnm (Fischer *et al.*, 2009) no obstante, Wenkam (1990) referencia que esta especie puede desarrollarse en un rango más amplio (1600 a 2600 msnm). Jiménez-Neira (2006) reporta que las temperaturas óptimas para este cultivo en nuestro país están entre 15 y 20°C, y por su parte, Nakasone y Paull (1998) indican, que las plantas maduras pueden tolerar heladas ligeras. El requerimiento hídrico para esta especie se ha establecido en un rango de 1500 a 2500 mm anuales distribuidos durante todo el año (Fischer *et al.*, 2009). La gulupa se desarrolla en diferentes tipos de suelos, aunque suelos con texturas arenosas con pH entre 6,5 a 7,5 favorecen el desarrollo y crecimiento del sistema radicular, (Jimenez-Neira, 2006).

La cultura de consumo de esta fruta todavía es incipiente, sin embargo, ocupa el tercer renglón dentro de las frutas exportadas al mercado europeo, después del banano y la uchuva (Angulo, 2010). Gracias a su gran demanda en los mercados internacionales se le ha catalogado como un cultivo promisorio, cuyo volumen de exportación aumento de 523,13 t a 2'294,28 t entre el 2007 y el 2010 (Agronet, 2011). El aumento en la demanda genero un incremento considerable en el área cultivada, la cual se concentra en los departamentos de Huila, Valle del Cauca,

Magdalena, Santander y Cundinamarca (Miranda *et al.*, 2009); en donde se ha producido una gran expansión, debido a sus condiciones agroecológicas (Proexport Colombia, 2010)

El sector frutícola colombiano se caracteriza por tener bajos niveles de tecnificación, lo que se traduce en grandes pérdidas del producto cosechado. En la actualidad, existen diversas limitantes para un adecuado manejo en cosecha y en poscosecha, las cuales se centran en la falta de conocimiento de indicadores claros que permitan la selección de los frutos. De acuerdo a su comportamiento en los mercados internacionales, la gulupa es catalogada como un producto de gran importancia, pero a pesar de esto, presenta pocos adelantos en su nivel tecnológico. Recientemente, se han realizado avances en precosecha y poscosecha sobre características fisicoquímicas del fruto (Díaz *et al.*, 2011; Orjuela-Baquero *et al.*, 2011a,b; Jiménez *et al.*, 2011; Flórez *et al.*, 2012b), estados de madurez (Pinzón *et al.*, 2007), biología floral (Ángel-Coca *et al.*, 2011) y prácticas agrícolas (Guerrero-López y Hoyos-Carvajal, 2011), sin embargo, aun existen vacíos de conocimiento sobre la interacción genotipo-ambiente (Fischer, 2010).

La interacción de las plantas con el medio ambiente modula los patrones de crecimiento, influyendo en aspectos tan fundamentales como el tamaño de la planta, su fenología, el rendimiento, la maduración y la calidad de los frutos (Fischer, 2010), por lo que determinar ésta relación, permite predecir el comportamiento de la planta en un ciclo de producción, optimizando el manejo agronómico del cultivo y facilitando el desarrollo de paquetes tecnológicos adaptados a las condiciones de las zonas productoras.

Con esta investigación se buscó caracterizar bioquímica y fisiológicamente el fruto de *Passiflora edulis* Sims, en tres ambientes del departamento de Cundinamarca, para tal fin se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar la fenología reproductiva de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en tres ambientes.
- Evaluar variables fisiológicas y bioquímicas en cinco estados de madurez del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims).
- Analizar la relación existente entre las variables fisiológicas y bioquímicas del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) con las variables climáticas.

Con los resultados de esta investigación se pretende aportar conocimiento básico que permita dilucidar la relación existente entre ciertas condiciones climáticas y aspectos importantes del cultivo, como la fenología reproductiva, desarrollo, crecimiento y características fisicoquímicas del fruto.

Establecer la escala fenológica junto con los patrones de crecimiento en condiciones de campo, servirá para programar diferentes prácticas agronómicas a

lo largo del desarrollo del cultivo. Así mismo, se propone un punto óptimo de cosecha basado en el desarrollo adecuado de las propiedades organolépticas, el cual brindará a los cultivadores y demás eslabones de la cadena productiva, herramientas de selección para el mejoramiento del cultivo y la comercialización del fruto.

Finalmente, los resultados obtenidos podrán constituir las bases para el desarrollo de un protocolo del manejo agronómico específico para el cultivo de la gulupa.

1. Escala fenológica reproductiva de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) de acuerdo al modelo BBCH

1.1 Resumen

Se describió por primera vez parte de la escala fenológica de *Passiflora edulis* Sims de acuerdo al código de descripción BBCH. Se describieron 4 estados: Emergencia de flores, Floración, Desarrollo del fruto y Maduración del fruto.

Se encontró que los estados fenológicos reproductivos ocurren de forma simultánea, por lo que es posible distinguir en las ramas secundarias y terciarias tres porciones: Zona proximal o de ramificación, Zona intermedia o de fructificación, Zona distal o de floración. La presencia simultánea de los diferentes órganos reproductivos, puede estar relacionada con el crecimiento indeterminado característico de las plantas de la familia Passifloraceae y con el origen y distribución de ésta especie de sotobosque, donde las especies tipo liana presentan un patrón de floración continuo y asincrónico dentro de una población, como estrategia ecológica para persistir.

1.2 Introducción

De acuerdo con Finn *et al.*, (2007), el avance en el conocimiento de los cultivos agrícolas y hortícolas está supeditado a la capacidad que posean los investigadores para describir las diferentes etapas de crecimiento de las plantas de manera entendible e inequívoca. Con ese propósito fueron desarrolladas diferentes escalas fenológicas, como las propuestas por Zadoks *et al.*, (1974) y BBCH descrita por Bleiholder *et al.*, (1989), siendo ésta última uno de los sistemas más reconocidos internacionalmente en la descripción del crecimiento vegetal. La escala *Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry* o conocida por sus siglas como BBCH y su código decimal asociado, fue desarrollada conjuntamente por BASF, Bayer, ciba-Geigy y Hoechst (Bleiholder *et al.*, 1989 en Finn *et al.*, 2007).

La escala BBCH es aceptada ampliamente gracias a su simplicidad y fácil uso en plantas anuales, bianuales y perennes, ya que describe tanto el crecimiento vegetativo como el reproductivo. Este sistema proporciona una codificación uniforme de etapas similares de crecimiento en especies monocotiledóneas y dicotiledóneas; además, describe el ciclo completo de las plantas dividiéndolo en estados de crecimiento principales y estados de crecimiento secundarios. El ciclo completo de desarrollo de la planta se subdivide en 10 fases claramente

distinguibles; estos estados principales de crecimiento se describen con números de 0 a 9 en orden ascendente. Los estados secundarios describen momentos puntuales o intervalos cortos del desarrollo de los estados principales. La combinación de los estados principales y secundarios resulta en el código de dos dígitos. Dependiendo de la especie de planta, pueden ocurrir cambios en el desarrollo, o incluso puede que determinados estados no tengan lugar. Los estados principales no siempre ocurren en la secuencia estricta explicada por el orden ascendente de los números; ocasionalmente, varios estados pueden desarrollarse en forma paralela, para lo cual se usa una raya diagonal (por ejemplo 35/55). El lapso de tiempo de una fase puede ser definido de forma exacta usando dos estados, en cuyo caso los códigos son conectados con un guion (por ejemplo 51-69). Las escalas fenológicas se construyen a partir de observaciones de individuos representativos de la población o a nivel de una población, en este último caso se considera que un estado fenológico tiene lugar cuando es presentado por el 50% de los individuos de la población.

Con el establecimiento de la uniformidad en los criterios de descripción fenológica, se publicaron varios trabajos en diferentes especies cultivables, como algodón (Munger *et al.*, 1998a), sésamo (Attibayéba *et al.*, 2010), guayaba (Salazar *et al.*, 2006), kiwi (Salinero *et al.*, 2009), mani (Munger *et al.*, 1998b), soya (Munger *et al.*, 1997), café (Arcila *et al.*, 2002), cítricos (Agusti *et al.*, 2005) y chirimoya (Cautin y Augusti, 2005) que aportaron información valiosa para su manejo agronómico.

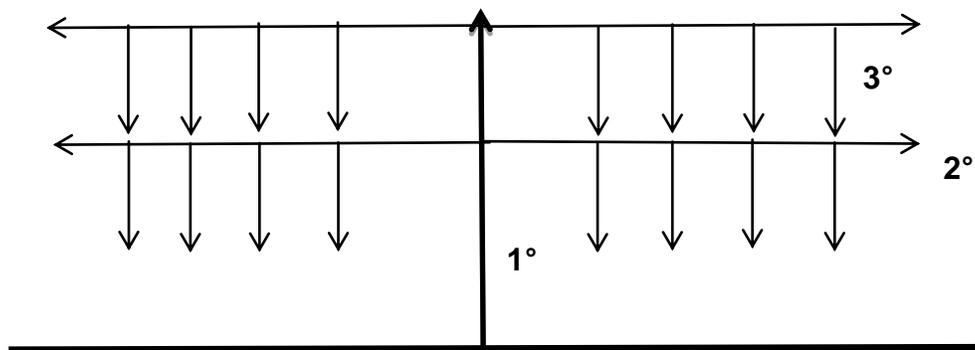
A pesar del auge y la importancia de la utilización de las descripciones fenológicas para el desarrollo de paquetes tecnológicos de cultivos de interés comercial, la gulupa aun no cuenta con una escala propia que describa en detalle los estados reproductivos de la especie. En ese contexto, el objetivo de este trabajo es describir los estados fenológicos reproductivos más importantes de *Passiflora edulis* Sims, siguiendo el código de descripción unificado BBCH. La elaboración de esta escala aportará conocimiento básico que facilitará el manejo agronómico de esta especie promisoría.

1.3 Materiales y métodos

Las observaciones y toma de datos fueron llevadas a cabo en plantas adultas (7 meses después de siembra) de gulupa sembradas en parcelas experimentales ubicadas en el municipio de Granada, Cundinamarca (Colombia) (N04° 30.131' W074° 21.487'. 2175msnm), durante el segundo semestre del 2010. Las plantas fueron sembradas a una distancia de 6 m entre plantas y de 3 m entre surcos, en un sistema de tutorado de espaldera simple. Las plantas fueron conducidas a una sola rama o "guía" principal hasta alcanzar la altura del segundo alambre, mediante despunte y/o eliminación de brotes laterales. Sobre los alambres del tutorado, crecieron las ramas secundarias en forma horizontal (paralelas al suelo),

y de éstas se originaron las ramas terciarias que crecieron en dirección paralela a la guía principal, formando un ángulo de aproximadamente 90° con las ramas secundarias (Figura 1-1).

Figura 1-1. Arquitectura de plantas de gulupa, mediante manejo en tutorado de espaldera simple. Se aprecian las ramas primarias (1°), secundarias (2°) y terciarias (3°).



Para describir los estados reproductivos desde la aparición de yemas florales hasta la madurez organoléptica de los frutos, se realizaron dos visitas por semana durante la primera fase estudiada (emergencia de yemas florales – floración) y una visita por semana durante la segunda fase analizada (crecimiento y maduración del fruto). Los estados de desarrollo y las características morfológicas fueron registrados por medio de fotografías tomadas en campo y en el laboratorio.

1.4 Resultados

Con el propósito de describir los estados reproductivos de mayor interés para el cultivador, se realizó la escala fenológica de acuerdo al código de descripción unificado BBCH.

1.4.1 Estado de crecimiento 5 y 6: emergencia de yemas florales y floración

En las ramas secundarias y terciarias, las yemas florales aparecen en la axila foliar. El tiempo transcurrido entre la aparición y el desarrollo completo de las yemas varía de acuerdo a la localidad (ver capítulo 2).

Las flores son perfectas y completas, cuentan con los siguientes verticilos: cáliz, corola, androceo, gineceo y entre cuatro y cinco verticilos de filamentos. El

proceso de polinización está mediado por insectos del género *Xylocopa frontalis*, *Xylocopa lachnea*, *Epicharis sp.*, *Apis mellifera* y *Epicharis cingulata* (Nates-Parra *et al.*,2012).

Tanto las ramas secundarias como las terciarias, pueden presentar estados fenológicos simultáneos (Figura 1-2). Es frecuente encontrar ramas secundarias y terciarias con 3 estados fenológicos: emergencia de yemas, floración y fructificación, por lo cual es posible distinguir 3 porciones:

- 1) Zona proximal o de ramificación: comprende desde el punto de unión con el eje central hasta el fruto más desarrollado (ésta zona es para las ramas secundarias).
- 2) Zona intermedia o de fructificación: va desde el nudo con el fruto más desarrollado hasta el nudo inmediatamente anterior al nudo de la flor en antesis.
- 3) Zona distal o de floración: abarca desde el nudo con la flor en antesis hasta el ápice de la rama.

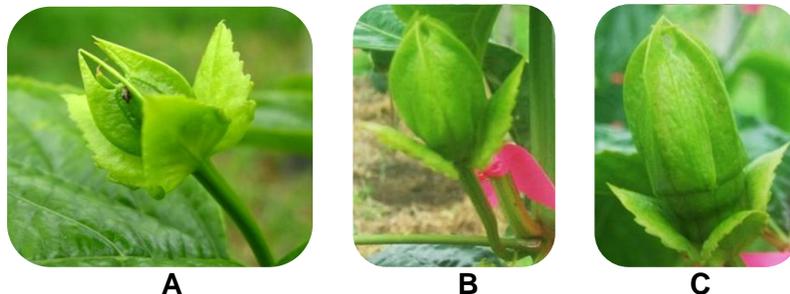
Figura 1-2. Estados fenológicos simultáneos en rama terciaria.



A continuación se describe detalladamente el crecimiento de las yemas florales:

Inicialmente, las yemas florales aparecen acompañadas de tres sépalos del epicáliz, las yemas se encuentran cerradas y su tamaño es la mitad del tamaño de los sépalos del epicáliz (BBCH 51). Posteriormente, las yemas alcanzan el mismo tamaño de los sépalos del epicáliz y se inicia el desarrollo del pedúnculo floral (Figura 1-3 A). Las yemas continúan creciendo hasta alcanzar el 50% de su tamaño final, superando en tamaño a los sépalos del epicáliz; el pedúnculo continúa creciendo (Figura 1-3 B). Por último, las yemas alcanzan su tamaño final (Figura 1-3 C).

Figura 1-3. Crecimiento de las yemas florales en gulupa. A) Yema en crecimiento del mismo tamaño que los sépalos del epicáliz. B) Yemas alcanzan 50% de su tamaño final. C) Yemas 100% desarrolladas.



Código BBCH	Descripción
51	Yemas florales visibles: yemas florales cerradas, sin pedúnculo, sépalos del epicáliz en desarrollo superando en tamaño a la yema floral.
55	Los sépalos del cáliz empiezan a separarse.
59	Primeros pétalos, filamentos blancos de la corona y estigmas empiezan a ser visibles.
60	Primera Flor completamente abierta: todas las estructuras reproductivas quedan completamente expuestas al medio externo.
61	Inicio de la floración: 10% de las flores están abiertas.
65	Plena floración: al menos el 50% de ellas están abiertas.
69	Fin de la floración.

Figura 1-4. Estados de crecimiento 51-60 de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) según la escala fenológica BBCH.



Las flores de gulupa permanecen abiertas por 25 h, siendo fértiles durante todo el periodo. La calidad del fruto puede ser afectada por el momento de su fertilización; es así que, los frutos de flores que fueron polinizadas prontamente alcanzaron un mayor tamaño con respecto a los frutos de flores polinizadas tardíamente (Ángel-Coca *et al.*,2011). Luego de ese periodo, los pétalos y sépalos regresan a la posición vertical hasta unirse en la parte superior de la flor (Figura 1-5).

Figura 1-5. Detalle de flor de gulupa cerrándose luego de ser (o no) polinizada.



1.4.2 Estado de crecimiento 7: desarrollo del fruto

Después de ser polinizada, la flor se cierra. El ovario aumenta de tamaño de forma acelerada, protegido por los pétalos y sépalos que se marchitan lentamente. El crecimiento en tamaño y peso del fruto es acelerado hasta aproximadamente 30 días después de ocurrida la antesis (DDA) (ver capítulo 2).

Código BBCH	Descripción
70	Aparición de frutos cuajados: inicia marchitez de sépalos, pétalos, estilos y estigmas que recubren al fruto en crecimiento.
72	Frutos en continuo crecimiento: Alcanzan 20% de su tamaño final sobresaliendo de los pétalos y sépalos.
74	Frutos inmaduros: alcanzan el 40% de su tamaño final.
77	Frutos inmaduros: de forma ligeramente oblonga. Sépalos, pétalos, estilos y estigmas completamente marchitos pero persistentes en el fruto. Alcanzan 70% del tamaño final.
78	Frutos inmaduros: alcanzan su máximo diámetro longitudinal y transversal (25-30DDA). Sépalos, pétalos, estilos y estigmas se caen.
79	Frutos alcanzan la madurez fisiológica. Cambio de coloración de verde intenso a verde más claro y opaco. Forma redonda. Semillas completamente desarrolladas y viables.

Figura 1-6. Estados de crecimiento 71-79 de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) según la escala fenológica BBCH.



71



72



77



78



79

1.4.3 Estado de crecimiento 8: maduración del fruto

Código BBCH	Descripción
80	Inicio de maduración: Cambio de coloración de verde claro a púrpura
83	30% de la superficie del exocarpo es púrpura
85	50% de la superficie del exocarpo es púrpura
87	Madurez de cosecha: 70% de la superficie del exocarpo es púrpura
89	Madurez organoléptica: 100% de la superficie del exocarpo es púrpura.

Figura 1-7. Estados de crecimiento 83 - 89 de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) según la escala fenológica BBCH.

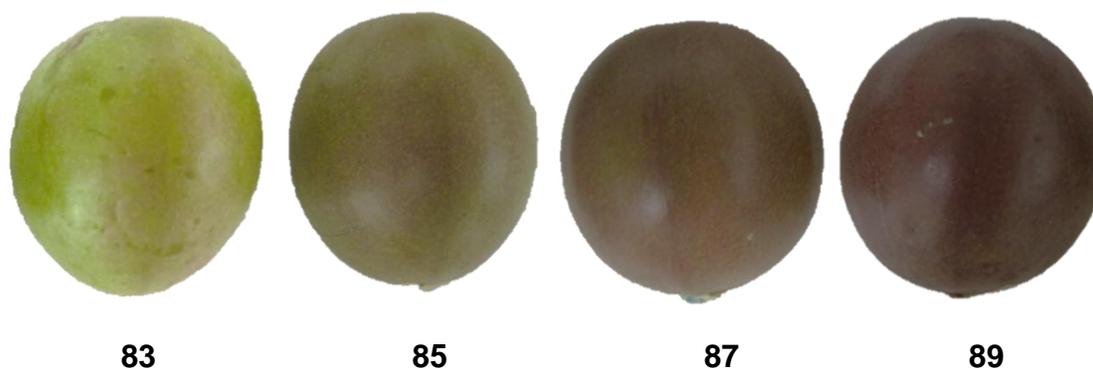


Tabla 1-1. Estados de crecimiento reproductivo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) según la escala fenológica BBCH.

Código BBCH	Estado de crecimiento principal
5	Emergencia de las flores
6	Floración
7	Desarrollo del fruto
8	Maduración del fruto

1.5 Discusión

En una misma planta de *Passiflora edulis* Sims, se observó el desarrollo simultáneo de yemas, flores y frutos en las ramas secundarias y terciarias. Cuando en las ramas secundarias se inició la floración (BBCH 6), las yemas florales (BBCH 5) continuaban desarrollándose en las ramas terciarias; y cuando las ramas terciarias estaban floreciendo, en las ramas secundarias se había iniciado el desarrollo de los frutos (BBCH 7). Del mismo modo, se presentaron frutos en diferentes estados de madurez (BBCH 8) en las ramas secundarias cuando aún algunos de los frutos de las ramas terciarias continúan desarrollándose (BBCH 7). Se observa que los estados de crecimiento mencionados ocurren de forma simultánea y pueden ser designados según la escala BBCH como 5/6/7 y 7/8. Éste fenómeno también ha sido observado en cultivos de maracuyá en Venezuela (Bautista y Salas, 1995).

La presencia simultánea de los diferentes órganos reproductivos, puede estar relacionada con el crecimiento indeterminado (característico de las plantas de la familia Passifloraceae), y con el origen y la adaptabilidad de la especie a los ambientes en los que crece actualmente en Colombia. La gulupa al igual que otras pasifloras se originó en los bordes de los bosques húmedos tropicales al sur de Brasil, donde las temperaturas medias se encuentran entre 20 y 30°C, con alta humedad relativa y precipitaciones igualmente altas, bien distribuidas durante el año (Morton, 1987; Winks *et al.*, 1988). En estos ecosistemas, las especies de tipo lianas presentan un patrón de floración continuo y asincrónico entre individuos de una misma especie durante varias semanas (*steady-state*), el cual ha sido considerado como una estrategia ecológica de las plantas para aumentar las probabilidades de ser polinizadas, mejorando la producción de frutos y por ende la dispersión de las semillas (Gentry, 1974; Frankie *et al.*, 1974; Murfet, 1977).

En el presente trabajo, el patrón asincrónico de floración se observó en plantas de una misma parcela. La asincronía puede deberse a que un individuo no florece completamente al mismo tiempo ni con toda su intensidad, es decir, no todas sus flores se abren en la misma fecha, pues es común observar en plantas que crecen en el trópico diferencias entre individuos e incluso entre ramas de una misma especie (Vílchez *et al.*, 2007).

Desde el punto de vista de cultivo, la asincronía puede considerarse como una ventaja para el mantenimiento de la producción de frutos a lo largo del año, mejorando la oferta y manteniendo la estabilidad en los precios.

Una vez el estado fenológico reproductivo de la gulupa es identificado, se hace más fácil evaluar los momentos apropiados para el manejo del cultivo (fertilizaciones, podas y aplicación de fungicidas e insecticidas), pues la realización de éstas labores es más exitosa cuando se aplican de acuerdo al estado fisiológico de la planta (Salazar *et al.*, 2006), por lo cual la presente investigación contribuye con el incremento en la eficiencia de las labores que requiere el cultivo de gulupa.

Finalmente, se describió por primera vez la escala fenológica en estado reproductivo de *Passiflora edulis* Sims de acuerdo al código de descripción BBCH.

2. Fenología reproductiva, fisiología y crecimiento del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) bajo tres ambientes

2.1 Resumen

Con el objetivo de caracterizar la fenología reproductiva y el crecimiento del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), y su relación con algunas variables climáticas (HR, PAR, T°, precipitación, DPV) bajo tres ambientes (Chía, Granada y Tena), se construyeron los calendarios fenológicos y se determinaron los modelos que mejor se ajustaron a las curvas de peso fresco, peso seco, diámetro longitudinal y diámetro transversal; además, se calcularon las tasas de crecimiento absoluto (TCA) y relativo (TCR), y se determinó el efecto de las variables climáticas sobre la fenología y el crecimiento del fruto utilizando un análisis de regresión múltiple paso a paso.

Los calendarios fenológicos mostraron que la formación de yemas florales fue más rápida en Tena (30 DDA) que Granada y Chía (60 DDA); también se registró el acortamiento en la duración de algunos estados fenológicos durante el año 2011 debido al incremento de las lluvias. La producción de fruta en Tena y Granada fue similar y asincrónica, siendo mayor en estas localidades con respecto a Chía. El inicio y pico de la floración ocurrieron en épocas de baja precipitación, indicando que el régimen de lluvias puede influir en la fenología reproductiva de la gulupa. Todas las variables de crecimiento se ajustaron a un modelo logístico con ajustes (R^2) superiores a 0,90. Los frutos cultivados en Tena y Granada fueron los más grandes, en contraste con los de Chía. La humedad relativa mostró un efecto positivo sobre el crecimiento de los frutos, mientras que la precipitación tuvo un efecto negativo relacionado con el fenómeno climatológico de “La Niña”.

En Chía, la floración y los estados de fruto en desarrollo fueron explicados por la temperatura, la precipitación y el déficit de presión de vapor con ajustes entre 0,445 y 0,906. En Granada los frutos en madurez fisiológica y en diferentes estados de madurez, fueron afectados por la temperatura y la humedad relativa con ajustes entre 0,415 y 0,939. En Tena, la precipitación y la radiación fotosintéticamente activa explicaron la variabilidad de los frutos en madurez fisiológica con un ajuste de 0,602.

2.2 Introducción

La fenología ha sido definida como el estudio de las fases o actividades periódicas y repetitivas del ciclo de vida de las plantas y su variación temporal a lo largo del año (Mantovani *et al.*, 2003), incluye el análisis de las causas de su sincronización y su relación con factores bióticos y abióticos, así como las interrelaciones que pueden existir entre fases de una o más especies (Lieth, 1974 en Badeck *et al.*, 2004; Talora y Morellato, 2000).

Para todos los cultivos, la fenología tiene un rol esencial actuando como una escala de tiempo biológica específica. La fenología controla directa o indirectamente procesos relevantes para el cultivo, como la senescencia, el llenado del fruto, la fotosíntesis, la nutrición, entre otros. Los procesos dependientes de la fenología pueden ser iniciados o finalizados, acelerados o desacelerados según las variaciones del clima (Rathcke y Lacey, 1985; Mirschel *et al.*, 2005).

Varios autores (Dahlgreen *et al.*, 2007; Sparks *et al.*, 2009; Badeck *et al.*, 2004; Sherry *et al.*, 2007), sugieren que eventos fenológicos como la ruptura de dormancia, la brotación, la floración, la fructificación e incluso la senescencia de algunas especies, responden directamente a cambios macro y microclimáticos, siendo la temperatura, el fotoperíodo, la radiación solar, la humedad relativa y la precipitación las variables climáticas más influyentes. Por su parte, Williams-Linera (2003) y Cifuentes *et al.*, (2010), aseguran que la fenología de muchas especies no responde del mismo modo a todas las variables ambientales, e incluso puede no existir relación alguna entre el clima y su fenología.

El efecto de la temperatura y el fotoperíodo ha sido ampliamente estudiado en las altas y medias latitudes (Bonhomme *et al.*, 1994; Craufurd *et al.*, 1996; Keatinge *et al.*, 1998), donde la presencia de estaciones genera cambios drásticos durante el año (Dalezios *et al.*, 2002). En las regiones tropicales, cerca del ecuador, no existen estaciones, y la temperatura está determinada por la altitud, siendo relativamente constante en el transcurso del año, al igual que la radiación solar que sufre pequeñas variaciones dependiendo de las modificaciones de la nubosidad (Orduz-Rodríguez y Fischer, 2007). Numerosos estudios realizados bajo las condiciones del trópico y sub-trópico, indican que ciertos eventos fenológicos como la floración y fructificación de árboles, arbustos y lianas, responden principalmente a la intensidad y estacionalidad de los periodos de lluvias (Borchert, 1994; Frankie *et al.*, 1974; Monasterio y Sarmiento, 1976; Williams *et al.*, 1999).

Gracias a su alta sensibilidad a las variables climáticas, la fenología es considerada como un factor clave para monitorear la respuesta de las plantas al cambio climático. En efecto, las observaciones fenológicas constituyen una valiosa fuente de información en la investigación sobre la relación existente entre el clima, el ambiente y el desarrollo de la planta (Kramer *et al.*, 2000; Ahas *et al.*, 2002). A nivel de cultivos, la relación entre los estados fenológicos y el

microclima de una región, ha sido considerada como una herramienta poderosa para la maximización y mejoramiento de la producción y la calidad de los cultivos (O'Leary *et al.*, 2010; Hatfield *et al.*, 2011; Kapetanaki y Toullos, 1996; Bussay y Szinell, 1996; Chimielewski *et al.*, 2004; Salazar *et al.*, 2006; Salinero *et al.*, 2009). Recientemente, se ha considerado que las observaciones en campo son más confiables en la predicción de las respuestas fenológicas de las plantas al cambio climático, que los experimentos bajo condiciones controladas (Wolkovich *et al.*, 2012), por lo que adelantar estudios como el presente, no solo es útil para aportar herramientas y optimizar el manejo del cultivo, sino también para aportar información necesaria para la realización de las predicciones sobre cambio climático.

Como ya se mencionó, el seguimiento fenológico en general, es útil en el mejoramiento del manejo del cultivo. Dentro de los propósitos de los estudios fenológicos realizados en especies cultivables se encuentran: 1) indicar si un cultivo puede establecerse con fines comerciales en un área determinada, 2) servir como guía en el desarrollo de variedades que se adapten mejor a un ambiente específico, 3) programar las fechas de cosecha con el fin de mantener la oferta del producto por más tiempo, facilitando las operaciones comerciales del mismo, 4) facilitar los planes de manejo al interior del cultivo como la irrigación, la fertilización, la aplicación de herbicidas o insecticidas llevando a cabo todas éstas labores en los momentos más adecuados, teniendo en cuenta el estado de desarrollo del cultivo, 5) ayudar en la interpretación o predicción del efecto que puedan tener las variaciones del ambiente sobre el cultivo (Shaykewich, 1995); ya que como lo sugiere Diniz *et al.* (2007), las condiciones organolépticas en los frutos pueden variar de un cultivar a otro, dependiendo de la genética del cultivar y de las condiciones ambientales tales como el clima y el suelo.

Otra herramienta útil para mejorar la producción de especies frutales, especialmente de consumo en fresco, son las curvas de crecimiento y desarrollo de frutos, las cuales están genéticamente determinadas, hormonalmente reguladas y pueden ser modificadas por las condiciones ambientales particulares del cultivo (Garriz *et al.*, 2005), por lo cual, se requiere de curvas de crecimiento de fruto específicas de acuerdo con cultivares particulares, suelo, clima y manejo agronómico (Solarte *et al.*, 2010). Comúnmente, estas curvas se ajustan a un modelo matemático que permite calcular la Tasa de Crecimiento Absoluto (TCA) y la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), permitiendo la predicción del tamaño de la fruta (Godoy *et al.*, 2008).

Estudios sobre el crecimiento del fruto de gulupa, indican que el ciclo reproductivo inicia con la formación de yemas florales en la axila foliar que tardan en convertirse en flores entre 30 y 40 días (Flórez *et al.*, 2012a). Posteriormente, las flores presentan antesis entre las 6 y las 8 h, permaneciendo abiertas en promedio 25 h (Ángel-Coca *et al.*, 2011). Luego de la polinización, ocurre el cuajado del fruto que se alcanza 7 días después de antesis (DDA) (Lederman y Gazit, 1993). Posteriormente, se presenta un crecimiento acelerado del fruto que

se detiene cerca de los 90 DDA, momento donde se alcanza la madurez fisiológica (Flórez *et al.*, 2012a). A continuación se inicia el proceso de maduración con cambios en la composición bioquímica del fruto, así como en la coloración que pasa de verde a púrpura (Pinzón *et al.*, 2007).

En investigaciones previas, se han reportado curvas de crecimiento con diferencias que pueden ser debidas al efecto del ambiente sobre el fruto. Shiomi *et al.*, (1996) encontraron que el fruto alcanza su tamaño máximo a los 20 DDA, logrando la madurez fisiológica a los 60 DDA y una madurez de consumo a los 70 DDA. Por su parte, Gachanja y Gurham (1981) reportaron que para frutos cultivados en Kenia el tamaño máximo y la maduración se alcanzaron a los 24 y 81 días, respectivamente. Akamine y Girolami, (1959) encontraron que los frutos de maracuyá cultivados en Hawaii, incrementaron rápidamente su diámetro longitudinal y ecuatorial hasta el día 11 DDA, a partir de entonces, la tasa de crecimiento disminuyó alcanzando el máximo tamaño entre los 18 y 20 DDA. Para frutos de gulupa cultivados en Japón, Ishihata (1965), indicó que el peso fresco y los diámetros longitudinal y transversal se incrementaron aceleradamente durante los primeros 15 DDA, alcanzando la madurez a los 65 DDA.

Teniendo en cuenta aspectos ambientales en el desarrollo del fruto, Simon y Karnatz (1983) determinaron el efecto de la temperatura edáfica y atmosférica en el crecimiento y fructificación de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims var *edulis*), indicando que hay una mayor masa seca y número de hojas en altas temperaturas. La floración inició cuatro semanas después de la aparición de las primeras yemas y el curso de la floración estuvo influenciado por la temperatura del aire, mientras el efecto de la temperatura edáfica fue comparativamente menor. Las plantas a altas temperaturas comenzaron a florecer dos semanas antes que las plantas en bajas temperaturas, pero la duración de su período de floración fue la misma. A su vez, el número de flores abiertas fue menor en altas temperaturas, al igual que el número de frutos obtenidos a partir de estas.

Se ha catalogado como promisorio al cultivo de la gulupa, gracias a su demanda en el mercado internacional, convirtiéndola junto con el maracuyá en la tercera fruta más exportada desde Colombia (Pinzón *et al.*, 2007). A pesar de su gran potencial, el cultivo cuenta con algunos vacíos de conocimiento, como por ejemplo las fases fenológicas específicas dependiendo de las condiciones ambientales (Carvalho Da Silva *et al.*, 2004) y la determinación del efecto del clima sobre las variables de crecimiento del fruto. Recientemente, se ha venido estudiando la gulupa en diferentes aspectos como fitopatología, prácticas agrícolas (Guerrero-López y Hoyos-Carvajal, 2010), fisiología poscosecha (Díaz *et al.*, 2011; Melgarejo y Hernández, 2011), características físico-químicas (Jiménez *et al.*, 2011), ecofisiología (Pérez *et al.*, 2012); sin embargo, falta profundizar sobre el análisis de las fases fenológicas y el efecto de las variables climáticas sobre el crecimiento del fruto, ya que son fundamentales para la explotación comercial, con el fin de obtener mayor productividad y consecuentemente mayores ingresos para los productores.

A la fecha, en Colombia no se habían realizado seguimientos fenológicos del cultivo de gulupa, por lo cual se propuso realizar éste estudio para determinar la duración y momento (en el año) donde ocurren los estados fenológicos y su relación con el ambiente. A su vez, los estudios sobre el crecimiento del fruto reflejan diferencias, que pueden ser debidas a la interacción de las plantas con el ambiente; en ese contexto, el objetivo del presente estudio fue determinar las curvas de crecimiento del fruto y su relación con algunas variables climáticas.

2.3 Materiales y métodos

2.3.1 Material vegetal

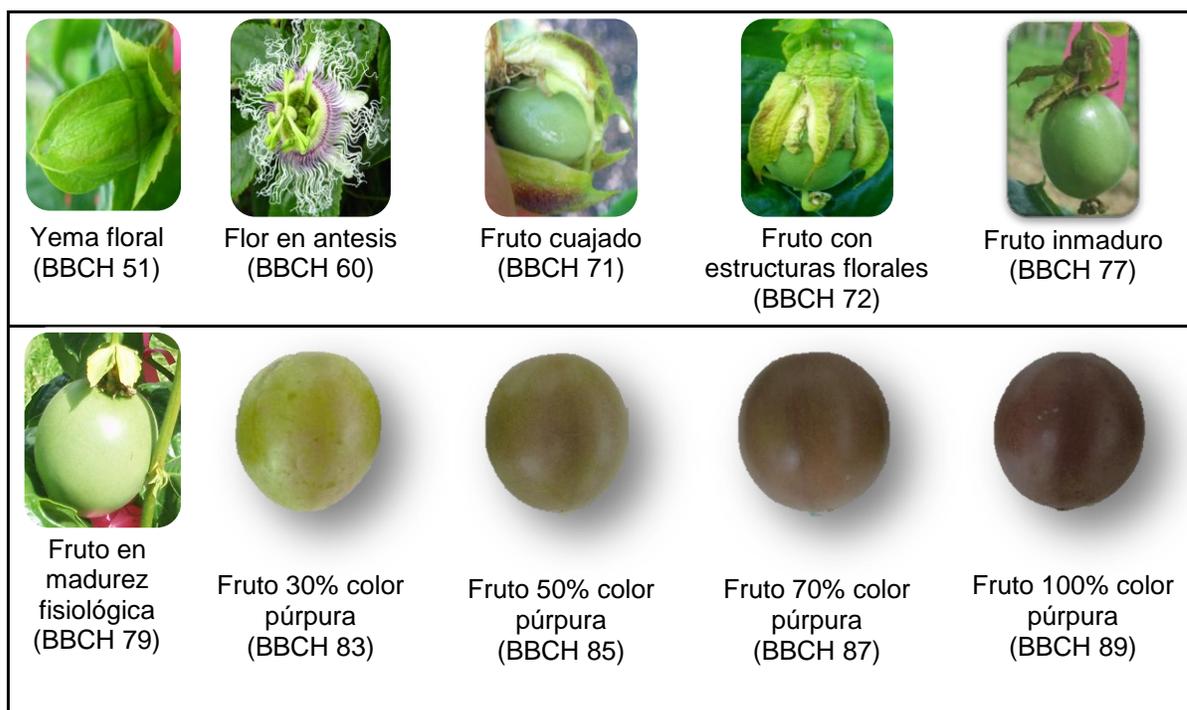
Se establecieron parcelas experimentales de 100 plantas sembradas a una distancia de 6 m entre plantas y de 3 m entre surcos, en un sistema de tutorado de espaldera simple en tres fincas de agricultores, ubicadas en los municipios de Chía (N04° 50.952' WO 74° 04.343'. 2573 msnm), Granada (N04° 30.131' WO74° 21.487'. 2175 msnm) y Tena (N04°41.234'WO74°22.564. 2078 msnm) del departamento de Cundinamarca (Colombia). Las plantas fueron sembradas simultáneamente en Granada y Tena en marzo de 2009 (ciclo I) y marzo de 2010 (ciclo II). En Chía, la siembra se realizó en marzo de 2010 y al cabo de 12 meses las plantas iniciaron el ciclo reproductivo.

Durante el estudio, se garantizó la nutrición adecuada de las plantas con el monitoreo constante de las condiciones edáficas y foliares, por medio de los análisis de suelos y análisis foliares que fueron la base de los planes de fertilización utilizados en cada localidad. Del mismo modo, se realizó el manejo fitopatológico de acuerdo a las condiciones de cada cultivo. Se usaron técnicas estándar de poda para manejar el crecimiento vegetativo de las lianas, dándoles una estructura equivalente entre las plantas de cada parcela (ver Figura 1-1).

2.3.2 Seguimiento fenológico

El seguimiento fenológico se llevo a cabo en 10 plantas de cada localidad. En cada planta, se escogió un tercio representativo del número total de ramas para realizar cada dos semanas, inventarios de diez estados fenológicos descritos en la escala BBCH (ver capítulo 1):

Figura 2-1. Estados fenológicos evaluados.



Con los datos obtenidos de los inventarios se construyeron los calendarios fenológicos, con el objetivo de determinar la duración e intensidad de estos estados fenológicos.

2.3.3 Curvas de crecimiento

En cada finca se marcó el mayor número de flores en antesis con el propósito de garantizar material suficiente para la realización del ensayo. Posteriormente, cada 5 días se colectaron de forma aleatoria 15 frutos del estrato medio de la planta, evitando tomar frutos de plantas ubicadas en los bordes de la parcela. Se midió en cada fruto el diámetro longitudinal y el diámetro transversal con un calibre digital (Fischer *Scientific* 0-150mm), peso fresco y peso seco con una balanza analítica (Mettler AB204). Para obtener el peso seco, los frutos permanecieron en un horno a 70°C hasta registrarse peso constante. Las mediciones fueron realizadas hasta la madurez de los frutos. Adicionalmente, con los datos obtenidos se calcularon la Tasa de Crecimiento Absoluto (TCA) y la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) según las fórmulas propuestas por Hunt, (2003).

2.3.4 Medición de variables climáticas

Con el propósito de determinar el efecto de las variables climáticas sobre la fenología y el crecimiento del fruto, se instalaron estaciones meteorológicas portátiles tipo Coltein que monitorearon las condiciones de Humedad Relativa (HR%), Temperatura (°C), Radiación fotosintéticamente activa (PAR por sus siglas en inglés) y precipitación (mm). Con los datos obtenidos se calcularon promedios mensuales para cada una de las variables evaluadas. La variable Déficit de Presión de Vapor (DPV) fue calculada con la fórmula propuesta por Allen *et al.*, (2006).

2.3.5 Análisis estadístico

- Fenología

Las relaciones entre los estados fenológicos y las variables climáticas (%HR, Temperatura, precipitación, PAR y DPV) se determinaron mediante análisis de regresión múltiple paso a paso (*stepwise*); además, se evaluaron las relaciones de cada estado fenológico y las variables climáticas hasta de 4 meses atrás. Para la escogencia del modelo se tuvieron en cuenta dos aspectos: la significancia ($P < 0,05$), y la normalidad y homocedasticidad de los residuos; sólo se tuvieron en cuenta los modelos que cumplieran con esos aspectos. Todos los análisis se llevaron a cabo en el software Minitab® 16.1.1

- Curvas de crecimiento

Con los datos colectados de peso fresco y seco, diámetro transversal y longitudinal se ajustaron las curvas de crecimiento para cada localidad por medio de un modelo logístico con tres parámetros mediante el software STATISTIX 9, 2008.

Posteriormente, se efectuaron análisis de varianza (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias entre las localidades en el peso y tamaño de los frutos. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los frutos cultivados bajo las condiciones de Granada y Tena, por lo que los análisis de regresión múltiple paso a paso que se realizaron para determinar el efecto de las variables climáticas se llevaron a cabo de forma conjunta para éstas dos localidades y de manera individual para Chía. Dichos análisis se ejecutaron con el software Minitab® 16.1.1.

2.4 Resultados

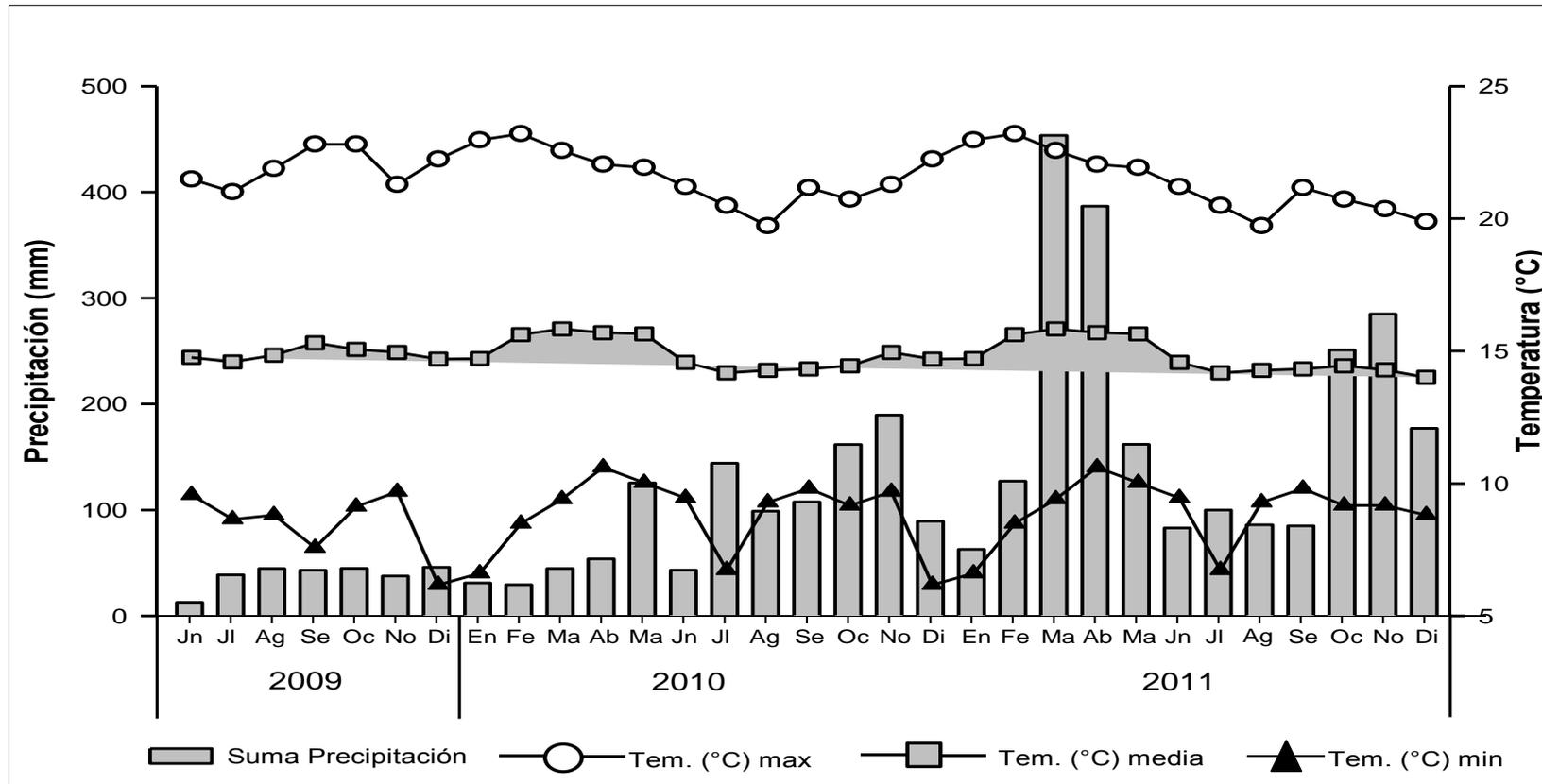
2.4.1 Comportamiento de las variables climáticas en los sitios de estudio

Durante el período de estudio, se presentaron variaciones climáticas relacionadas con los fenómenos de “el Niño” y de “la Niña”. El fenómeno de “el Niño” se caracteriza por disminución en las precipitaciones, mientras que el fenómeno de “la Niña” se relaciona con un aumento. El fenómeno de “el Niño” se inició a mediados del año 2009, disipándose a finales del mes de mayo de 2010. Durante el mes de Junio del año 2010 se tuvieron condiciones neutrales, indicando que no había presencia de “el Niño” ni de “la Niña”, pero en el mes de julio se inició el acoplamiento de las condiciones océano-atmosféricas en el Océano Pacífico Tropical, que favorecieron la presencia de “la Niña” cuyos efectos estuvieron presentes hasta el mes de diciembre de 2011, con lo que no se registraron períodos secos durante el primer trimestre de ese año (Fuente: Reportes mensuales del IDEAM), incidiendo probablemente en la fenología y en el crecimiento de las plantas del cultivo de gulupa.

Durante el seguimiento fenológico, Granada tuvo una precipitación constante media cercana a 40 mm en el segundo semestre del 2009. En el 2010 se presentaron tres picos de precipitación: en mayo (125 mm), en julio (144 mm), y entre octubre-noviembre (161-198 mm). Por su parte, en el 2011 hubo dos picos de precipitación en: marzo-abril (453-386 mm) y octubre-noviembre (251-285 mm). En los últimos catorce años se registró un régimen bimodal con aumento de precipitación entre marzo y abril (135-165 mm) y entre octubre y noviembre (223-204 mm) (Anexo A), haciendo evidente el aumento de la cantidad de precipitación durante el periodo de estudio.

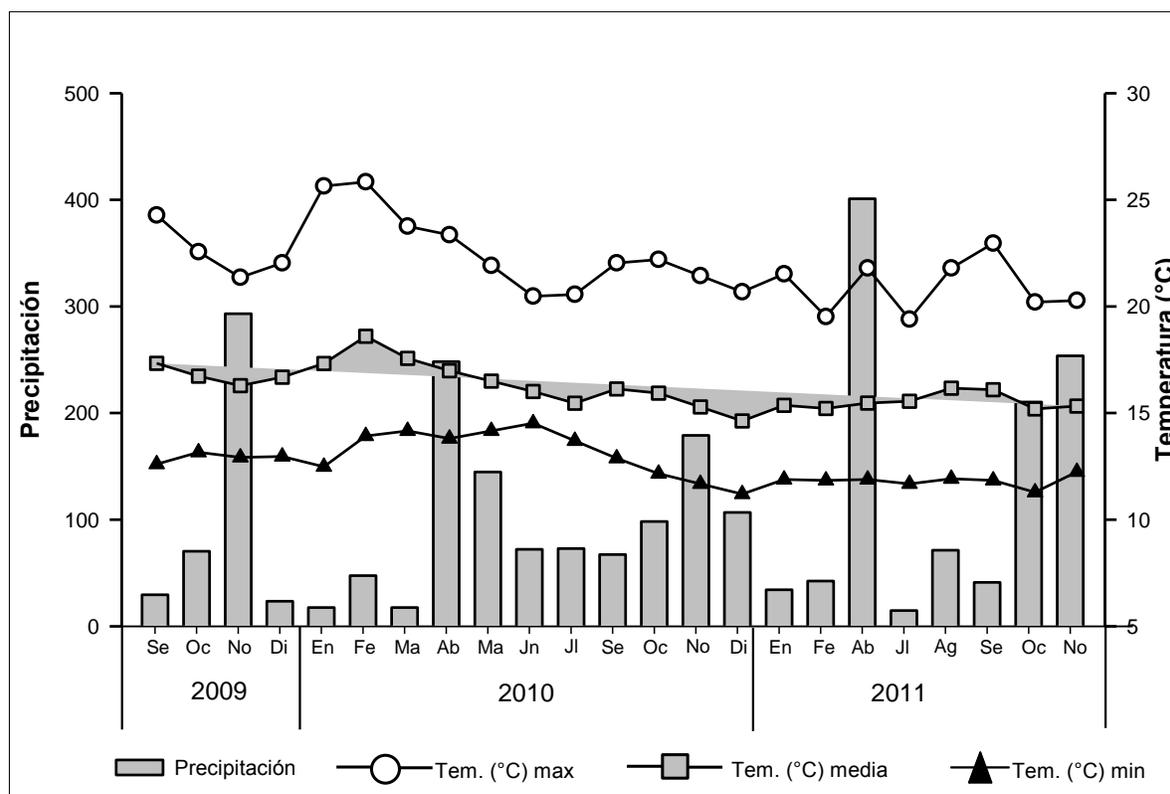
La temperatura media fue de 15°C, siendo el primer semestre (febrero – mayo) ligeramente más caliente (16°C) que el segundo (14°C) (Figura 2-2).

Figura 2-2. Comportamiento de la precipitación (barras) y la temperatura media (■), la temperatura mínima (▲) y la temperatura máxima (○) en la localidad de Granada.



En Tena, entre septiembre y diciembre de 2009 se presentó un pico de precipitación en noviembre (293 mm). En el 2010 se registraron dos picos de precipitación: en abril (248 mm), y en noviembre (179 mm). En el 2011 se registraron dos picos de precipitación en abril (401 mm) y en octubre-noviembre (210 y 254 mm). El pico registrado en 2010 y 2011 también se registra en el historial (1991-2009) con un valor promedio menor (106 mm) (Anexo A), indicando el aumento del nivel de precipitación en los dos últimos años relacionado con el efecto de La Niña. La temperatura media fue de 16°C con variaciones de hasta 3 °C en meses de poca precipitación como febrero 2010 (Figura 2-3).

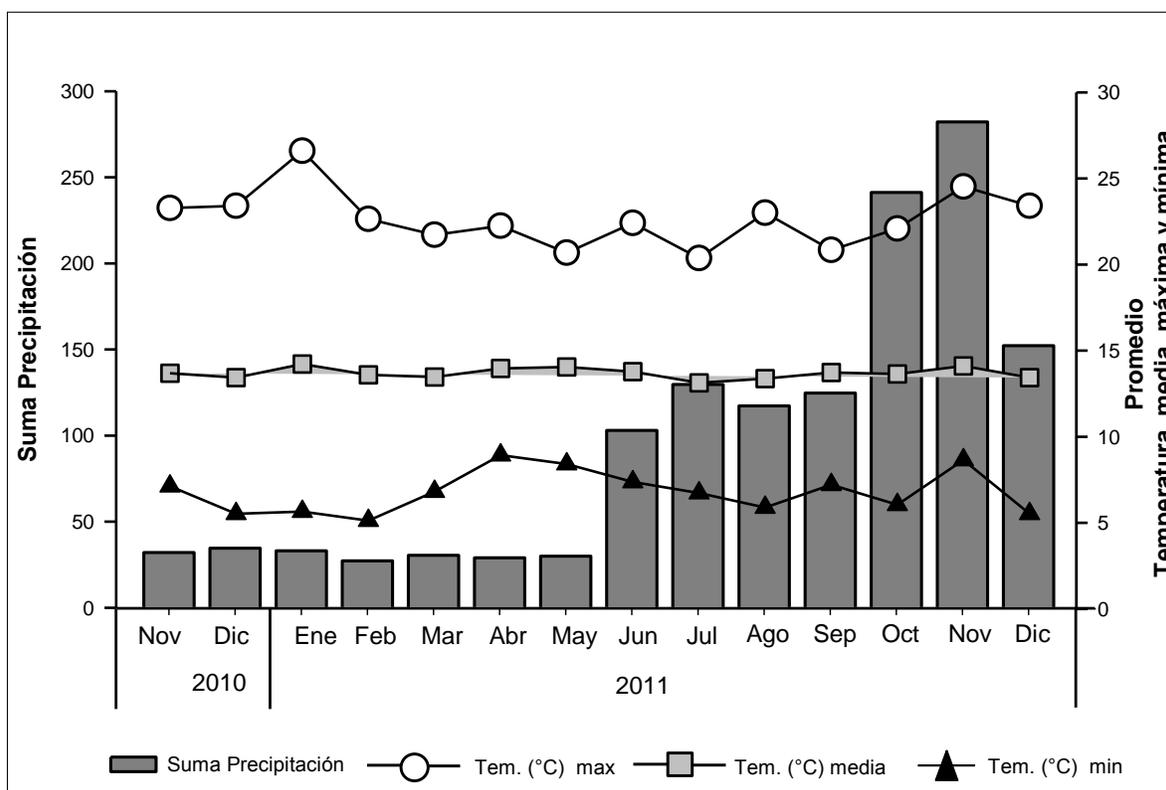
Figura 2-3. Comportamiento de la precipitación (barras) y la temperatura media (■), la temperatura mínima (▲) y la temperatura máxima (○) en la localidad de Tena.



Chía tuvo una precipitación media de 30 mm entre noviembre 2010 y mayo 2011. De junio a septiembre, las lluvias se incrementaron alcanzando valores medios de 120 mm; en octubre y noviembre ocurrieron los picos de precipitación (241 y 282 mm). Los promedios históricos (Anexo A), mostraron picos de precipitación entre abril-mayo y entre octubre-noviembre con valores que no superaron los 107 mm, indicando que durante los años en que se realizó el presente estudio, las lluvias

aumentaron notablemente debido al efecto del fenómeno de La Niña. La temperatura media fue de 14°C sin mayores variaciones entre los meses (Figura 2-4).

Figura 2-4. Comportamiento de la precipitación (barras) y la temperatura media (■), la temperatura mínima (▲) y la temperatura máxima (○) en la localidad de Chía.



La temperatura media de las tres localidades varió en un grado centígrado, siendo mayor en Tena y menor en Chía, sin embargo, se presentaron diferencias considerables entre la temperatura diurna y la nocturna: entre las 19:00 y las 5:00 h la temperatura en Tena está 4°C por encima de la de Chía y 2°C sobre la de Granada, en contraste, durante el día, entre las 6:00 y las 18:00 h, la temperatura en Tena es 1°C mayor que la de Chía y la de Granada. La diferencia entre la temperatura diurna y nocturna en una misma localidad, es mayor en Chía con fluctuaciones de 4,2°C, seguido de Granada con 3,5°C (2011) y 3,7°C (2010) y menor en Tena con diferencias de 2,5°C (2010) y 2,1°C (2011). La humedad relativa media es muy similar entre las localidades, no obstante, en Chía la humedad relativa presenta grandes diferencias entre el día y la noche. En la noche la humedad alcanza valores de 93,5%, y en el día desciende hasta 77,2% con una

diferencia de 16,3% entre las dos jornadas. En Tena la humedad relativa de la noche se mantiene durante el día con una diferencia de 0,7%, mientras que en Granada la humedad de la noche aumenta entre 5,3 y 3,7% con respecto a la del día.

La PAR media es mayor en Granada y menor en Chía, pero la PAR máxima es mayor en Chía y menor en Tena, debido al descenso de neblina que se presenta casi a diario en diferentes horas del día, lo que disminuye la radiación incidente.

El déficit de presión de vapor se calculó según Allen *et al.*,(2006), teniendo en cuenta los máximos y mínimos diarios de temperatura y humedad. El promedio general indica un mayor déficit de presión de vapor en Chía, y muy similar en Granada y Tena.

En la Tabla 2-1 se resumen los valores promedio de las variables climáticas analizadas durante el estudio:

Tabla 2-1. Condiciones climáticas promedio durante el seguimiento fenológico para las tres localidades. Los valores de precipitación corresponden a la sumatoria de los mm registrados durante los meses en que las estructuras reproductivas fueron observadas. T°=Temperatura; %HR=Humedad relativa; min=mínima; max=máxima; PAR=Radiación fotosintéticamente activa; DPV=Déficit de presión de vapor.

Localidad	T° media	T° noche (19-5h)	T° día (6-18h)	Delta T° día/noche	%HR media	%HR min	%HR max	%HR noche	%HR día	Delta HR día/noche	PAR promedio	PAR max	DPV	Precipitación
Chía 2011	14	11	16	4,2	84,6	45,0	99,7	93,5	77,2	16,3	326,50	2150,88	0,62	1209,6
Granada 2010 ciclo I	15	13	17	3,7	88,7	60,2	96,0	91,5	86,3	5,3	495,26	2083,21	0,34	886,1
Granada 2011 ciclo II	15	13	16	3,5	90,4	64,8	96,0	92,4	88,8	3,7	503,63	2075,68	0,27	2097,3
Tena 2010 ciclo I	16	15	18	2,5	85,6	60,3	96,4	86,0	85,3	0,7	397,80	1859,7	0,35	1181
Tena 2011 Ciclo II	16	15	17	2,1	89,3	62,7	100,0	89,7	89,0	0,7	360,03	1788,90	0,24	591,4

2.4.2 Seguimiento fenológico (Calendarios)

Con los datos obtenidos en los inventarios se construyeron los calendarios fenológicos, que muestran de forma clara la duración de los diferentes estados fenológicos observados en las plantas de gulupa bajo las condiciones de Tena, Granada y Chía. El seguimiento fenológico se inició en cada localidad, con la aparición de las primeras estructuras reproductivas, las yemas florales. El cultivo denominado ciclo I fue establecido simultáneamente en Tena y Granada en marzo de 2009, y el cultivo ciclo II en marzo de 2010. En Chía sólo se contó con plantas de un único ciclo. Las plantas del ciclo I tardaron en Granada 7 meses en iniciar su ciclo reproductivo, mientras que las de Tena 10 meses. El periodo transcurrido entre la siembra y la formación de yemas florales en las plantas del ciclo II fue de 10 meses en Granada, 16 meses en Tena y 12 meses en Chía; la diferencia en el inicio del ciclo reproductivo entre las plantas de los dos ciclos es podrían atribuirse a las condiciones climáticas atípicas de los años 2010 y 2011, siendo las plantas del ciclo II de Tena las más afectadas.

▪ *Tena ciclo I*

En Tena (Figura 2-5), el seguimiento fenológico se inició en enero de 2010 con la aparición de las primeras yemas florales, las cuales se presentaron de enero a febrero y de mayo a agosto, y en mayor número en junio de 2010; en tanto que durante el 2011 fueron registradas en enero y julio. La floración se inicia aproximadamente 30 días después de la aparición de las yemas; es decir, en el mes de junio, y finaliza en agosto, siendo julio el mes donde se encontraron más flores por planta (46). De Febrero a Agosto, las plantas desarrollaron de forma simultánea en la misma rama los estados 60, 71, 72, 77 e incluso el estado 79, siendo julio el mes de mayor abundancia, excepto para el estado 77 y el 79, que mostrarían su pico en septiembre y agosto, respectivamente. El inicio de la maduración se dio en agosto cuando los frutos que se encontraban en madurez fisiológica (BBCH 79) cambiaron paulatinamente el color del exocarpo de verde a púrpura. De agosto a diciembre se contaron los estados 83, 85, 87 y 89, período en el cual se cosecharon los frutos para su comercialización. Para el año 2011 no se registró hasta el mes de julio ningún estado correspondiente a frutos.

▪ *Tena ciclo II*

Las yemas florales (BBCH 51) fueron registradas de julio a octubre, mientras que la floración de julio a septiembre, al igual que los estados 71 y 72. El estado 77 se observó de agosto a octubre, y de octubre a noviembre alcanzaron su madurez fisiológica (BBCH 79). El inicio del cambio de coloración se registró también en octubre y noviembre (estado 83), al igual que los estados 85 y 87, finalmente el estado 89 se registró únicamente en noviembre (Figura 2-5).

Además de tardar 6 meses más que las plantas del ciclo I en iniciar su ciclo reproductivo, las plantas del ciclo II presentaron valores menores de todos los órganos reproductivos, como por ejemplo, el número de flores/planta, que durante

el ciclo I fue de 46, mientras en el ciclo II fue de 17, lo cual incidió directamente sobre el volumen de la cosecha.

Al comparar entre los dos años de seguimiento, se aprecia que los estados fenológicos tienen menor duración en el año 2011 con respecto al 2010, debido probablemente al incremento de las lluvias y de la humedad relativa durante el 2011, lo que ocasionó mayor incidencia de problemas fitosanitarios como fusariosis, bacteriosis y virosis. Sin embargo, la duración de los eventos fenológicos de yemas forales y flores en antesis fue la misma para las plantas de ambos ciclos (4 y 3 meses, respectivamente), indicando que la duración de esos dos eventos no se vio alterada por el invierno, aunque sí lo hizo el momento del año en el que ocurrieron, ya que en las plantas del ciclo II se retrasó 2 meses con respecto a las del ciclo I.

▪ Granada Ciclo I

Como se mencionó antes, las plantas de Granada iniciaron su ciclo reproductivo en septiembre de 2009 (7 meses después de ser sembradas) con la aparición de yemas florales que estuvieron presentes hasta diciembre del mismo año (Figura 2-6). Al año siguiente se presentaron de junio a septiembre, con un pico en agosto. La floración se inició 60 días después (aproximadamente) de la aparición de las yemas, durante los meses de noviembre y diciembre 2009 y agosto 2010. Es importante resaltar que el número de flores por planta es mucho menor que el número de yemas, lo cual es el resultado de la gran cantidad de abortos presentados. Al igual que en Tena, los estados 71 y 72 se presentaron de forma simultánea de noviembre a diciembre 2009 y de agosto a octubre 2010, en tanto que los frutos inmaduros (BBCH 77) se registraron de noviembre 2009 a marzo 2010 y de agosto a octubre 2010. La oferta de frutos en madurez fisiológica (BBCH 79) fue casi permanente entre noviembre de 2009 y octubre de 2010. El inicio de la maduración (estado 83) fue registrado 90 Días Después de Antesis (DDA), en los meses de febrero y marzo 2010 y continuó hasta abril con el pico de producción de frutos 100% púrpura (BBCH 89). La segunda cosecha no fue observada, debido a los problemas fitosanitarios que presentó el cultivo.

Los datos muestran que el mes de agosto presentó los mayores valores en la mayoría de los estados fenológicos, probablemente debido a un leve incremento en la temperatura y una disminución de la precipitación para ésta localidad.

El cultivo de Granada desde marzo de 2010 presentó gran incidencia y severidad de *Fusarium*, de tal manera que en un principio el 20% de las plantas no sobrevivieron. Posteriormente, la incidencia y la severidad fueron aumentando hasta que en el mes de octubre el cultivo presentaba una incidencia del 100%, una severidad cercana al 70%. Todas las plantas usadas para el seguimiento fenológico estaban enfermas. En noviembre de 2010 el encargado de la finca tomó la decisión de erradicar el cultivo para evitar infección del cultivo del ciclo II, en el cual se iniciaron los seguimientos en el mes de diciembre de 2010.

▪ Granada Ciclo II

El calendario fenológico muestra dos periodos de producción (Figura 2-6), el primero de diciembre 2010 a junio 2011 y el segundo de julio a noviembre 2011. Las yemas florales estuvieron presentes de diciembre a marzo, con un pico en enero (321 yemas/planta) y de julio a octubre, con un pico de menor proporción en septiembre (143 yemas/planta). Al igual que en las plantas del ciclo I, el mayor número de flores en antesis fue encontrado 60 días después de la aparición de yemas. Nuevamente, la aparición de los frutos en estados 71 y 72 se solapa de enero a febrero y de septiembre a noviembre, debido a la rapidez con la que se desarrolla el fruto en sus etapas iniciales, tal y como lo muestran las curvas de crecimiento.

Debido a problemas causados por el fuerte invierno presentado en la región, no fue posible realizar la toma de datos para el mes de mayo en ninguna de las tres localidades, ya que los días en los que se disponía a realizar el inventario se presentaron lluvias, condición bajo la cual, los cultivadores recomiendan no manipular las plantas para evitar que éstas sufran algún tipo de estrés mecánico, por lo cual se continuó con el seguimiento en el mes de junio, donde se observó un claro incremento en el número de frutos en los estados 83, 85, 87 y 89, con valores promedio/planta de 27, 29, 19 y 25 frutos, respectivamente.

La gran cantidad de frutos en estados BBCH 77 y 79 con respecto a los 83, 85, 87 y 89 demuestra que existe un alto porcentaje de abortos en las plantas de gulupa, las cuales se ven seriamente afectadas por el aumento de las precipitaciones. Durante marzo y abril se registraron aumentos drásticos en la precipitación (414,48mm y 386,93mm, respectivamente) que coincidieron con el aumento de abortos de las estructuras reproductivas, puesto que con el aumento de la humedad relativa, se favorece la pudrición de las estructuras florales, y se afecta el proceso de polinización, debido a que con lluvias disminuye la frecuencia de las visitas de los polinizadores a las flores en antesis. En contraste, durante el mes de junio se registraron disminuciones en los niveles de precipitación que generaron un descenso en el número de abortos, soportando lo enunciado anteriormente.

Figura 2-6. Calendario fenológico de la gulupa en la localidad de Granada. El número corresponde al valor promedio/planta y al pico de producción.

Estado fenológico	Cultivo Ciclo I				Cultivo Ciclo I								Cultivo Ciclo II												
	2009				2010								2011												
	Mes	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Dic/10	Ene	Feb	Mar	Abr	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Yema floral (BBCH 51)			165													321									
Flor en antesis (BBCH 60)			31	26								27				41							29		
Fruto cuajado (BBCH 71)															26								20		
Fruto con estructuras florales (BBCH 72)				16												14								79	
Fruto inmaduro (BBCH 77)							105										249							64	
Fruto en madurez fisiológica (BBCH 79)						173												189							62
Fruto 30% púrpura (BBCH 83)						17														27					
Fruto 50% púrpura (BBCH 85)						6														29					
Fruto 70% púrpura (BBCH 87)						11														19					
Fruto 100% púrpura (BBCH 89)							45													25					

▪ Chía año 2011

El seguimiento fenológico en la localidad de Chía se inicio en el mes de marzo debido a que para esta fecha las plantas alcanzaron el segundo alambre e iniciaron el desarrollo de yemas florales (Figura 2-7). Los estados comprendidos entre 51 y 77 ocurrieron de forma permanente durante todo el período de estudio.

Las yemas florales presentaron su máximo número en Enero (125/planta) y después en Febrero se redujeron en un 50%. El número de flores en antesis (BBCH 60) permaneció constante durante todos los meses (5/planta) aunque en noviembre y diciembre se triplicó, produciendo un pico de floración, mientras que el estado 71 presentó sus máximos valores en marzo, abril y diciembre, y el estado 72 en septiembre (8/planta). Los frutos inmaduros (BBCH 77) presentaron valores promedios para todos los meses entre 61 y 69 frutos/planta durante el período comprendido entre abril y septiembre. Los frutos en madurez fisiológica se presentaron en abril y permanecieron con un valor constante de 13 frutos/planta hasta Julio, donde su valor fue 48/planta y luego disminuyó considerablemente a 10/planta en los meses de agosto a octubre, aumentando en diciembre a 50/planta. Todos los estados de frutos maduros aparecieron desde Junio hasta Diciembre manteniéndose constantes con valores entre 4 y 9 frutos/planta.

Figura 2-7. Calendario fenológico de la gulupa en la localidad de Chía, Cundinamarca. El número que aparece en algunas casillas indica que el pico de producción de ese órgano ocurrió en ese mes. El número es el valor promedio/ planta.

Estado fenológico Mes	Año 2011									
	Mar	Abr	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Yema floral (BBCH 51)	125	75			74				97	
Flor en antesis (BBCH 60)	5	5		5		5		12	16	
Fruto cuajado (BBCH 71)	10	9							11	
Fruto con estructuras florales (BBCH 72)						8				
Fruto inmaduro (BBCH 77)		61			69	63				
Fruto en madurez fisiológica (BBCH 79)				48					50	
Fruto 30% color púrpura (BBCH 83)					17				9	
Fruto 50% color púrpura (BBCH 85)									20	
Fruto 70% color púrpura (BBCH 87)				4		4			9	
Fruto 100% color púrpura (BBCH 89)			3							

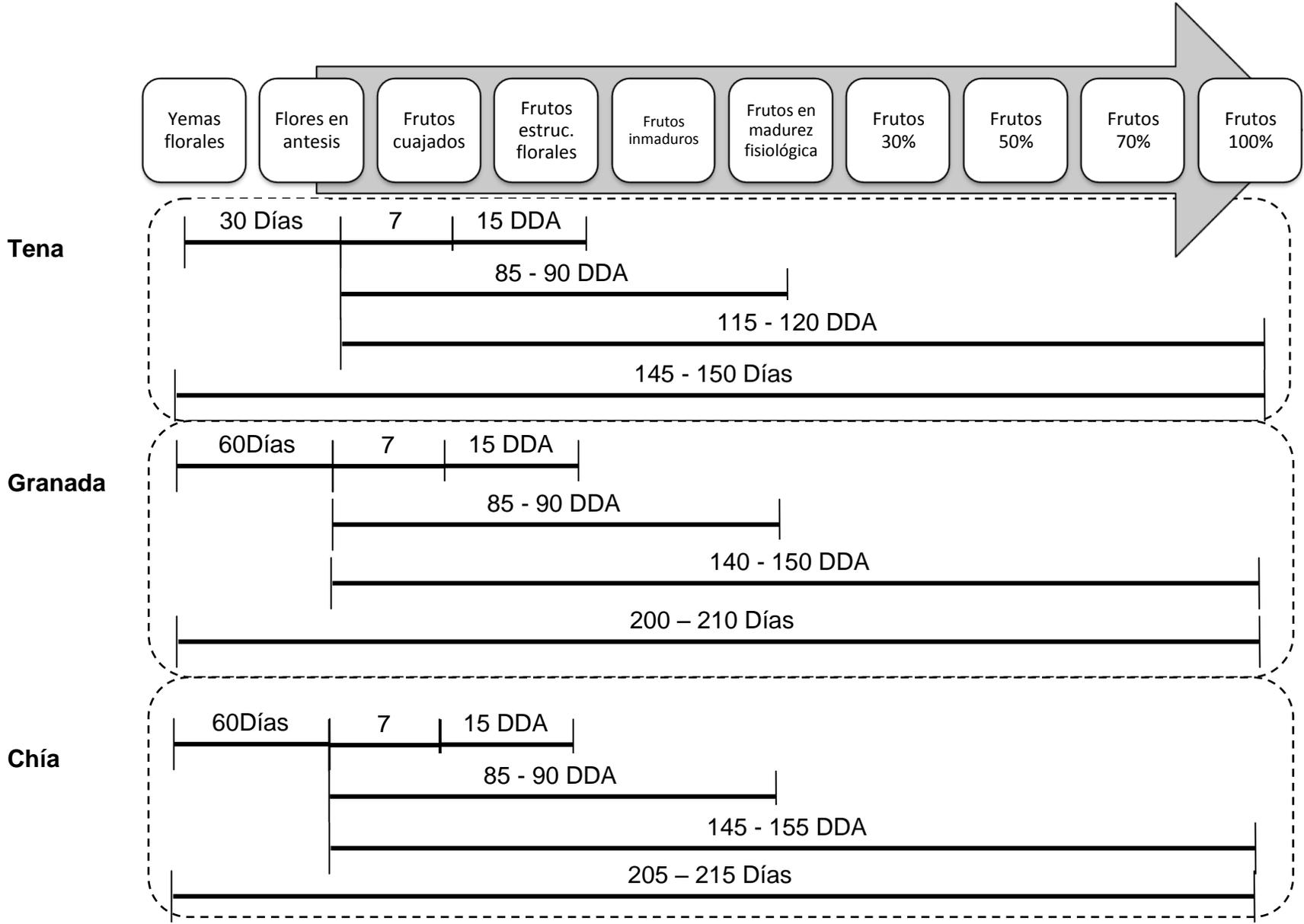
2.4.3 Duración de los estados fenológicos

Por medio de los datos obtenidos en los calendarios fenológicos y las curvas de crecimiento, además de observaciones puntuales en campo, se estableció la duración de los estados fenológicos en las plantas de gulupa sembradas en Tena, Granada y Chía. Este conocimiento representa una ventaja para el cultivador que requiera calcular (de forma aproximada) la fecha de su cosecha.

Se encontró que existen diferencias en la duración del ciclo reproductivo entre las localidades, siendo más corto en Tena con respecto a Granada y Chía. El ciclo reproductivo se inicia con la aparición de yemas florales, y finaliza con frutos en madurez de consumo. En Tena, la duración del ciclo reproductivo osciló entre 145 y 150 días, mientras que en Granada y Chía el ciclo fue completado entre 205 y 215 días (Figura 2-8).

Cabe destacar, que la gulupa presenta solapamiento entre sus estados fenológicos, lo que dificulta conocer la duración de los mismos, en especial la transición de fruto inmaduro en crecimiento a fruto en madurez fisiológica, por lo que se realizó un estudio preliminar para establecer la madurez fisiológica de frutos obtenidos en las localidades en estudio. Se determinó que el punto de madurez fisiológica se alcanza entre 85 y 90 DDA, ya que antes las semillas presentan heterogeneidad en el desarrollo, caracterizado por semillas de testa blanda y de color claro, junto con semillas de color negro y testa fuerte en el mismo fruto. Entre los 85 y 90 DDA, la totalidad de las semillas presentan características de testa dura y de color negro, con una viabilidad del 100% para la prueba de trifeniltetrazoilo.

Figura 2-8. Duración de los eventos fenológicos en plantas de gulupa sembradas en Tena, Granada y Chía. DDA=Días después de antesis.



2.4.4 Producción de los cultivos

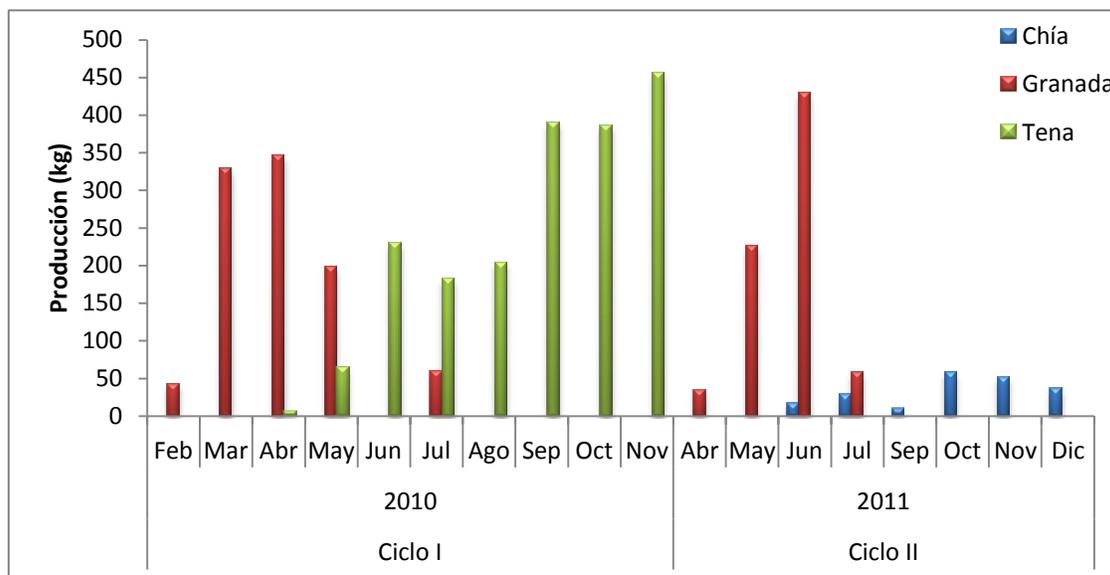
Durante el 2010 en plantas del ciclo I, la producción en el cultivo de Granada precedió a la de Tena; no obstante, debido a la incidencia de Fusariosis su producción cesó tempranamente. La mayor producción en Granada se dió entre Marzo y Abril con 328 y 346 kg de fruta/cultivo respectivamente. Por su parte, en Tena la producción comenzó en Abril y se mantuvo durante todo el año con los mayores picos en septiembre (389 kg de fruta/cultivo), octubre (385 kg de fruta/cultivo), y noviembre (455 Kg de fruta/cultivo) (Figura 2-9).

La producción registrada durante el año 2011 corresponde a las plantas del ciclo II de Granada y Chía. No se cuentan con datos de la localidad de Tena del ciclo II, debido a que las plantas fueron afectadas por virosis, produciendo frutos con características físicas en el exocarpo que afectaban su comercialización (Anexo B), razón por la cual, el encargado de la finca no consideró rentable recolectarlos.

La producción en Granada, en plantas del ciclo II, se dio de abril a julio, con un pico de alta producción en junio (429 kg de fruta/cultivo) que fue ligeramente menor al pico alcanzado en Tena durante el mes de noviembre del 2010, indicando que no existen diferencias importantes entre la producción de las dos localidades. En Chía se cosecharon frutos de junio a diciembre, especialmente en octubre y noviembre que fueron los meses de mayor producción con 58 y 51 kg de fruta/cultivo, respectivamente. Como se evidenció en el calendario fenológico de Chía, ésta localidad produce valores contrastantemente menores a los de Tena y Granada.

Es importante señalar, que los datos de producción y los de calendarios fenológicos no coinciden completamente, debido a que los datos de producción corresponden a la sumatoria de todas las plantas del cultivo, mientras que en el inventario solo se muestrearon 10, que a pesar de ser representativas, pueden presentar diferencias en su producción. Sin embargo, los datos de los calendarios coinciden con el inicio y/o el pico de la producción en cada localidad.

Figura 2-9. Producción (kg de fruta) en los cultivos de Tena, Granada y Chía durante los años 2010 y 2011.



2.4.5 Efecto de las variables climáticas sobre la fenología

▪ Mes a Mes

Los resultados sugieren que en Chía la floración (BBCH 60) es explicada por la Temperatura y el DPV ($R^2 = 90,59 P < 0,05$); los frutos inmaduros (BBCH 77) ($R^2 = 44,49 P < 0,05$) y los frutos en madurez fisiológica se relacionan con la precipitación ($R^2 = 54,27 P < 0,05$). Los estados fenológicos relacionados con la maduración solo muestran un efecto de las variables climáticas sobre el estado 87; la Temperatura (T°), la HR y el DPV mostraron tener un efecto sobre dicho estado fenológico ($R^2 = 88,41 P < 0,05$).

En Granada ciclo I, la variación de los frutos en madurez fisiológica (BBCH 79) fue afectada por la T° media y nocturna, así como por la HR diurna ($R^2 = 68,85 p < 0,05$). Los estados 83, 85 y 87 se relacionaron con la T° media y la HR media ($R^2 = 41,45$; $R^2 = 49,21$ y $R^2 = 79,8$ respectivamente). Por su parte, los estados fenológicos del cultivo del ciclo II mostraron relaciones significativas con varias variables, pero solo el modelo de frutos en madurez fisiológica (BBCH 79) cumplió con los requerimientos de normalidad y homocedasticidad de residuos para ser tomado en cuenta como un modelo adecuado, siendo la T° nocturna, HR media y PAR max variables que presentaron un efecto ($R^2 = 93,9$).

Para el caso de Tena ciclo I, el estado BBCH 79 se relacionó con la PAR máx y la precipitación ($R^2 = 60,20 P < 0,05$). En el cultivo de Tena ciclo II, las variables

climáticas no mostraron un efecto estadísticamente significativo sobre la fenología reproductiva de las plantas, aunque sí se encontraron algunos efectos estadísticamente no significativos de las variables de precipitación y PAR máx con el estado 71, así como de la HR diurna y HR nocturna con los frutos en estado 72; los estados 79, 83, 85, 87 se relacionaron con la precipitación.

En las tres localidades, se encontraron modelos estadísticamente significativos que explican el comportamiento del número de frutos en madurez fisiológica (BBCH 79), lo cual sugiere que el inicio de la madurez está influenciado en cierto grado por el clima, a pesar de que los estados de maduración no presentaron relaciones con el clima para Tena ciclo I y II y Granada ciclo II.

▪ Mes atrás

Los estados fenológicos de las plantas crecidas en Chía y Tena (ciclo I y II) parecen no estar relacionados con las condiciones climáticas que tuvieron lugar 4 meses atrás. En contraste, el estado 72 de plantas de Granada ciclo II estuvo relacionado con la precipitación ($R^2= 29,41$ $p<0,05$) y el estado 79 fue explicado por la PAR media ($R^2= 23,48$ $p<0,05$).

De acuerdo a los estados fenológicos, las yemas florales y las flores parecen no ser influenciadas por ninguna de las variables climáticas analizadas al momento de su ocurrencia, ni tampoco con las condiciones climáticas que tuvieron lugar 4 meses antes; no obstante, los picos de floración ocurrieron cuando se presentaron disminuciones en la precipitación, sugiriendo que existe una relación entre el aumento en la producción de flores en temporadas de bajas precipitaciones, como se muestra en la Figura 2-10.

Tampoco se encontraron relaciones estadísticamente significativas entre el clima y los abortos de yemas, flores y frutos. Debido a la arquitectura y patrón de crecimiento de ésta especie, se produce en las ramas secundarias y terciarias aproximadamente 1 yema floral por cada hoja (ver capítulo 1), con lo cual el aborto natural, es muy frecuente puesto que la planta no cuenta con los recursos suficientes para que todas las yemas alcancen el estado de fruto en madurez organoléptica (BBCH 89). De otro lado, las observaciones en campo permitieron establecer que existe una relación entre el incremento de la precipitación y de los abortos de órganos reproductivos, debidos a la pudrición de los mismos generada con el exceso de humedad (Figura 2-11).

Figura 2-10 Comportamiento de la precipitación (barras) y la producción de flores en: A) Granada. Ciclo I (○). Ciclo II (▲). B) Tena Ciclo I (○) Ciclo II (▲). C) Chía (○).

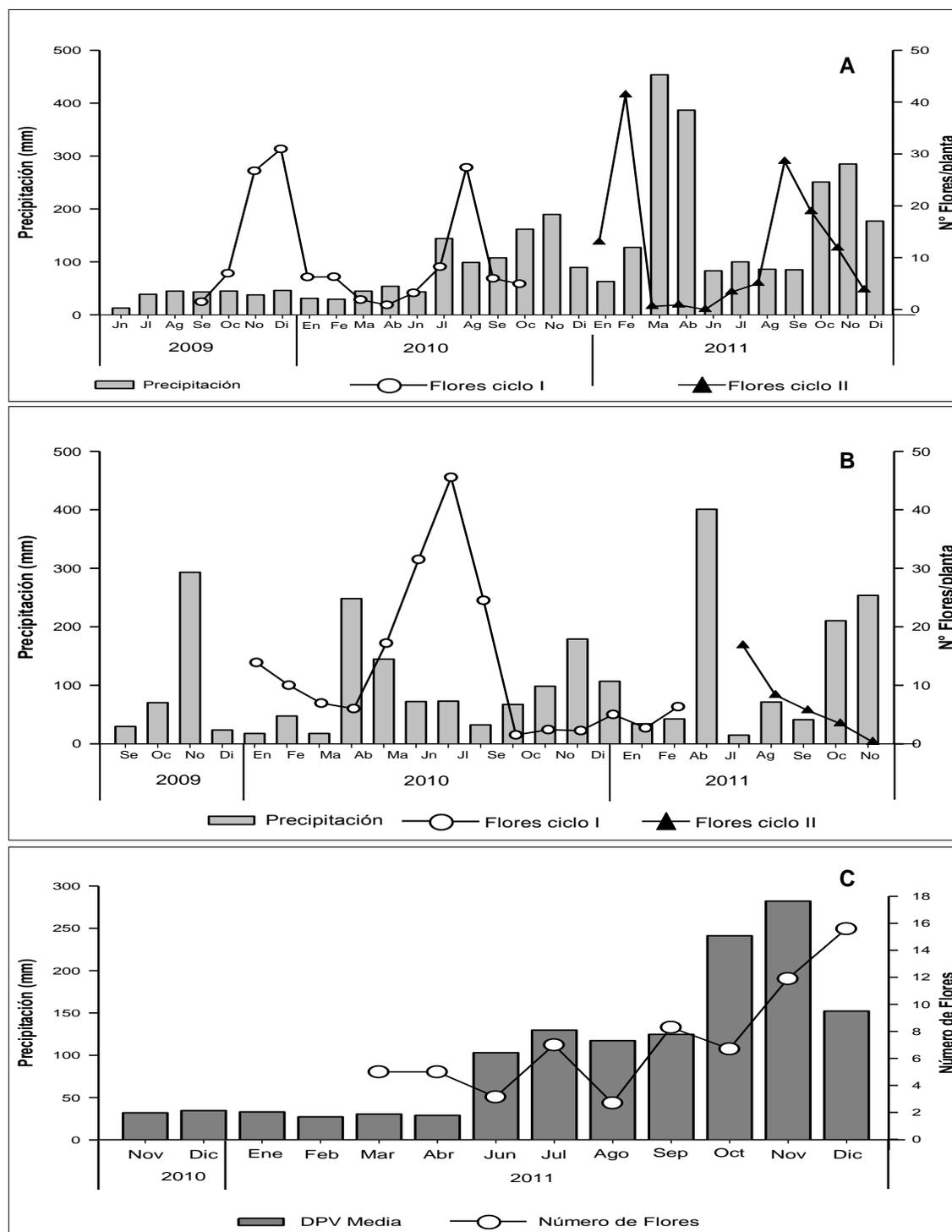
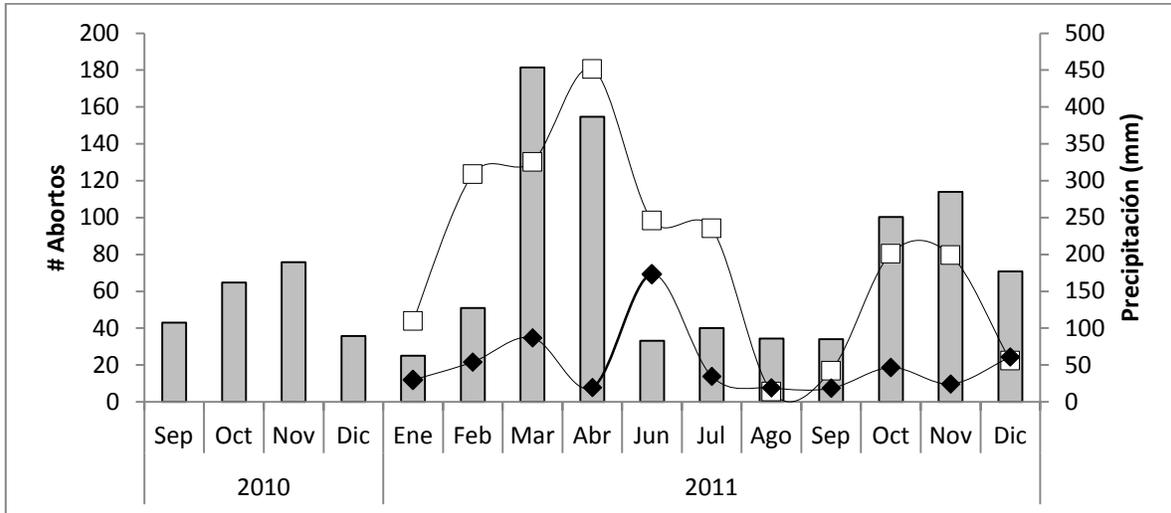


Figura 2-11. Relación precipitación y abortos de estructuras reproductivas. Precipitación (barras). Abortos de yemas florales (♦). Abortos de flores y frutos (□).



2.4.6 Curvas de crecimiento del fruto

Los resultados mostraron que las curvas de diámetro transversal o ecuatorial (Figura 2-12), diámetro longitudinal (Figura 2-13), peso fresco (Figura 2-14), y peso seco (Figura 2-15) se ajustaron a un modelo logístico con valores de R^2 superiores a 0,90 (Tabla 2-2). El alto valor de R^2 es un índice de que los modelos encontrados estadísticamente se ajustan a los datos observados con un mínimo de error.

Las variables analizadas mostraron un patrón de crecimiento de tipo sigmoidal simple, el cual se caracteriza por una curva en forma de S resultado de graficar el peso o tamaño del fruto en función del tiempo (Hunt, 2003).

Los cambios de magnitud expresados en los diámetros longitudinal y transversal (también llamado ecuatorial), muestran que los frutos de gulupa de las tres localidades crecen de forma acelerada durante los primeros 30DDA en el caso de Tena y Granada y 35DDA en Chía. Luego de ese periodo los diámetros permanecen constantes hasta el final de la maduración.

Los diámetros de los frutos provenientes de la localidad de Chía son menores a los muestreados en Granada y a su vez los de ésta localidad son menores a los de Tena. Los valores aproximados entre el diámetro longitudinal y transversal confirman que estos frutos presentan forma esférica.

Figura 2-12. Curvas de crecimiento de Diámetro Ecuatorial (Transversal) del fruto de gulupa, ajustadas a un modelo logístico de tres parámetros en Tena, Granada y Chía.

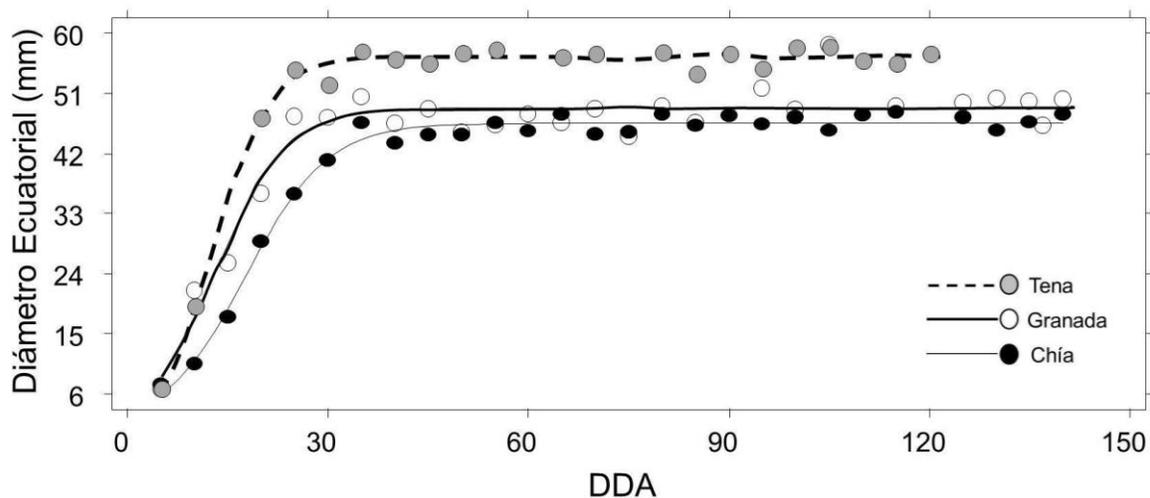
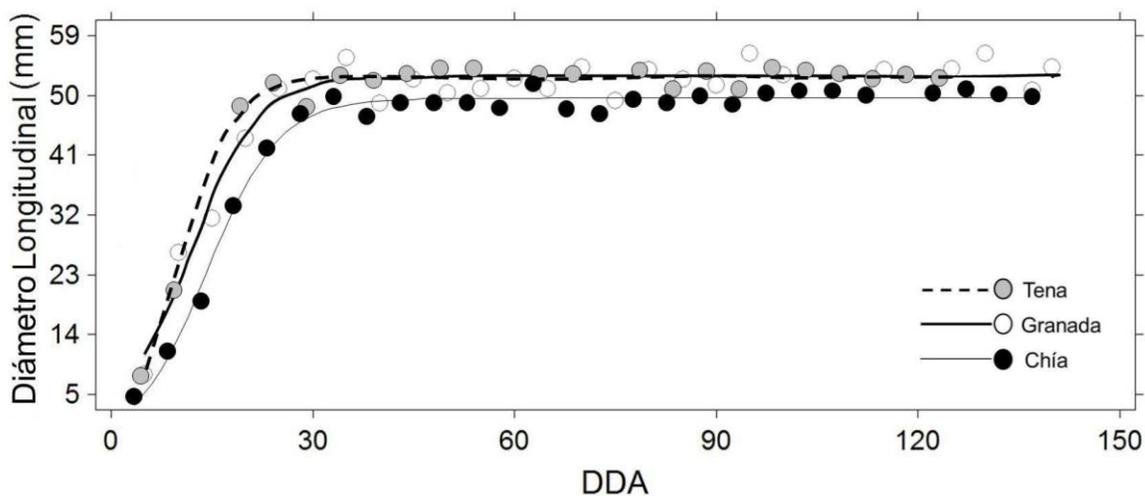


Figura 2-13. Curvas de crecimiento de Diámetro longitudinal del fruto de gulupa, ajustadas a un modelo logístico de tres parámetros en Tena, Granada y Chía.

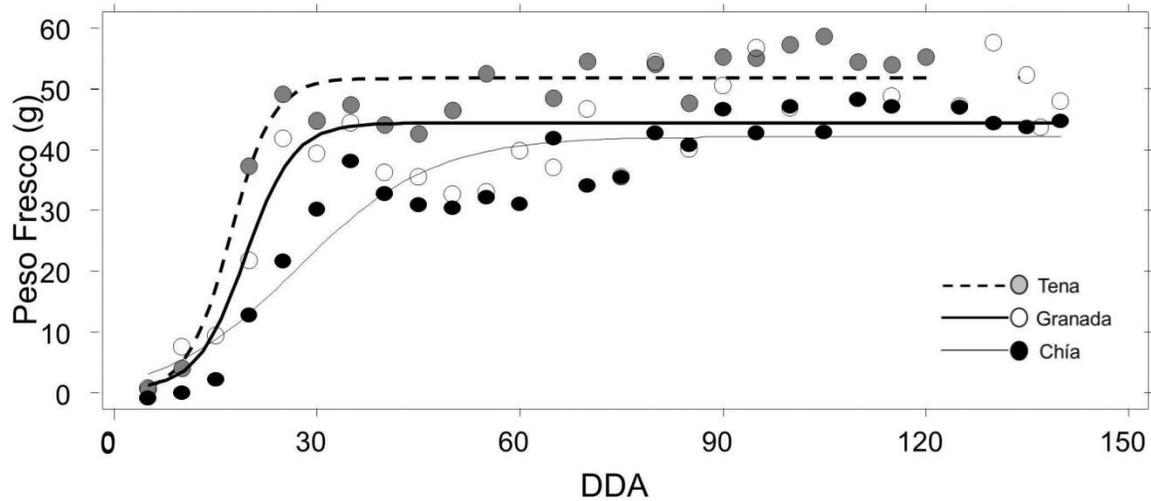


El crecimiento del fruto presentó comportamientos similares en las tres localidades para la variable peso fresco, sin embargo, la curva obtenida para los frutos de Chía mostró una pendiente menos pronunciada, relacionada con un crecimiento más lento.

Por lo general, durante su desarrollo, los frutos presentan tres fases: desarrollo del ovario, división celular y expansión celular (Gillaspy *et al.*, 1993). Estas fases se distinguen claramente en las curvas de peso fresco (Figura 2-14) y seco (Figura 2-15). El peso fresco se incrementó lentamente entre los 5 y 10 DDA, luego, se registró un aumento acelerado entre los 15 y 35 DDA, y finalmente, ocurrió un

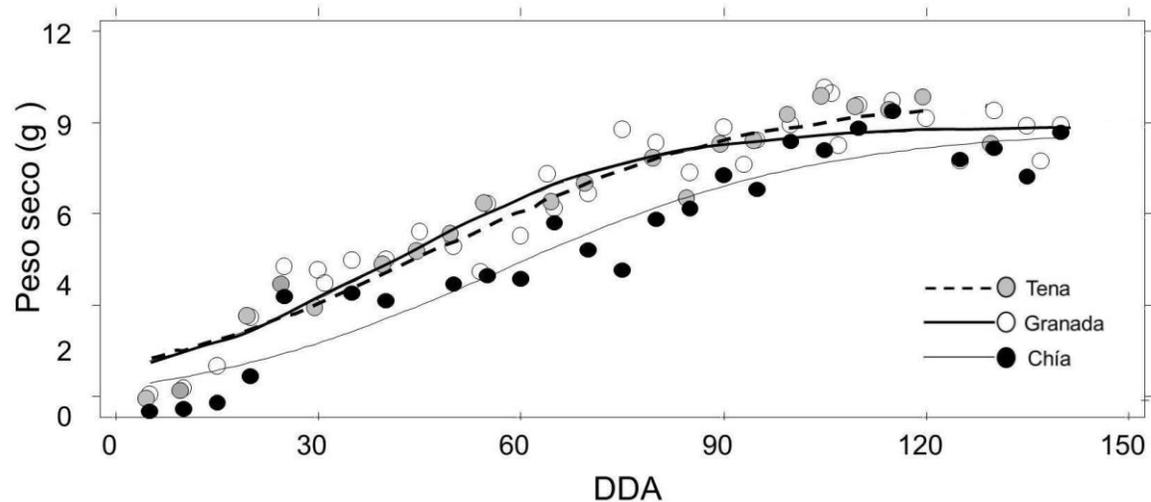
cese del crecimiento desde 35 DDA hasta la madurez. Es claro que el crecimiento de los frutos de Chía fue el más lento.

Figura 2-14. Curvas de crecimiento de Peso fresco ajustadas a un modelo logístico de tres parámetros en Tena, Granada y Chía.



Al igual que la variable de peso fresco, el peso seco mostró un patrón sigmoide simple con las mismas fases mencionadas anteriormente, aunque con la diferencia que la fase de mayor crecimiento se extendió desde los 30 DDA hasta los 90 DDA, momento en el que se alcanzó la madurez fisiológica.

Figura 2-15. Curvas de crecimiento de Peso seco ajustadas a un modelo logístico de tres parámetros en Tena, Granada y Chía.



Los modelos obtenidos describen el comportamiento del peso y tamaño del fruto bajo las condiciones específicas de las localidades en estudio, representando la

integración de factores internos y ambientales que afectan el crecimiento de esta fruta.

Tabla 2-2. Ecuaciones de las variables evaluadas para determinar el crecimiento del fruto de gulupa en Tena, Granada y Chía.

Variable de Crecimiento	Localidad	Ecuación	R ²
Diámetro Transversal (ecuatorial) (mm)	Tena	$DT=51,533/(1+\text{Exp}(2,8983-0,2308*DDA))$	0,99
	Granada	$DT=48,833/(1+\text{Exp}(2,4630-0,1865*DDA))$	0,96
	Chía	$DT=47,956/(1+\text{Exp}(2,9124-0,1644*DDA))$	0,99
Diámetro Longitudinal (mm)	Tena	$DL=55,498/(1+\text{Exp}(2,7681-0,2493*DDA))$	0,99
	Granada	$DL=53,276/(1+\text{Exp}(2,3350-0,1957*DDA))$	0,98
	Chía	$DL=52,043/(1+\text{Exp}(2,9676-0,1865*DDA))$	0,99
Peso Fresco (g)	Tena	$PF=51,641/(1+\text{Exp}(5,4235-0,3159*DDA))$	0,99
	Granada	$PF=43,818/(1+\text{Exp}(5,4638-0,2814*DDA))$	0,91
	Chía	$PF=42,409/(1+\text{Exp}(2,7202-0,1004*DDA))$	0,95
Peso Seco (g)	Tena	$PS=10,146/(1+\text{Exp}(1,9675-0,0414*DDA))$	0,99
	Granada	$PS=8,8712/(1+\text{Exp}(2,1421-0,0526*DDA))$	0,99
	Chía	$PS=8,6907/(1+\text{Exp}(2,3690-0,0415*DDA))$	0,91

Al final de la maduración, los frutos de mayor peso y tamaño fueron los cultivados bajo las condiciones de Tena y Granada, que no presentaron diferencias significativas entre sí (Tabla 2-3), en contraste con los frutos de Chía que fueron los de menor tamaño.

Tabla 2-3. Valores promedios de peso fresco, peso seco, diámetro longitudinal y transversal del fruto de gulupa cultivados en 3 localidades. Promedios de la misma variable seguidos de letras distintas son estadísticamente diferentes, según test de Tukey ($P < 0,05$).

Localidad	Peso Fresco (g)	Peso Seco (g)	Diámetro Longitudinal (mm)	Diámetro Transversal (mm)
Tena	52,826 a	9,795 a	55,001 a	51,339 a
Granada	46,061 a	9,202 a	54,080 a	49,103 a
Chía	42,059 b	7,671 b	51,532 b	47,224 b

Según la Propuesta a la Norma Técnica Colombiana para frutas frescas (Orjuela-Baquero *et al.*, 2011) que se basa en el peso fresco y el diámetro ecuatorial, los frutos cultivados en Granada y Tena serían clasificadas como de calibre 2, en tanto que los de Chía de calibre 3.

Las tres localidades mostraron el mismo comportamiento para las tasas de crecimiento absoluto (TCA) y relativo (TCR) (Figura 2-16). La TCA, fue mayor durante las primeras dos fases de crecimiento (5-10 DDA y 15-30DDA), y luego del día 25DDA los valores disminuyeron casi a cero en las tres localidades. Por su parte, la TCR mostró un descenso drástico desde el inicio del crecimiento y hasta el intervalo 25-30DDA, luego permaneció estable en valores cercanos a cero hasta el momento de la cosecha, coincidiendo con lo descrito en las curvas de crecimiento de diámetros longitudinal, transversal y peso fresco.

Figura 2-16. Tasa de crecimiento absoluto (TCA) y Tasa de crecimiento Relativo (TCR) en frutos de gulupa cultivados en Chía, Granada y Tena.

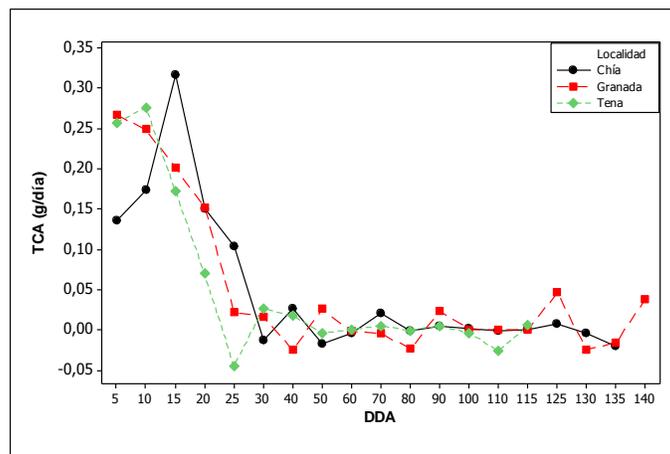
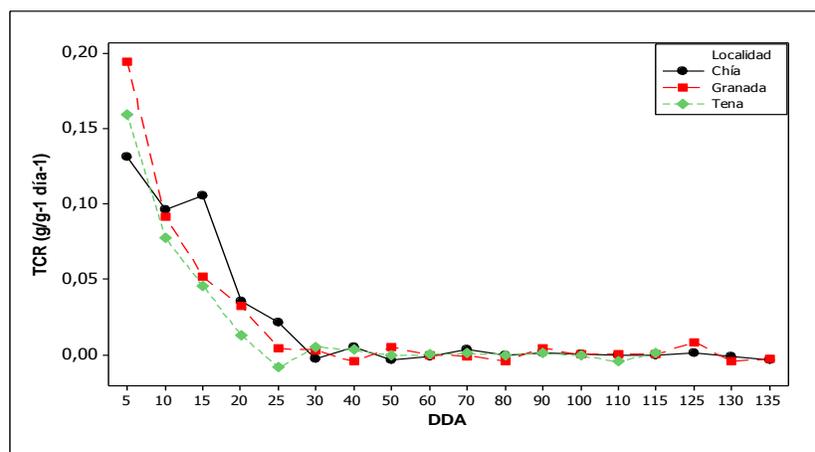


Figura 2-17. Continuación.



2.4.7 Efecto de las variables climáticas sobre el crecimiento del fruto

Se encontró que el diámetro transversal, el peso fresco y el peso seco de los frutos sembrados bajo las condiciones de Granada y Chía estuvieron influenciados positivamente por la humedad relativa. En Chía, las variables climáticas no influenciaron el peso seco ni el diámetro transversal, mientras que el diámetro longitudinal y el peso fresco fueron influenciados negativamente por la precipitación (Tabla 2-4).

En general, los modelos estadísticamente significativos encontrados para explicar el comportamiento de las variables de crecimiento del fruto y su relación con las condiciones climáticas tuvieron R^2 bajos (Tabla 2-4), indicando que las características de tamaño y peso del fruto de gulupa no dependen en gran medida de las variables climáticas, sino de factores endógenos de la planta.

Tabla 2-4. Modelos de regresión para las variables de crecimiento del fruto de gulupa cultivados en Tena, Granada y Chía. HR= Humedad Relativa.

Variable	Localidad	Ecuación	R^2
Diámetro Transversal (mm)	Granada y Tena	DT = -73,01 + 1,34 HR	8,64
Peso Fresco (g)	Granada y Tena	PF = -203,2 + 2,8 HR	4,29
Peso Seco (g)	Granada y Tena	PS = -42,09 + 0,56 HR	4,39
Diámetro Longitudinal (mm)	Chía	DL = 52,76 - 0,53 Precipitación	12,58
Peso Fresco (g)	Chía	PF = 43,85 - 0,78 Precipitación	5,72

2.5 Discusión

2.5.1 Fenología

La producción de las especies comestibles de pasifloráceas está limitada a ciertas épocas del año, con cambios en la fructificación, relacionados con variaciones en factores ambientales como la temperatura, la irradiancia y la precipitación, estando en muchos casos estos factores correlacionados entre sí (Menzel y Simpson, 1994).

Con los resultados obtenidos, se pudo establecer que el inicio y el pico de la floración ocurrieron en épocas de baja precipitación, en las tres localidades, siendo más clara esa tendencia en Granada y Tena. El aumento del número de flores en la época seca, ha sido observada en especies de sotobosque del trópico en Costa Rica, señalando que la precipitación puede ser uno de los factores más importantes en la floración (Frankie *et al.*, 1974; Vilchez *et al.*, 2007); así mismo, Augspurger, (1990) y Foster, (1990) indicaron que la duración de la estación seca es una de las principales variables que afectan el comportamiento reproductivo de las especies en el trópico, destacando la importancia del hidroperiodo en el control de dicho proceso, pues no sólo la estacionalidad sino también la intensidad de los periodos de lluvias es determinante en la fenología reproductiva. Sin embargo, Menzel *et al.*, (1989) concluyeron que la irradiancia es el factor más influyente en las fluctuaciones estacionales de la floración y cuajado del fruto en el híbrido de maracuyá – gulupa E-23. De cualquier modo, es importante señalar, que haría falta establecer de forma más precisa el factor de inducción floral en gulupa, con la realización de un experimento que contemple los factores irradiancia y precipitación, así como el efecto de algunas hormonas vegetales que afectan este proceso.

Cabe destacar que, el efecto de la estacionalidad de las lluvias se hizo evidente con el acortamiento en la duración del pico de floración en Granada. Durante el 2009 la floración se registró por más tiempo (noviembre y diciembre), en contraste con el 2011 que solo se observó por 1 mes (febrero), el drástico aumento de precipitación que tuvo lugar en marzo de 2011 debido al fenómeno de “la Niña”, incidió en el desplome de los valores de flores/planta, pasando en febrero de 46 y 1 en marzo.

Las diferencias en la duración de los estados de floración entre años, puede ser explicada por la sincronización entre los individuos de la parcela, la cual pudo ser mayor en las plantas del cultivo de ciclo II con respecto a las del ciclo I; una menor sincronización se observa cuando los individuos de una población no florecen completamente, al mismo tiempo y con la misma intensidad, presentando diferencias incluso a nivel de ramas (Vilchez *et al.*, 2007).

Las plantas crecidas bajo las condiciones ambientales de Chía florecieron en menor intensidad, en comparación con las otras dos localidades, debido probablemente, al cambio drástico de temperatura entre el día y la noche, así como HR mínima (46%) que pudo generar deshidratación y posteriormente marchitamiento de los órganos florales (Fischer *et al.*, 2009).

El modelo que explica la variabilidad en los estados 77 y 79 de Chía está basado en el efecto de la precipitación, lo cual es coherente, debido a que éstos estados de crecimiento (junto con el estado 71) son considerados como los de mayor demanda del recurso hídrico para garantizar el incremento en peso fresco, ya que el protoplasma está compuesto en un 80 a 90% por agua (Fischer 2000).

La falta de respuesta de los frutos en estado avanzado de madurez (BBCH 83-89) a las variables climáticas en Chía, Granada (ciclo II) y Tena (Ciclo I y II), podría relacionarse con que el inicio del proceso de maduración es determinado por factores internos que controlan el desarrollo del fruto (Larcher, 2003), aunque no hay que desconocer el efecto secundario que las variables ambientales pueden ejercer sobre el metabolismo durante la maduración (Rathcke y Lacey, 1985).

La disponibilidad de luz está más relacionada con la fructificación que con la floración. Se encontró que el modelo que mejor explica la variabilidad de los frutos en estado 79 incluyó a la PAR media (Granada ciclo II) y a la PAR máx (Tena Ciclo I). El efecto de la luz en pasifloras ha sido tratado en Fischer *et al.*, (2009), donde se expone que la duración, intensidad y calidad de la luz son factores climáticos importantes que determinan la calidad y tamaño del fruto, porque influyen en la fotosíntesis, además de ser indispensable en la síntesis de antocianinas, pigmento responsable de la coloración púrpura característica de los frutos de gulupa.

El aborto de las estructuras reproductivas puede ser explicado por el aborto natural, el exceso de humedad en el aire y la falta de polinización de algunas flores. Durante la temporada de lluvias, los granos de polen se rompen al entrar en contacto con el agua perdiendo su funcionalidad (Ishihata *et al.*, 1965; Rivera *et al.*, 2008), también se disminuye la actividad de los insectos polinizadores (Nakasone y Paull, 1998), lo que se traduce en una disminución de la producción, pues se ha señalado que el 67% de la producción de frutos y la calidad de éstos dependen de los polinizadores (Ángel-Coca *et al.*, 2011).

En términos generales, la T° media, y la HR media fueron las variables climáticas más influyentes en los estados fenológicos de las tres localidades. Desde la siembra hasta el inicio de la producción de estructuras reproductivas, el cultivo de Chía tardó 12 meses. La T° diurna y nocturna de ésta localidad (ver tabla 2-1) probablemente fueron responsables del retraso, pues Nakasone y Paull, (1998) concluyeron que a estas temperaturas se reduce el crecimiento vegetativo y por ende la producción, a diferencia del retraso presentado en las plantas de Tena ciclo II que estaría más relacionado con el exceso de precipitación durante el año 2011 (fenómeno de “la Niña”).

Aunque no se encontraron modelos estadísticamente significativos que probaran la relación entre alguna variable climática y el número de frutos cuajados, se observó gran cantidad de abortos, los cuales podrían relacionarse con las temperaturas mínimas, de Granada y Chía (7 y 9°C, respectivamente) que estuvieron por debajo del rango adecuado (14 y 22°C) para el cuajamiento del fruto (Manica *et al* 1985), aunque no se puede desconocer el efecto del aumento de la humedad sobre éstos abortos. En contraste, las temperaturas mínimas de Tena si se encuentran en el rango adecuado, pero igualmente se presentaron abortos, debido al exceso de humedad.

Tena fue la localidad donde se registraron los valores más altos de flores/planta, así como las temperaturas diurnas y nocturnas más altas (18 y 15°C) y un menor delta de temperatura (0,7), concordando con Meinke y Karnatz, (1990), quienes encontraron mayor número de hojas, flores y frutos en el tratamiento de mayor temperatura (25° día/noche). En esta misma localidad la floración ocurrió 4 semanas después de la formación de yemas, coincidiendo con lo reportado por Simon y Karnatz (1983).

Menzel y Simpson 1994 sugirieron que las temperaturas diurnas entre 20 y 25°C y nocturnas cercanas a 15 °C, son las más recomendadas para el cultivo de gulupa. Ninguna de las tres localidades consideradas en el presente estudio se ajustó a dicho rango, y sin embargo los cultivos mostraron buenos resultados.

La HR promedio en las tres localidades (ver tabla 2-1) estuvo por encima de los valores considerados como adecuados para frutales (65-75%); sin embargo, los modelos obtenidos sugieren que este factor ambiental es influyente sobre los frutos que han iniciado el proceso de maduración (BBCH 83-89), debido probablemente a que ésta especie es originaria de regiones con altos valores de HR (Winks *et al.*, 1988).

Finalmente, la realización del estudio contempló dos ciclos reproductivos para Granada y Tena, y uno para Chía, consiguiéndose observaciones durante 24 y 12 meses, respectivamente, con las cuales se realizaron los análisis de regresión y se obtuvieron las respectivas ecuaciones que ayudarían en la predicción del efecto de las variables climáticas sobre los estados fenológicos, pero es necesario e ideal soportar éstos resultados con un estudio que comprenda un seguimiento más prolongado, para obtener mayor información que permita incrementar la robustez de los resultados aquí expresados.

2.5.2 Curvas de crecimiento

La alta tasa de crecimiento de las pasifloras ha sido previamente registrada en maracuyá (Akamine y Girolami, 1959; Arjona y Matta, 1991) y en gulupa (Ishihata, 1965; Gachanja y Gurham, 1981; Lederman y Gazit, 1993). El cese del crecimiento (diámetro longitudinal y transversal) a los 30 DDA también fue registrado por Lederman y Gazit (1993).

El ciclo de crecimiento en Tena fue más corto con respecto a las otras dos localidades, debido probablemente a su menor altitud (2078msnm), pues según lo reportado para guayaba por Aguilar *et al.*, (2003) y para tomate por Grange (1993) en sitios de menor altitud la duración del ciclo puede disminuir.

Aular y Rodríguez (2003) y Bautista y Salas, (1995), reportaron que para maracuyá la madurez organoléptica se alcanzó entre 60-70 DDA. Lederman y Gazit, (1993) encontraron que la madurez organoléptica en gulupa, ocurre luego de 85 DDA. En contraste, los frutos de las tres localidades monitoreados en el presente estudio a los 90 DDA solo habían alcanzado la madurez fisiológica, que posteriormente daría paso a la maduración, la cual se alcanzó entre los 126 y 145 DDA en los frutos de Chía, 116 y 130 DDA para los frutos de Tena y entre los 116 y 140 para los de Granada.

El peso fresco final de los frutos de las tres localidades fue mayor al registrado para gulupa por Utsonomiya (1992) y Saenz *et al.*,(1998), y similar al hallado a partir de 75 días por Lederman y Gazit (1993), luego entonces las frutas cosechas bajo los ambientes de Granada, Tena y Chía, tardan más tiempo en crecer, pero su tamaño es superior a los cultivados bajo otras condiciones.

Es evidente que existe una diferencia entre el cese de acumulación de peso fresco y de materia seca. La curva de peso fresco evidencia el crecimiento de estructuras de naturaleza acuosa como el arilo, los sacos de jugo y la pulpa jugosa. Ishihata (1965) señala que el arilo durante la antesis es una delgada membrana que rodea a las semillas, pero alrededor de los 10DDA su crecimiento se incrementa hasta formar una bolsa, la cual es llamada saco de jugo, adicionalmente, a los 25DDA aparece la pulpa jugosa y a los 75DDA los sacos de jugo se encuentran completamente desarrollados. Por su parte, la curva de peso seco (al igual que la de peso fresco) evidencia un marcado aumento en las divisiones celulares que ocurren al inicio del crecimiento y una posterior elongación celular, también se relaciona con la maduración de la semilla y el engrosamiento del pericarpo, procesos que ocurren de forma más lenta que los observados en la curva de peso fresco. Finalmente, la estabilización de la curva de peso seco ocurre cerca de los 90 DDA, momento en el que el fruto alcanza la madurez fisiológica.

Hunt (2003) define que la tasa de crecimiento absoluto (TCA), es un incremento en el tamaño por unidad de tiempo; mientras que la tasa de crecimiento relativo (TCR), expresa el crecimiento en términos de un aumento en tamaño por unidad de tamaño y tiempo, tomando como referencia el valor inicial de la masa seca producida y acumulada.

Adicionalmente, la tasa de crecimiento absoluto ofrece una visión del poder vertedero de los frutos (Hunt, 2003; Casierra-Posada *et al.*, 2007), por tanto es importante resaltar que las labores agrícolas orientadas a incrementar la materia seca de los frutos, deben realizarse teniendo en cuenta los máximos valores registrados para esta tasa, que para la gulupa correspondería a las dos primeras fases de crecimiento bajo las condiciones de los sitios de estudio analizados. Sin

embargo, se debe tener en cuenta que en una misma planta se presentan simultáneamente frutos en varios estados de desarrollo, por lo que las labores de fertilización, riego e incluso mayor incremento de luz, deben realizarse de manera constante una vez se inicie el crecimiento y desarrollo del fruto.

Una dinámica similar a la de gulupa, fue encontrada en la TCR de frutos de kiwi, donde los valores más altos se registraron únicamente en la primera fase de crecimiento, y posteriormente el fruto no mostró incrementos considerables en su peso (Lescourret *et al.*, 1998).

A pesar de que los frutos cultivados en Tena fueron los más pesados, los frutos de Granada presentaron los valores más altos de TCR. Lo anterior podría relacionarse con la mayor eficiencia en el uso del agua (WUE) que mostraron las plantas cultivadas en Granada con respecto a las de Tena y Chía (Pérez *et al.*, 2012).

Al final de la maduración, TCA y TCR mostraron una ligera disminución sólo en los frutos cultivados en Chía, que podría relacionarse con el inicio de procesos metabólicos propios del fruto como la respiración y la transpiración (Pinzón *et al.*, 2007), la cual pudo verse incrementada por la menor humedad de ésta localidad.

El efecto positivo de la humedad relativa para los frutos (especialmente de Tena y Granada), se relaciona con una pérdida menor de agua, indicando que condiciones de humedad entre 90,4% y 85,6% son favorables para el crecimiento del fruto. Por su parte, Menzel *et al.* (1986), también concluyeron que la HR es uno de los factores ambientales más influyentes en las fluctuaciones estacionales del rendimiento de la gulupa.

Fischer, (2000) plantea que el agua es un factor fundamental para esta especie, en especial durante el llenado del fruto, ya que sin el suministro hídrico adecuado los frutos tienden a abortar o se quedan pequeños. Los resultados del presente estudio señalan que la lluvia incidió negativamente sobre el crecimiento, debido probablemente al fuerte incremento que se dio en los tres lugares por el efecto del fenómeno de “La Niña” superando los valores históricos.

3. Evaluación fisicoquímica, fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) bajo tres ambientes

3.1 Resumen

Con el objetivo de evaluar el comportamiento en precosecha y poscosecha, y determinar el punto óptimo de cosecha de frutos de gulupa cultivados en Tena, Granada y Chía, se evaluaron las variables de respiración, producción de etileno, color (L^*C^*h), calidad (pH, Sólidos Solubles Totales, % Acidez Total Titulable, índice de madurez) y bioquímicas (proteínas, azúcares y ácidos orgánicos no volátiles) en 5 estados de madurez (0%, 30%, 50%, 70% y 100% de coloración púrpura). Se encontró que en frutos que maduraron unidos a la planta (precosecha) la actividad respiratoria fue menor a la de los frutos que maduraron desprendidos de la planta (poscosecha); además, el pico respiratorio precedió al de etileno en las tres localidades. No se encontraron diferencias entre estados, durante el pico climatérico y de producción de etileno. La vida útil de los frutos en poscosecha fue mayor en Tena y Granada (24 y 33 DDC) con respecto a Chía (19DDC). El componente de color que más varió fue el ángulo hue. Las variables de calidad mostraron tendencias diferentes en precosecha y poscosecha, y entre las localidades. Los azúcares glucosa y fructosa aumentaron, conservando la misma tendencia en las tres localidades; la sacarosa siendo el azúcar predominante, se mantuvo constante. Los ácidos orgánicos se mantuvieron estables durante la maduración, y el ácido cítrico fue el predominante. Las proteínas disminuyeron con la maduración, en las tres localidades. Finalmente, se estableció como punto óptimo de cosecha el estado de 70% de frutos crecidos bajo condiciones de Tena, Granada y Chía, en los cuales se observan la mejor expresión de los metabolitos evaluados y de las características fisicoquímicas y fisiológicas analizadas.

3.2 Introducción

La madurez es un proceso irreversible que ocurre en los frutos y en algunos vegetales o verduras (Hernández *et al.*, 2010). Desde un punto de vista científico, la maduración del fruto es interpretada como un proceso caracterizado por cambios bioquímicos, fisiológicos y estructurales, que se reflejan en las propiedades organolépticas del fruto como el sabor, el aroma, la textura y la apariencia (Azcón-Bieto y Talón, 2001; Giovannoni, 2001; Lelievre *et al.*, 1997; White, 2002; Giovannoni, 2004). Dichos cambios, varían entre especies, pero en general, incluyen modificaciones en la ultraestructura de la pared celular, turgencia, jugosidad, conversión de almidones en azúcares, alteración en la biosíntesis y degradación de pigmentos y de compuestos relacionados con el sabor y el aroma, así como, incremento en la susceptibilidad a patógenos durante la poscosecha (Giovannoni, 2001). Desde la perspectiva del consumidor y del distribuidor, el proceso de maduración corresponde a aquellas modificaciones que hacen que el fruto pueda ser consumido (Bouzayen *et al.*, 2010).

De acuerdo a su comportamiento fisiológico, los frutos son clasificados como climatéricos y no climatéricos. Los frutos climatéricos requieren de la hormona etileno para la activación de procesos como la hidrólisis del almidón (almacenado durante el crecimiento) a los monosacáridos glucosa y fructosa. En la hidrólisis se requiere gran cantidad de energía, con lo cual se da un aumento característico de la respiración, denominado pico climatérico. Por su parte, los frutos no climatéricos no presentan un pico respiratorio asociado con la maduración debido a que acumulan monosacáridos durante su crecimiento (Cara y Giovannoni, 2008; Giovannoni, 2007; Matas *et al.*, 2009; Coleto, 1994; Azcón-Bieto y Talón, 2001). Sin embargo, la relación existente entre el pico climatérico y la maduración ha sido cuestionada, luego de descubrir que la maduración en plantas de la vid (*vine*) puede ocurrir en ausencia de un incremento respiratorio (Salveit, 1993); no obstante, Bower *et al.* (2002), reportaron que la presencia o ausencia de un climaterio respiratorio en éstas plantas, depende de las condiciones ambientales prevalentes. Estas observaciones indican que el pico climatérico, probablemente, no sea el disparador (*trigger*) absoluto de la maduración, sino un efecto secundario de dicho proceso (Bouzayen *et al.*, 2010).

Se han descrito dos sistemas de biosíntesis de etileno: el sistema 1, corresponde a una baja producción de etileno, ocurre en el periodo pre-climatérico de frutos climatéricos y está presente durante el desarrollo de los frutos no climatéricos. El sistema 2, hace referencia a una producción autoestimulada de etileno denominada "Síntesis autocatalítica" y es específica de los frutos climatéricos. La mayor diferencia entre los frutos climatéricos y los no climatéricos, es la presencia o ausencia de la producción autocatalítica de etileno (McMurchie *et al.* 1972; Alexander y Grierson 2002).

En gulupa, se han desarrollado algunos trabajos referentes al proceso de maduración en precosecha (frutos unidos a la planta) y en poscosecha. Shiomi *et*

al (1996a) reportaron que durante la maduración, los frutos unidos a la planta no mostraron un pico climatérico respiratorio, pero si un incremento en la producción de etileno. En contraste, Akamine *et al.*,(1957), Sjaifullah y Lizada (1985), Biale y Young (1981), Shiomi *et al* (1996a) encontraron que durante la maduración poscosecha, los frutos exhibieron un incremento respiratorio acompañado de una producción considerable de etileno, por lo que la catalogaron como un fruto climatérico; adicionalmente, Arjona y Matta (1991) sugirieron, que un tratamiento con etileno exógeno estimula la maduración de los frutos cosechados en un estado verde-purpura logrando casi las mismas cualidades de los frutos que maduraron unidos a la planta.

Con respecto a la ruta de biosíntesis del etileno, Shiomi *et al* (1996b) concluyeron que la ruta de biosíntesis de gulupa es la misma que se ha observado en otras especies de plantas superiores (SAM → ACC → Etileno), siendo la enzima encargada de la conversión de SAM a ACC, la ACC sintasa, el paso limitante.

La madurez es regulada por estímulos internos y externos que incluyen la temperatura, la luz, las hormonas, el estatus hídrico y nutricional de la planta (Matas *et al.*,2009). Utsonomiya (1992) determinó que en plantas de gulupa sembradas a 30°C día/25°C noche, el crecimiento vegetativo y la apertura de flores es acelerado, pero se acorta el periodo de floración, con respecto a las sembradas a 20°C día/15°C noche; no obstante, la maduración del fruto es menos eficiente al igual que el número de óvulos obtenidos, afectando al tamaño del fruto que fue mayor a la temperatura más baja, debido a un incremento en el peso de la cáscara. Los Sólidos Solubles Totales (SST) y los ácidos del jugo se incrementaron en el ambiente más fresco (20°C día/15°C noche), al igual que el contenido de sacarosa; en contraste, en el tratamiento de mayor temperatura, se encontró un mayor contenido de glucosa y fructosa.

Saenz *et al.*,(1998) reportaron que existen diferencias entre las épocas de cosecha de frutos de gulupa cultivados en Chile. Los frutos cosechados en invierno fueron de mayor tamaño y peso (5,35 cm, 67,8 g) que los cosechados en verano (4,8 cm, 41,3 g), pero en éstos últimos se encontró un mayor contenido de pectinas, almidón, SST, azúcares totales, azúcares reductores, vitamina C, y menor acidez, así como mejor calidad e intensidad sensorial.

Menéndez-Aguirre *et al.* (2006), registraron para maracuyá que la maduración del fruto continuó luego de la separación de la planta en la semana 8 después de la antesis. En el proceso de maduración, la actividad de la α -amilasa y la poligalacturonasa se elevó en la semana 9 después de la antesis y esta última se incrementó también al final del desarrollo del fruto. La actividad de la pectinmetilesterasa también presentó dos valores máximos en las semanas 8 y 11. El incremento en la actividad de las enzimas concordó con el cambio de color y aumento en la producción de CO₂, que a su vez generó aumento en el contenido de azúcares y ácidos orgánicos. En dicho trabajo se determinó el aumento de producción de CO₂ en determinados días dependiendo del tiempo de cosecha después de la antesis; los frutos colectados después de la octava

semana produjeron mayor cantidad de CO₂ y alcanzaron su madurez fisiológica más rápidamente.

Con respecto, a la composición bromatológica, Jiménez-Neira (2006) reporta que la pulpa del fruto de gulupa está compuesta por agua 88,9 g/100g, 1,5 g/100g de proteínas, 0,5 g/100g de grasas, 11 g/100g de carbohidratos, 0,4 g/100g de fibra, 0,7 g/100g de cenizas, 9,0 mg/100g de calcio, 21,0 mg/100g de fósforo, 1,7 mg/100g de hierro, 0,17 mg/100g de riboflavina, 0,1 mg/100g de tiamina, 0,8 mg/100g de niacina, 20,0 mg/100g de ácido ascórbico, 1730 U.I. de vitamina A en 100 mg y 49 calorías. Los principales azúcares presentes en la pulpa de gulupa son fructosa (33,5%), glucosa (37,1%) y sacarosa (29,4%) (Chan y Kwok, 1975). Su pH está alrededor de 3 y tiene un alto contenido de ácidos orgánicos, entre los cuales predominan: ácido cítrico (13,1%), ácido málico (3,86%), ácido láctico (7,49%), ácido malónico (4,95%), ácido succínico (2,42%) y ácido ascórbico (0,05%) (Lancashire, 2006).

Durante la maduración, decrece el contenido de proteínas en el jugo del 1,03% en el estado verde maduro a 0,71% en el estado parcialmente púrpura y 0,70% en el estado púrpura; también a medida que avanza el proceso de maduración se incrementa la globulina, prolamina y glutamato (Pruthi, 1963). A su vez, disminuye la actividad de polifenoloxidasas, peroxidasas, catalasas y pectinmetilesterasas (Pruthi, 1963). El contenido de sacarosa disminuye y el de fructosa y glucosa aumenta. La conversión de la molécula de sacarosa en fructosa y glucosa la realiza la enzima invertasa. El ácido cítrico y el ácido málico aumentan al inicio del almacenamiento disminuyendo posteriormente (Shiomi *et al* 1996 b).

A medida que el fruto madura, su exocarpo cambia de coloración pasando de verde a púrpura, debido a la degradación de clorofilas y a la síntesis de antocianinas. Jiménez *et al.*,(2011), encontraron que el contenido de antocianinas pasó de 0 en el estado verde, a 0,45 g/kg fruta en el estado verde-púrpura (*tunning*) y se duplicó en el estado completamente maduro alcanzando un valor de 1,73 g/kg fruta.

La gulupa es el tercer fruto de mayor exportación en el país; sin embargo, aunque se referencian algunos estudios en precosecha y poscosecha sobre características fisicoquímicas del fruto (Díaz *et al.*,2011; Orjuela-Baquero *et al.*,2011a,b; Jiménez *et al.*,2011, Flórez *et al.*,2012b), estados de madurez (Pinzón *et al.*,2007) y prácticas agrícolas (Guerrero-López y Hoyos-Carvajal, 2011), aun se requiere determinar el punto óptimo de poscosecha analizando variables fisiológicas, fisicoquímicas y bioquímicas.

En ese contexto, el objetivo del presente estudio, fue evaluar las características fisicoquímicas, fisiológicas y bioquímicas de frutos de gulupa cultivados bajo tres ambientes, que maduraron unidos y desprendidos de la planta, con el propósito de establecer el punto óptimo de cosecha.

La determinación del momento óptimo de cosecha influirá en la planificación de los tiempos de transporte y entrega del producto, contribuyendo con el mejoramiento en el manejo de las frutas, disminuyendo pérdidas económicas por senescencia o pérdida de calidad.

3.3 Materiales y métodos

3.3.1 Material vegetal

Para establecer el punto óptimo de cosecha con base en la evaluación de las variables fisicoquímicas, fisiológicas y bioquímicas, se colectaron frutos en 5 estados de madurez en las localidades de Tena, Granada y Chía, (Cundinamarca). Las plantas en cada parcela se encontraban sembradas a una distancia de 6 m entre plantas y 3 m entre surcos, en un sistema de tutorado de espaldera simple. El manejo agronómico de las plantas se encuentra consignado en el apartado 2.3.1 del presente documento.

Los estados de madurez y las edades de los frutos utilizados en los ensayos se resumen en la Tabla 3-1. Del mismo modo, las condiciones climáticas de las tres localidades se encuentran en la Tabla 3-2.

Tabla 3-1. Estados de madurez y días después de antesis (DDA) en gulupa. Frutos al 0% ya se encuentran en madurez fisiológica. * Los DDA pueden presentar variaciones debidas a factores como localidad, fenómenos climáticos, estrés, incidencia y severidad de enfermedades,.

Estado de madurez	Días después de floración (DDA) Chía*	Días después de floración (DDA) Granada y Tena*	Color
0%	105-110	90-100	100% Verde
30%	111-115	101– 105	70% Verde, 30% púrpura
50%	116-120	106-110	50% Verde, 50% púrpura
70%	121-125	111-115	30% Verde, 70% púrpura
100%	126-145	116-130 Tena 116-140 Granada	100% Púrpura

Tabla 3-2. Condiciones climáticas de las localidades durante el crecimiento del fruto. Humedad Relativa, Temperatura y PAR describen promedios. La precipitación corresponde a la sumatoria de mm de lluvia.

Localidad	Humedad Relativa (%)	Temperatura (°C)	PAR (μmoles fotones m ⁻² s ⁻¹)	Precipitación (mm)
Chía	84,6	14	326,50	1209,6
Granada	90,4	15	503,63	2097,3
Tena	85,6	16	397,80	1181

3.3.2 Seguimiento frutos que maduraron unidos a la planta (precosecha)

Se cosecharon frutos en 4 estados de madurez, en Tena, Granada y Chía. Luego de ser clasificados de acuerdo a cada estado, se determinó la tasa de respiración y la emisión de etileno en 3 replicas por cada estado de madurez por el método de atmósfera confinada (Kader, 1994), donde se encerraba un fruto por cámara durante 30 min a 20° C; las muestras se analizaron por cromatografía de gases usando un cromatógrafo Agilent HP 4890D con software de adquisición de datos *Clarity Lite*, dotado de un detector de ionización de llama (FID) y un detector de conductividad térmica (TCD); a su vez, las mediciones de calidad de la pulpa se realizaron en 3 replicas de cada estado, conformadas por 8 frutos cada una; en el zumo de la fruta se determinaron el contenido de Sólidos Solubles Totales (SST) expresados como °Brix por medio del refractómetro de precisión marca *Extech Instruments* con escala de 0-32°Bx; pH por potenciometría; Acidez Total Titulable (%ATT), por medio de la titulación de la muestra con NaOH 0,1N en presencia de fenoftaleína hasta el punto de viraje a partir de la ecuación:

$$(A*B*C)*100/D$$

(Hernández *et al.*,2010)

Donde A= volumen gastado de NaOH; B= Normalidad del NaOH; C= peso del equivalente expresado en gramos del ácido predominante del fruto (ácido cítrico); D=peso en gramos de la muestra titulada.

Adicionalmente se determinó el índice de madurez como la relación entre SST y %ATT.

Para la realización de las diferentes pruebas bioquímicas en el fruto de gulupa se consideraron 8 frutos como una unidad experimental, y se realizaron 3 réplicas por cada estado de madurez.

La extracción de ácidos orgánicos se realizó con base en lo descrito por Barrera *et al.*,(2008). Se pesaron 1,6 g de zumo en un tubo falcon cubierto con papel

aluminio (para minimizar la degradación de ácidos fotosensibles), a los cuales se le agregaron 12 mL de Ácido Fosfórico 5 mM. Se homogenizó por agitación mecánica en vórtex durante 2 min asegurándose del completo contacto de la pulpa con el medio de extracción; luego se llevó al agitador horizontal por un período de 15 min (sobre cama de hielo). Posteriormente, se centrifugó a 6000 rpm a 12°C durante 30 min, finalmente 1mL del sobrenadante fue filtrado a través de filtros de 0,45 μm , y depositados en viales debidamente rotulados. Las muestras fueron determinadas en el equipo HPLC *Waters* con auto-inyector, bomba binaria, detector PDA y columna HPLC ROA *acid organic* H+ Dimensiones 300 x 7,8 mm (las condiciones de la corrida se detallan en el Anexo C).

Para la determinación de azúcares en los frutos de gulupa, se procedió según lo descrito por Chinnici *et al.*,(2005). Se pesaron 2,0 g de zumo, a los cuales se les agregaron 12 mL de agua bidestilada. Se homogenizó por agitación mecánica en vortex durante 2 min asegurándose del completo contacto de la pulpa con el medio de extracción; luego, las muestras fueron llevadas sobre cama de hielo al agitador horizontal por un período de 15 min. Posteriormente, se centrifugaron a 6000 rpm a 12°C durante 30 min, finalmente 1mL del sobrenadante fue filtrado a través de filtros de 0,45 μm y depositados en viales debidamente rotulados. Las muestras fueron determinadas en el equipo HPLC *Waters* con auto-inyector, bomba binaria, detector PDA y columna CM-*Monosaccharide* Ca+2 (8%) de 30 cm de longitud.

Para la determinación de proteínas solubles se empleó el método propuesto por Bradford (1976) teniendo en cuenta la linearización descrita en el trabajo de Zor y Selinger (1996). Se pesaron 0,10 g de pulpa macerada, previamente liofilizada (durante 48 h), en tubos falcon de 15 mL (por triplicado) de cada uno de los estados de madurez, a los cuales se les agregaron 4,4 mL de solución buffer de fosfatos de sodio 110 mM a pH 6,8. Posteriormente, se homogenizó durante 1 h en agitador horizontal sobre cama de hielo, para luego centrifugar a 6000 rpm a 4°C durante 60 min. En una microplaca se vertieron 25 μL del sobrenadante obtenido de cada uno de los tubos y 200 μL de colorante de Bradford, se colocó la placa en el balancín durante 10min, para finalmente realizar la lectura de las absorbancias a 595nm en el equipo lector de microplacas de *Biorad*. Con los datos de absorbancias se realizaron los cálculos necesarios para expresar los g de proteína extraídos de cada muestra de acuerdo a su peso inicial.

En la realización de los cálculos para determinar el contenido de cada metabolito se tuvieron en cuenta curvas de calibración ejecutadas de forma previa a la determinación de la muestras.

3.3.3 Seguimiento frutos que maduraron separados de la planta (poscosecha)

Se realizaron dos ensayos diferentes: en el primero (**ensayo 1**) se colectaron frutos en madurez fisiológica y se les realizó seguimiento poscosecha; mientras

que en el segundo (**ensayo 2**) se cosecharon frutos a partir de 30%, 50%, 70% y 100% de coloración púrpura para evaluar el proceso de maduración. El primer ensayo fue realizado en Granada y Tena (durante el año 2010) mientras el segundo en Chía y Granada (durante el año 2011). No fue posible realizar el segundo ensayo con los frutos de Tena durante el 2011, debido a los problemas fitosanitarios que presentó el cultivo.

Los frutos, luego de ser colectados en campo y clasificados según su estado de madurez, fueron almacenados en bolsas de polipropileno microperforado y mantenidos bajo condiciones controladas de temperatura y humedad ($20^{\circ}\text{C} \pm 2$ y 70-80%HR) durante la realización del ensayo.

En cada uno de los experimentos, se determinó diariamente (para 3 réplicas) desde el día 1 después de la cosecha (DDC), la tasa de respiración y de emisión de etileno, por el método descrito en el apartado 3.3.2; también, se realizaron mediciones de color del exocarpo en dos puntos opuestos de la región ecuatorial de cada fruto por espectrocolorimetría, en las coordenadas colorimétricas $L^*C^*h^*$ (D65; 2°), donde L^* representa la luminosidad, C^* (Croma) es la saturación del color y h (hue) es el tono y se expresa en grados, mediante un Espectrocolorímetro MiniScan XE Plus (Hernández *et al.*, 2007). Además, se evaluó la pérdida de peso fresco midiendo el peso inicial (día de inicio del ensayo) y el peso final (registrado en el día de medición). La pérdida de masa se calculó como porcentaje de pérdida de peso (%PP) según lo descrito por (Orjuela-Baquero *et al.*, 2011b).

A su vez, cada tercer día a lo largo del período poscosecha, en el zumo de la fruta se determinaron el contenido de SST, pH y %ATT, además, se calculó el índice de madurez, con el fin de evaluar los cambios en la calidad del fruto a través del tiempo. También se midió la firmeza de los frutos por penetrometría usando un penetrómetro de 0 a 13 kg aplicando la fuerza en la parte central del fruto.

3.3.4. Análisis estadístico

Para evaluar la existencia de diferencias en los contenidos de azúcares, ácidos y proteínas en los frutos, se corrieron análisis de varianza (ANOVA) de dos vías con los estados de madurez y las localidades como factores, en el software Minitab® 16.1.1. Se comprobó previamente la normalidad de los datos con el test de Ryan-Joiner (similar al test de Shapiro-Wilk) y la homogeneidad de varianzas (homocedasticidad) con el test de Levene. Posteriormente, para establecer diferencias entre los estados y entre las localidades se corrió el test de Tukey.

3.4 Resultados

3.4.1 Seguimiento frutos que maduraron unidos a la planta (pre cosecha)

A medida que los frutos maduraron en la planta, se presentaron cambios en los diferentes estados. La respiración se incrementó en todas las localidades, especialmente en Granada, donde los frutos más maduros presentaron valores cercanos a 3400 mg CO₂/kg/h (Figura 3-1 A). El etileno fue detectado únicamente en los frutos del estado 100% de Tena con un valor de 142,22uL/kg/h. Los SST aumentaron con el estado de madurez (Figura 3-1 B); Tena y Chía mostraron tendencias similares con aumentos drásticos en el paso de 50% a 70% que representaron diferencias significativas únicamente en los frutos de Tena (Tabla 3-3); en contraste, los frutos de Granada mostraron una tendencia estable. Se encontraron diferencias significativas entre las localidades, indicando que las condiciones ambientales de cada una, pueden influir en el contenido de SST presente en la pulpa de ésta fruta.

La Acidez Total titulable (ATT) (Figura 3-1 C) determinada en los diferentes estados de madurez, permaneció constante a lo largo del proceso de maduración en Tena y Chía, con diferencias significativas entre los estados; en Granada los ácidos disminuyeron significativamente al final de la maduración (Tabla 3-3).

La relación de SST/ATT (Figura 3-1 D) se incrementó con la maduración, especialmente entre los estados de 50% y 70% en las localidades de Chía y Tena, mientras que en Granada los cambios más marcados ocurrieron entre los estados de 70% y 100%, el cual estuvo dado por la disminución de la acidez y no por un incremento en los SST.

El pH (Figura 3-1 E) fue la variable que mostró menos diferencias entre los estados, debido a que sus valores permanecieron estables durante el proceso de maduración; sólo se encontraron diferencias significativas en Chía entre los frutos de 70% y 100% (Tabla 3-3) relacionadas con un aumento en los ácidos de la pulpa.

En terminos generales, las variables de calidad medidas en frutos que maduraron unidos a la planta, mostraron ser diferentes entre las localidades según los análisis estadísticos realizados (ANOVA de dos vías), sugiriendo que las condiciones de cada una influyen en el contenido de azúcares y ácidos en la pulpa de gulupa.

Caracterización fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) bajo tres ambientes contrastantes

Figura 3-1. Comportamiento de las variables de calidad en frutos de gulupa que maduraron unidos a la planta (precosecha). A) Actividad respiratoria B) Sólidos Solubles Totales (SST) C) Acidez Total Titulable (ATT) D) Índice de madurez (SST/ATT) E) pH. (n=3)

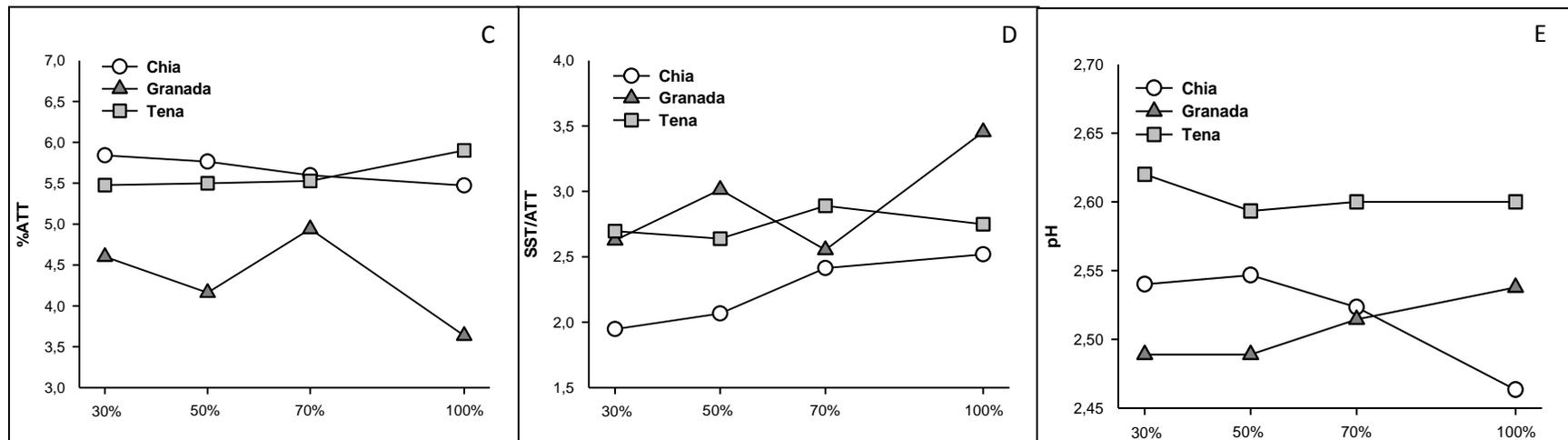
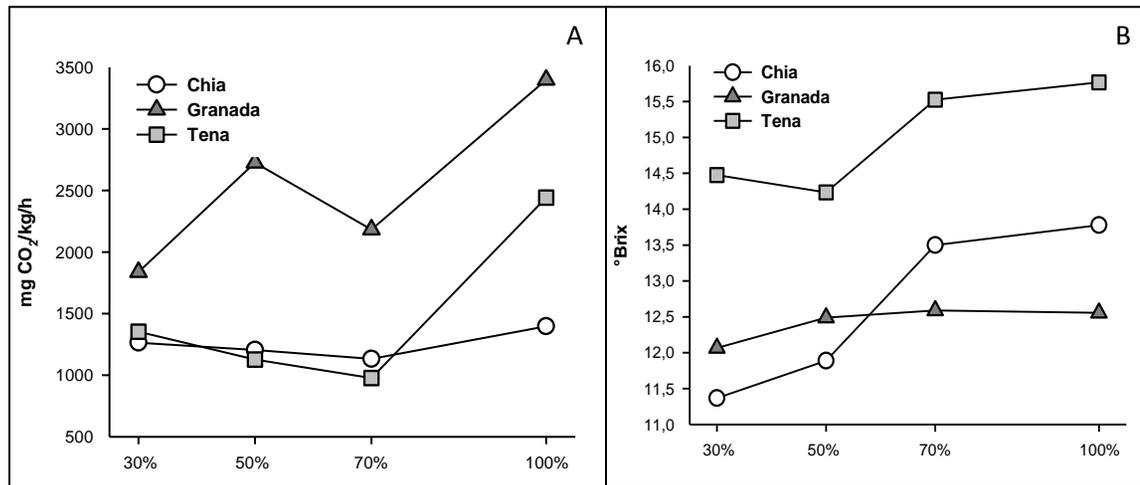


Tabla 3-3. Valores promedio de las características químicas del fruto de gulupa en diferentes estados de madurez de 30% a 100%. SST: Sólidos Solubles Totales; ATT: Acidez total titulable; IM: Índice de madurez. Los valores en paréntesis indican la desviación estándar. Promedios de la misma variable del fruto en la misma columna seguidos de letras distintas son estadísticamente diferentes, según test de Tukey ($P < 0,05$).

Estado de Madurez	SST			ATT			pH			IM		
	Chía	Granada	Tena	Chía	Granada	Tena	Chía	Granada	Tena	Chía	Granada	Tena
30%	11,37 (0,72) a	12,07 (0,47) a	14,13 (0,49) b	5,84 (0,16) a	4,60 (0,11) a	5,48 (0,17) a	2,54 (0,05) a	2,49 (0,01) a	2,62 (0,03) a	1,95 (0,13) b	2,63 (0,16) b	2,70 (0,06) a
50%	11,89 (1,83) a	12,49 (0,21) a	14,23 (0,21) b	5,76 (0,12) ab	4,16 (0,21) b	5,50 (0,86) a	2,55 (0,05) a	2,49 (0,04) a	2,59 (0,1) a	2,07 (0,35) ab	3,01 (0,16) ab	2,64 (0,40) a
70%	13,5 (0,33) a	12,59 (0,15) a	15,6 (0,1) a	5,60 (0,14) ab	4,94 (0,13) a	5,53 (0,40) a	2,52 (0,03) a	2,51 (0,01) a	2,60 (0,1) a	2,41 (0,09) ab	2,55 (0,05) b	2,89 (0,20) a
100%	13,78 (0,15) a	12,56 (1,15) a	15,8 (0,1) a	5,47 (0,06) b	3,64 (0,13) c	5,90 (0,76) a	2,46 (0,01) b	2,54 (0,02) a	2,60 (0,1) a	2,52 (0,03) a	3,45 (0,26) a	2,75 (0,20) a

Caracterización fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) bajo tres ambientes contrastantes

Con el propósito de conocer el comportamiento de algunos metabolitos importantes de la calidad del fruto de gulupa, se determinaron los contenidos de azúcares, ácidos orgánicos y proteínas en los diferentes estados de madurez.

El contenido de los tres azúcares analizados presentó tendencias similares entre las localidades (Figura 3-2 y Tabla 3-4). El azúcar predominante en la pulpa de la gulupa es la sacarosa, con contenidos de hasta 6,5 g/100g pulpa (Tena, frutos 50% de madurez). Se encontraron diferencias significativas en el contenido de glucosa y fructosa entre las localidades ($P < 0,05$) y entre los estados ($P < 0,05$). Estos azúcares aumentaron a medida que avanzó el proceso de maduración, a diferencia de la sacarosa, cuyo contenido no varió significativamente entre los estados de madurez, pero sí entre las localidades.

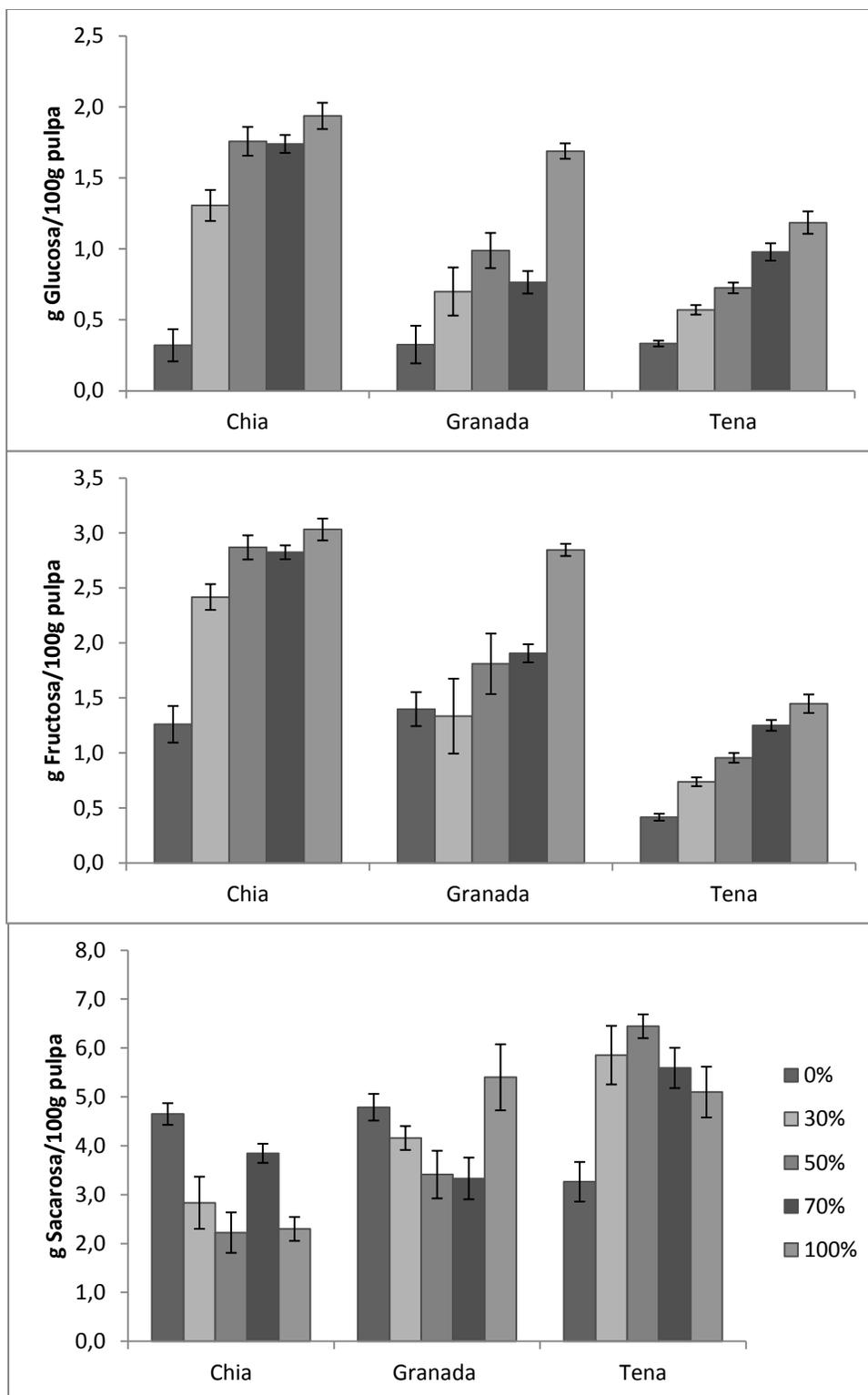
El mayor contenido de sacarosa fue observado en los frutos de Tena, donde a su vez la fructosa y la glucosa presentaron los valores más bajos, indicando que la conversión de sacarosa en glucosa y fructosa se da en menor proporción. En contraste, los frutos de Chía presentan los valores más bajos de sacarosa y los más altos de los otros dos azúcares, reflejando que en esta localidad la conversión ocurre en mayor proporción. Las diferencias en los contenidos de los azúcares entre localidades pueden estar relacionadas con las condiciones ambientales.

Los tiempos de retención para cada azúcar fueron: fructosa 13,94 min; glucosa 11,32 min y sacarosa 9,65 min.

Tabla 3-4. Contenidos de fructosa, glucosa y sacarosa en 5 estados de madurez del fruto de gulupa sembrados en Chía, Granada y Tena.

Estado De Madurez	AZÚCARES								
	Fructosa (g/100g pulpa)			Glucosa (g/100g pulpa)			Sacarosa (g/100g pulpa)		
	Chía	Granada	Tena	Chía	Granada	Tena	Chía	Granada	Tena
0%	1,261	1,399	0,416	0,320	0,326	0,333	4,649	4,789	3,263
30%	2,418	1,335	0,738	1,035	0,699	0,570	2,834	4,159	5,854
50%	2,869	1,811	0,956	1,757	0,988	0,724	2,224	3,411	6,444
70%	2,825	1,906	1,251	1,738	0,764	0,978	3,846	3,332	5,592
100%	3,032	2,846	1,448	1,936	1,688	1,185	2,299	5,400	5,099

Figura 3-2. Contenido de azúcares de frutos de gulupa en 5 estados de madurez provenientes de Chía, Granada y Tena. A) Glucosa B) Fructosa y C) Sacarosa. Las barras indican el error estándar.



El contenido de los ácidos orgánicos cítrico, málico, oxálico y ascórbico se muestran en la Figura 3-3 y la Tabla 3-5. El ácido cítrico (reportado por Sepúlveda *et al.* 1996, como una de las propiedades más apetecidas de la *Passiflora edulis* Sims) fue el más abundante en la pulpa de los frutos; se encontraron diferencias significativas entre los estados y entre las localidades especialmente en la de Tena, donde el contenido de éste ácido disminuyó notablemente.

El contenido de ácido ascórbico presentó diferencias significativas entre estados ($P < 0,05$) y entre las localidades ($P < 0,05$), siendo mayor en Chía, y menor en Granada. Tena presentó la misma tendencia de Chía con bajos contenidos en el estado de 0% y aumentos en los estados de 30, 50 y 70%, y una disminución en 100%. En Granada, los frutos en madurez fisiológica (0%), presentaron la mayor acumulación de éste ácido, contrastando con los estados más maduros.

El ácido málico se acumuló en los frutos a medida que avanzó el proceso de maduración, destacándose que al final de la maduración, los frutos de 100% concentraron 40% más de éste ácido con respecto a los frutos de 70% en todas las localidades.

La acumulación del ácido oxálico en los frutos de diferentes estados de madurez fue relativamente estable en Tena. En Granada y Chía se incrementó con el transcurso de la maduración. Al igual que en los otros ácidos, los estados de madurez y las localidades presentaron diferencias significativas. Para los cuatro ácidos analizados, se encontraron interacciones estadísticamente significativas entre los factores localidad y estado de madurez ($P < 0,05$), lo que podría sugerir que el contenido de ácidos en la pulpa de gulupa es influenciado por el estado de madurez y por las condiciones climáticas de cada localidad.

En términos generales, los frutos cultivados bajo las condiciones de Chía mostraron mayores contenidos de ácidos cítrico, ascórbico y oxálico.

Los tiempos de retención para cada ácido corresponden a: ácido cítrico 16,77 min; ácido málico 19,42 min; ácido oxálico 13,53 min y ácido ascórbico 20,76 min.

Figura 3-3. Contenido de ácidos orgánicos en 5 estados de madurez de frutos de gulupa provenientes de las localidades de Chía, Granada y Tena. A) Ácido ascórbico, B) ácido cítrico, C) ácido málico, D) ácido oxálico.

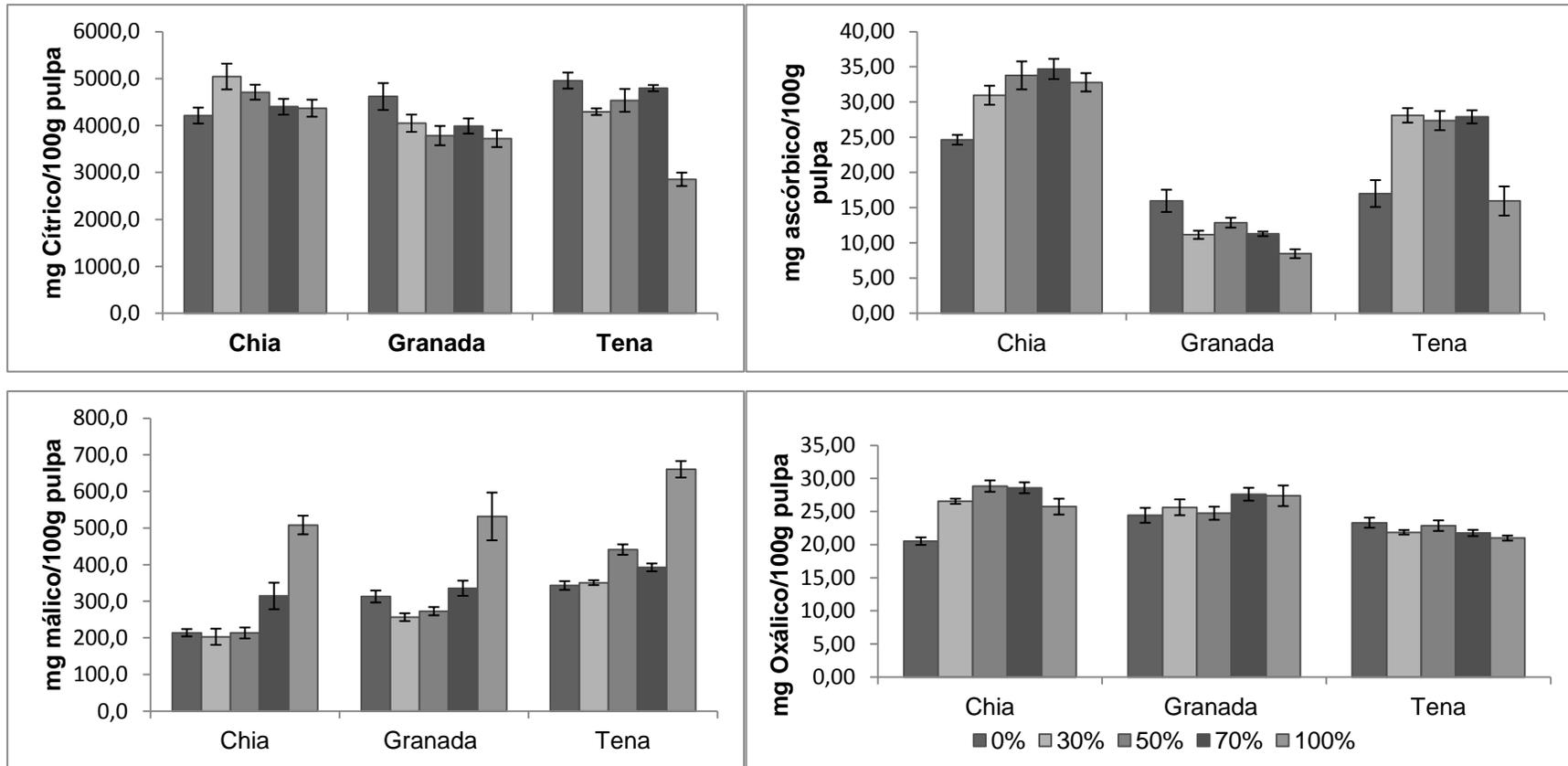


Tabla 3-5. Contenidos de ácido cítrico, ácido málico, ácido oxálico y ácido ascórbico en 5 estados de madurez del fruto de gulupa de las localidades de Granada, Tena y Chía.

Estado de Madurez	ÁCIDO ORGÁNICO											
	Cítrico			Málico			Oxálico			Ascórbico		
	(mg/100g pulpa)			(mg/100g pulpa)			(mg/100g pulpa)			(mg/100g pulpa)		
	Chía	Granada	Tena	Chía	Granada	Tena	Chía	Granada	Tena	Chía	Granada	Tena
0%	4212,4	4617,7	4958,4	214,1	312,9	343,0	20,52	24,42	23,31	24,64	15,98	17,01
30%	5043,9	4049,4	4294,7	202,9	256,4	350,8	26,54	25,63	21,86	30,97	11,15	28,12
50%	4709,9	3785,4	4536,6	213,4	272,8	441,0	28,83	24,74	22,86	33,79	12,87	27,36
70%	4400,5	3989,8	4796,6	314,4	335,5	392,5	28,58	27,61	21,75	34,70	11,29	27,90
100%	4369,3	3719,6	2854,5	508,2	531,6	660,4	25,73	27,37	20,99	32,81	8,47	15,95

Caracterización fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) bajo tres ambientes contrastantes

En los diferentes estados de madurez, las proteínas fueron mayores en Tena y muy similares en Granada y Chía (Figura 3-4 y Tabla 3-6). Diferencias significativas se encontraron entre las localidades ($P < 0,05$) y entre los estados ($P < 0,05$), cuyos contenidos disminuyeron paulatinamente con el proceso de maduración en Chía y Tena. Para el caso de Granada, la tendencia no es muy clara debido a que los valores disminuyeron y aumentaron de un estado a otro.

Figura 3-4. Contenido de proteínas en pulpa de frutos de gulupa en 5 estados de madurez (0%, 30%, 50%, 70%, 100%) cultivados en Chía, Granada y Tena.

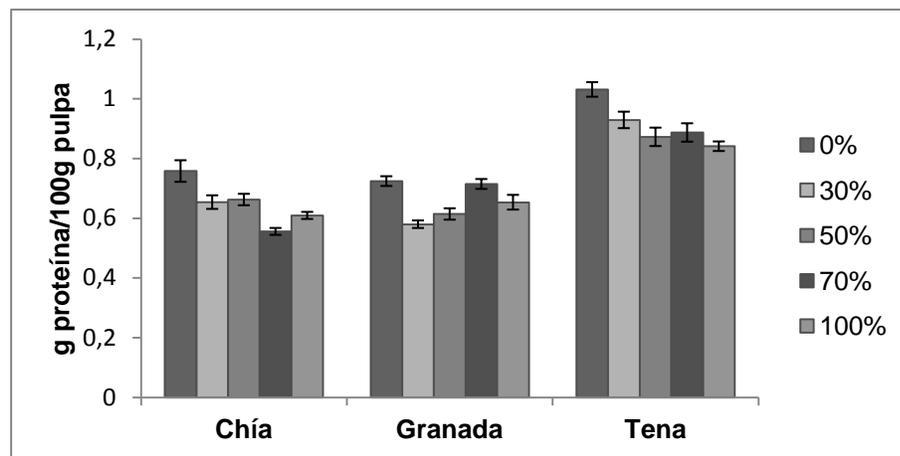


Tabla 3-6. Contenido de proteínas en pulpa de frutos de gulupa en 5 estados de madurez (0%, 30%, 50%, 70%, 100%) cultivados en Chía, Granada y Tena.

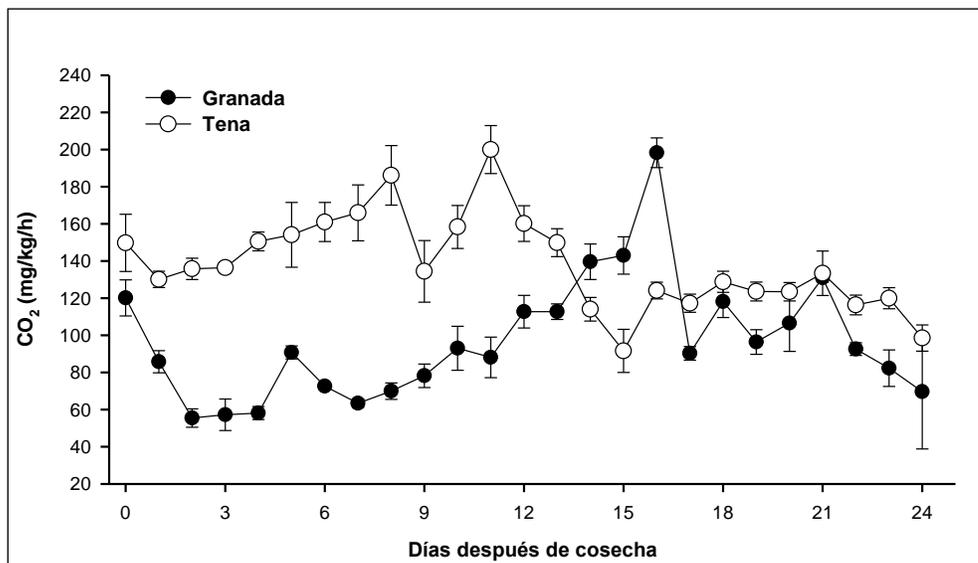
Estado de Madurez	Proteína (g/100g pulpa)		
	Chía	Granada	Tena
0%	0,76	0,72	1,03
30%	0,66	0,58	0,93
50%	0,66	0,61	0,87
70%	0,56	0,71	0,89
100%	0,61	0,65	0,84

3.4.2 Ensayo 1: seguimiento poscosecha de frutos cosechados en madurez fisiológica

- *Tasa respiratoria y producción de etileno*

Desde el inicio y durante todo el periodo poscosecha, los frutos de Tena mostraron una tasa respiratoria mayor a los de Granada (Figura 3-5); sin embargo, los picos de mayor producción alcanzaron los mismos valores (199,98 mg/kg/h en Tena y 198,28 mg/kg/h en Granada) pero no ocurrieron de forma simultánea, pues en Tena se observó en el 11DDC y en Granada 5 días después (16DDC). En ambas localidades el pico climatérico precedió al pico de etileno.

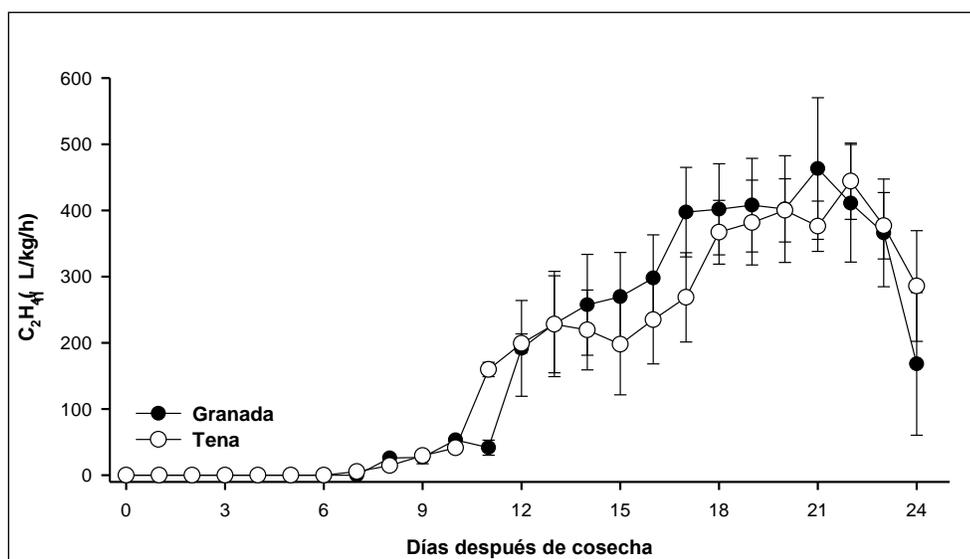
Figura 3-5. Actividad respiratoria promedio de frutos de gulupa cosechados en madurez fisiológica en Tena y Granada. Las barras verticales representan el error estándar de 3 réplicas.



La producción de etileno en los frutos de las dos localidades siguió la misma tendencia (Figura 3-6). Durante los primeros 7 días no se detectó etileno, a partir del día 8 y hasta el día 10 en Tena y 11 en Granada, la producción de la hormona aumentó lentamente alcanzando valores de 41,60 y 41,62 uL/kg/h, respectivamente. Desde el día 12DDC (en las dos localidades) se presentó un incremento acelerado en la producción de la hormona que alcanzó los valores más altos (463,29 en Granada y 444,13 uL/kg/h en Tena) en el día 21 y 22 para Granada y Tena, respectivamente. Posteriormente los valores disminuyeron hasta

el día 24, cuando se evidenció la descomposición de los frutos y se suspendieron las mediciones.

Figura 3-6. Producción de etileno promedio de frutos de gulupa cosechados en madurez fisiológica en Tena y Granada. Las barras verticales representan el error estándar de 3 réplicas.



- *Evaluación de la calidad del fruto*

Los frutos de las dos localidades presentaron diferencias en el contenido de Sólidos Solubles Totales (SST) pero conservaron la misma tendencia (Figura 3-7 A). En Granada, los valores fueron constantes entre el día 0 y el 6 DDC (12,7 °Brix), posteriormente disminuyeron hacia el 9DDC (11,8 °Brix), y aumentaron nuevamente en el 15DDC (12,38 °Brix), coincidiendo con el pico climatérico. Al final del ensayo se registró un valor de 10,66 °Brix, disminución relacionada con el inicio de la senescencia del fruto. En Tena, al inicio del periodo poscosecha (0-6 DDC) se registraron valores entre 9,7 y 10,1 °Brix, posteriormente ocurrió un ligero aumento a 10,8°Brix entre 9-12 DDC que podría relacionarse con el pico climatérico y con el inicio de la síntesis autocatalítica de etileno, finalmente los valores decrecieron entre los días 12 y 24 (8,76°Brix). Cabe resaltar, que al final del ensayo, los °Brix fueron estadísticamente diferentes entre las dos localidades (Tabla 3-7).

La tendencia de la acidez total titulable fue similar en las dos localidades (Figura 3-7 B). Al inicio fue ligeramente mayor en Tena con valores de 5,06%, y menor en Granada con 4,37%, posteriormente los valores más altos se registraron en los frutos de ésta localidad entre los días 3 y 9. Se observaron disminuciones en la

acidez que coincidieron con los picos climatéricos en Tena en el rango entre el día 9 y 12DDC y en Granada entre 15 y 18DDC. Al final del ensayo las localidades alcanzaron valores muy cercanos (3,33 y 2,89) que no fueron significativamente diferentes (Tabla 3-7).

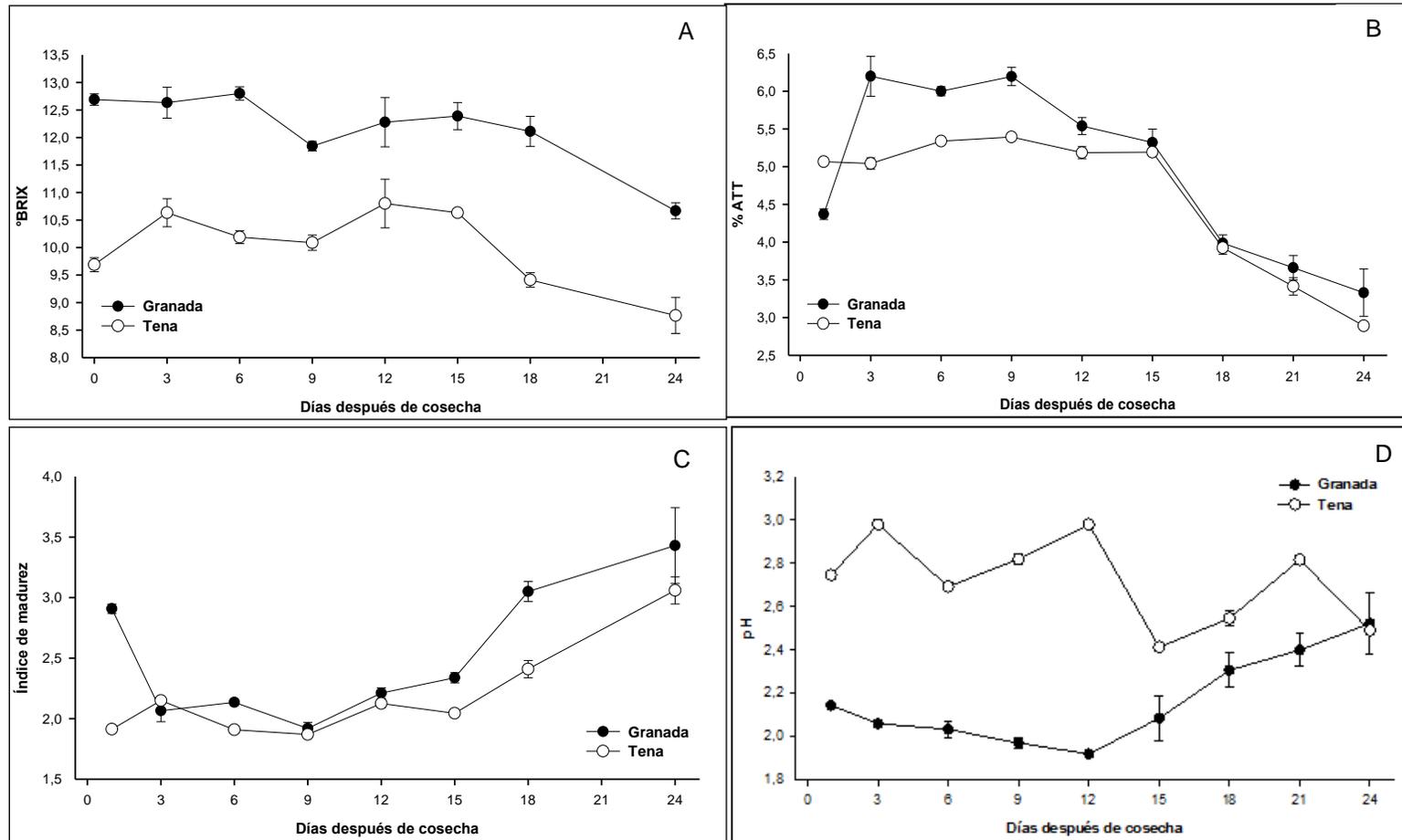
La relación entre SST y ATT o índice de madurez, tuvo el mismo comportamiento en los frutos de las dos localidades a partir del 3DDC (Figura 3-7 C). El valor del 1DDC en Granada se debe a la baja acidez reportada ese día y no a un aumento en los SST. Entre 3DDC y 9DDC, la relación SST/ATT se mantuvo estable para las dos localidades, y entre 9 y 24DDC se observaron incrementos que podrían estar relacionados con los picos climatéricos de cada localidad. Al final, los frutos de Granada mostraron tener mayor contenido de SST con respecto a la ATT, aunque no de forma significativa (Tabla 3-7).

En la Figura 3-7 D, se registra la evolución del pH a lo largo del ensayo, el cual inició en 2,14 en Granada, disminuyó ligera y paulatinamente hasta 1,92 en el 12 DDC, y luego aumentó hasta 2,49 entre el 15 y 24 DDC. El pH fue mayor en Tena desde 0 a 12 DDC estando entre 2,69 y 2,98; no obstante, la tendencia varió sin un patrón claro. Hacia el día 15DDC en los dos casos el pH aumentó alcanzando valores estadísticamente similares entre las localidades (2,49 en Tena y 2,52 en Granada) al final del ensayo.

Tabla 3-7. Valores promedio de las características químicas del fruto de gulupa en diferentes estados de madurez de 30% a 100% en el 24 DDC. SST= Sólidos Solubles Totales; ATT= Acidez total titulable; IM= Índice de madurez. Los valores en paréntesis indican la desviación estándar; promedios de la misma variable del fruto seguidos de letras distintas son estadísticamente diferentes, según test de Tukey ($P < 0,05$).

SST		ATT		pH		IM	
Tena	Granada	Tena	Granada	Tena	Granada	Tena	Granada
8,77	10,67	2,89	3,33	2,49	2,52	3,03	3,43
(0,78) b	(0,43) a	(0,11) a	(0,94) a	(0,02) a	(0,25) a	(0,24) a	(0,94) a

Figura 3-7. Calidad de frutos de gulupa cosechados en madurez fisiológica en Tena y Granada. A) Sólidos Solubles Totales (°Brix). B) Acidez Total Titulabe (%ATT). C) Índice de madurez (SST/ATT). D) pH. Las barras verticales representan el error estándar de 3 réplicas.



Caracterización fisiológica y bioquímica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) bajo tres ambientes contrastantes

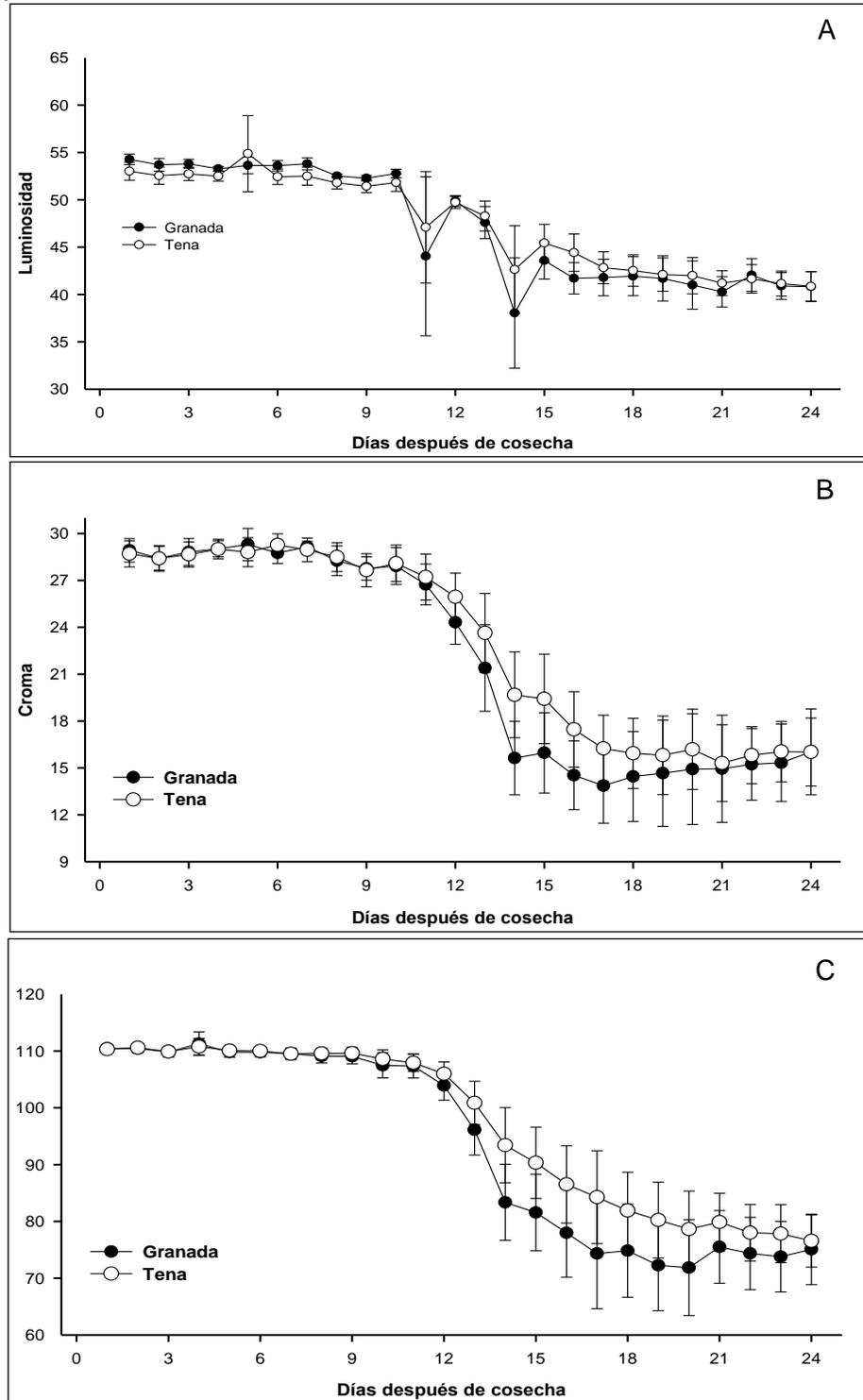
Las coordenadas colorimétricas L*C*h mostraron las mismas tendencias en las dos localidades (Figura 3-8). Durante los primeros 10 días la luminosidad y el croma permanecieron constantes; a partir del día 11 y hasta el día 17, los valores decrecieron paulatinamente siendo menores en Granada, lo que sugiere que el color de los frutos de ésta localidad fue ligeramente más opaco y menos intenso durante el periodo poscosecha. Hacia el 17DDC los valores de ambas coordenadas permanecieron estables hasta el final del ensayo, sin mostrar diferencias estadísticamente significativas (Tabla 3-8). Durante los primeros 11 días del periodo poscosecha los frutos de ambas localidades conservaron su color verde, razón por la cual los valores del ángulo hue permanecieron constantes (Figura 3-8 C). En el 12DDC los valores disminuyeron (siendo más drástico el cambio en los frutos de Granada) y volvieron a estabilizarse en el día 21, cuando se alcanzó la coloración púrpura. Cabe resaltar, que los valores de error estándar aumentaron cuando inició el cambio de color en el ángulo hue, debido a que el proceso no ocurrió de forma sincrónica en todos los frutos, es decir, no todos los frutos alcanzaron una coloración púrpura uniforme (Anexo D). Debido al desarrollo incompleto durante la poscosecha del color púrpura en los frutos colectados en madurez fisiológica, en la realización del ensayo 2 se tuvieron en cuenta frutos que ya habían iniciado el proceso de maduración, o sea, frutos a partir del estado 30% de coloración púrpura.

En las dos localidades los cambios en las coordenadas de color coincidieron con el aumento en la síntesis de etileno (12DDC). En general, el color de los frutos de Granada fue ligeramente más intenso, más opaco y más púrpura que los de Tena, lo cual podría ser considerado como un factor importante en la elección del destino de éstos frutos de acuerdo con las preferencias de cada mercado. Al final del ensayo (24DDC), los coordenadas colorimétricas medidas no presentaron diferencias significativas entre las localidades (Tabla 3-8).

Tabla 3-8. Valores promedio de las coordenadas colorimétricas del fruto de gulupa en diferentes estados de madurez provenientes de Tena y Granada. Los valores en paréntesis indican la desviación estándar; promedios de la misma variable del fruto seguidos de letras distintas son estadísticamente diferentes, según test de Tukey ($P < 0,05$).

Luminosidad		Croma		hue	
Tena	Granada	Tena	Granada	Tena	Granada
40,92	40,82	16,01	16,03	78,02	75,06
(3,81)	(3,51)	(3,78)	(6,15)	(5,80)	(13,86)
a	a	a	a	a	a

Figura 3-8. Color (coordenadas L*C*h) del exocarpo de frutos de gulupa cosechados en madurez fisiológica en Tena y Granada. A) Luminosidad (L). B) Cromo (C). C) Angulo hue (h). Las barras verticales representan el error estándar de 12 réplicas.



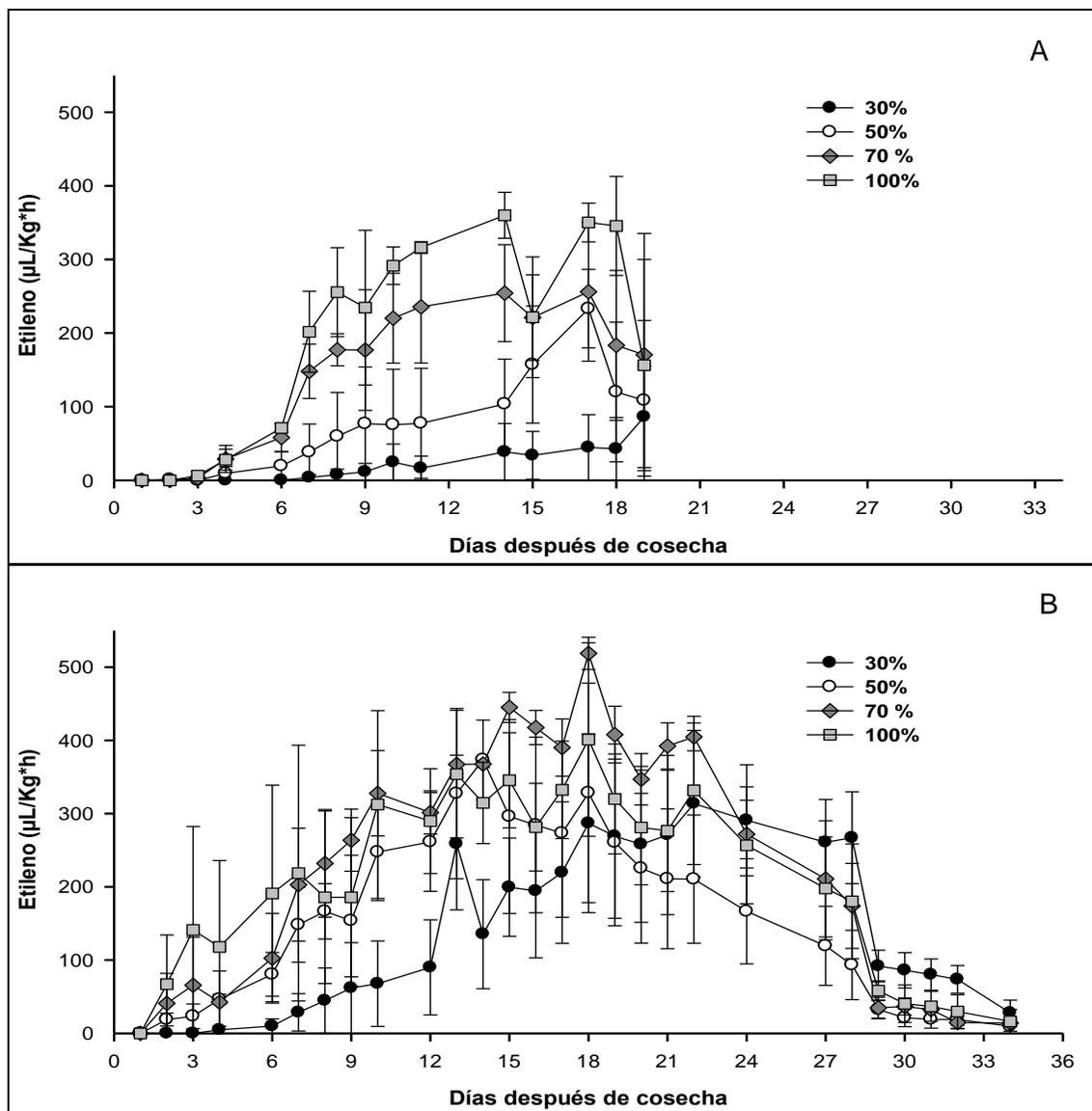
3.4.3 Ensayo 2: seguimiento poscosecha de frutos cosechados en diferentes estados de madurez

- *Tasa respiratoria y producción de etileno*

La tasa respiratoria en los frutos de Chía y Granada (Figura 3-9) mostró una tendencia de aumento que posteriormente se estabilizó, no se observó un pico claro, como el obtenido en los frutos del ensayo 1; sin embargo, los mayores valores en la tasa de respiración precedieron a los picos de etileno, en todos los estados. Los frutos de los estados 70% y 100% presentaron la mayor actividad, con valores ligeramente más altos en Chía con respecto a los de Granada. El estado de 30% mostró tendencias distintas en las dos localidades, en Chía la producción de CO₂ registró un incremento durante los primeros días (superando los demás estados) que posteriormente decreció de forma gradual; en contraste, ese mismo estado en los frutos de Granada, registró los valores más bajos durante todo el ensayo.

La producción de etileno durante el periodo poscosecha mostró tendencias similares entre los estados de madurez, pero no entre las dos localidades (Figura 3-10). La tendencia encontrada en los frutos de Chía se asemeja a la de los frutos medidos en el ensayo 1; al inicio de la poscosecha la producción de etileno fue baja, luego del 6DDC y hasta el 11DDC aumentó gradualmente manteniéndose estable hasta el día 17DDC y disminuyendo posteriormente hacia el día 19DDC, cuando se suspendieron las mediciones debido a la clara deshidratación y descomposición que para entonces sufrieron los frutos. A diferencia de lo encontrado en las otras localidades, los frutos de todos los estados (excepto 30%) de Granada mostraron un crecimiento acelerado en la producción de etileno desde el inicio del ensayo, debido probablemente a que desde el primer día la tasa respiratoria fue alta. Los mayores incrementos tuvieron lugar en el 18DDC para todos los estados (excepto 30%); la concentración varió con el estado de madurez, siendo 70 y 100% los de mayor producción. Los frutos en estado 30%, exhibieron un comportamiento diferente a los demás estados analizados en éste ensayo, pero similar al del ensayo 1. La baja producción de etileno entre el 1DDC y el 6DDC hacen suponer que en este estado el proceso de maduración es más lento debido a la presencia del sistema 1 de biosíntesis de etileno, por lo cual el pico se retrasó 4 días (22DDC) con respecto a los demás estados.

Figura 3-10. Producción de etileno en frutos de gulupa de plantas sembradas en Chía (A) y Granada (B). Ensayo poscosecha en 4 estados de madurez (30%, 50%, 70% y 100%). Las barras indican el error estándar de 3 replicas.

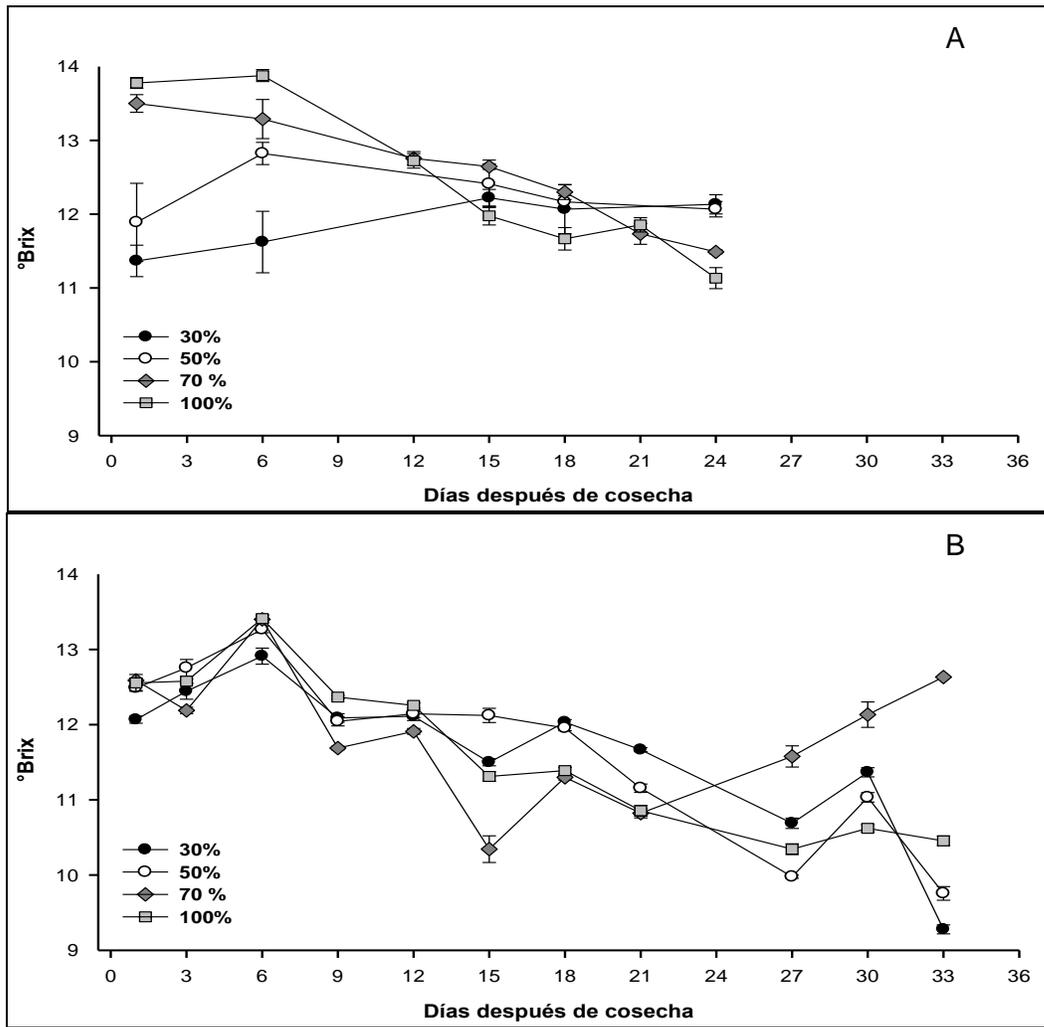


▪ *Calidad del fruto*

Al inicio del periodo poscosecha en Chía (Figura 3-11 A), se observaron claras diferencias en el contenido de SST entre los estados; 70 y 100% mostraron valores cercanos a 14°Brix, que paulatinamente disminuyeron a 11°Brix. Los estados 30 y 50% mostraron leves incrementos logrando al final del ensayo valores cercanos a 12°Brix, que fueron estadísticamente diferentes de los estados maduros (Tabla 3-9). Los frutos de Granada (Figura 3-11 B) mostraron menores

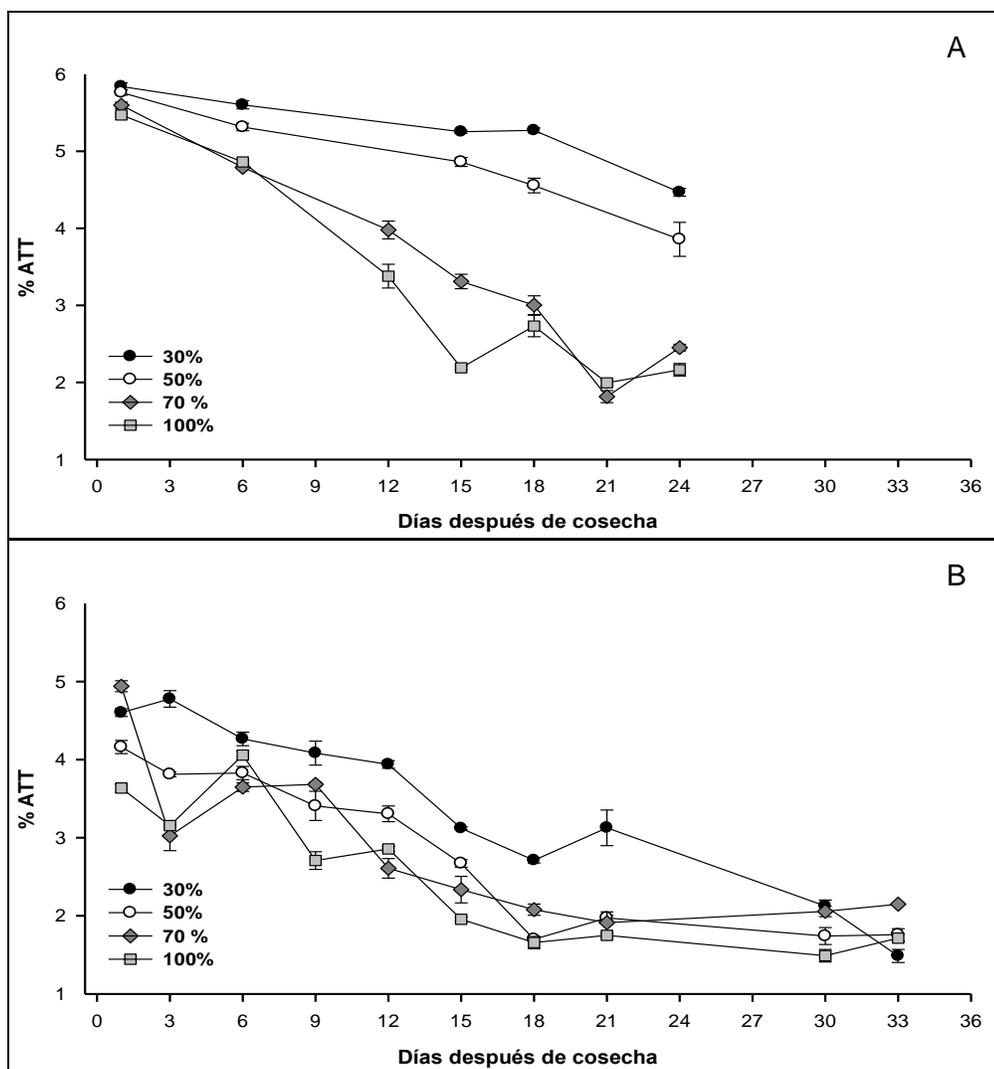
variaciones entre los estados, pero la misma tendencia a disminuir conforme avanzó el periodo poscosecha. Se registraron leves incrementos en los días 6 y 18 que coincidieron con el inicio de la síntesis y el pico de etileno. Los resultados sugieren que existen diferencias significativas entre los momentos de cosecha, debido a que al cabo de 33 días (para Granada) y 24 días (para Chía), se obtienen frutas con contenidos distintos de °Brix. Cabe señalar que los frutos colectados en Granada en el estado de 70% mostraron un incremento considerable (12,6°Brix) al final del ensayo.

Figura3-11. Sólidos solubles totales (°Brix) de frutos de gulupa de plantas sembradas en Chía (A) y Granada (B). Ensayo poscosecha en 4 estados de madurez (30%, 50%, 70% y 100%). Las barras indican el error estándar de 3 replicas.



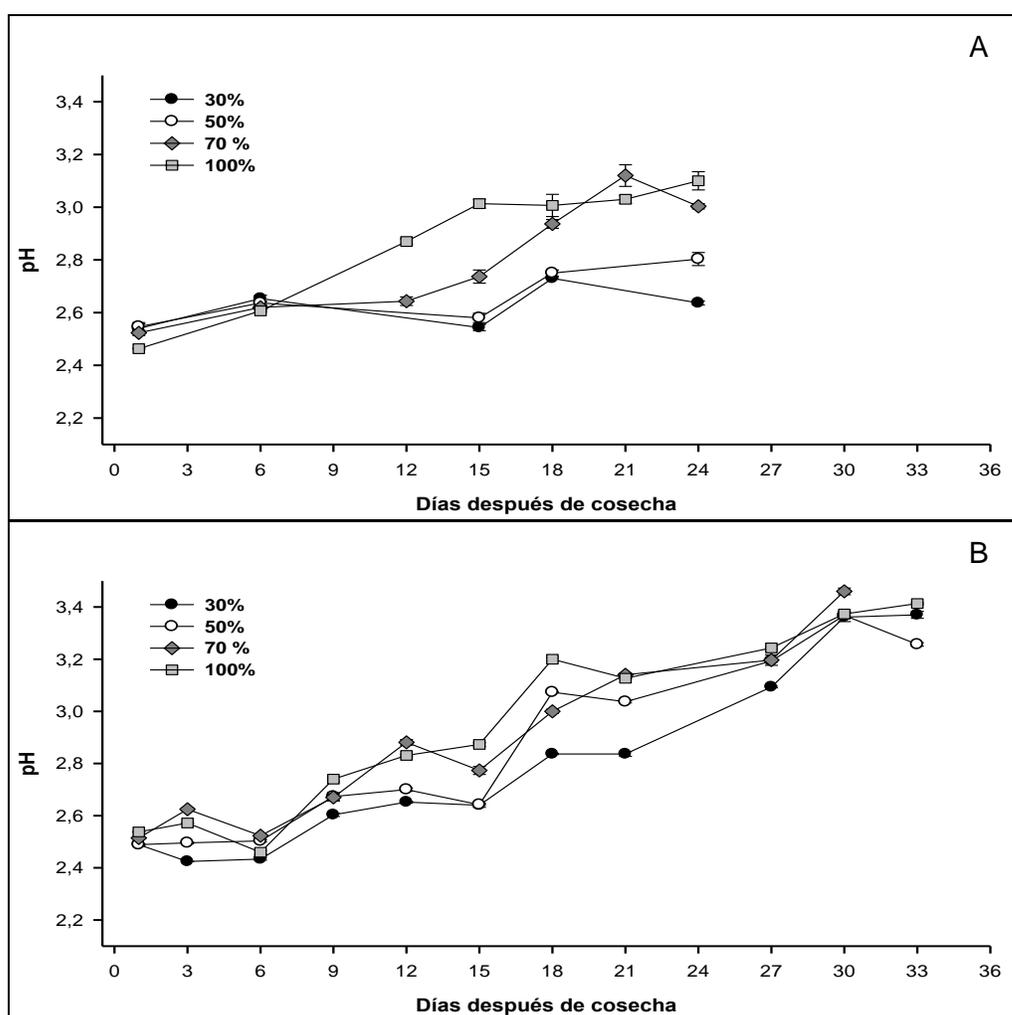
La acidez en los frutos disminuyó a medida que avanzó el proceso de maduración en las dos localidades (Figura 3-12). Los frutos cosechados en los estados menos maduros fueron los más ácidos tanto en Chía como en Granada, en contraste con los que fueron cosechados en los estados más avanzados de madurez, siendo más notable esta diferencia en los frutos de Chía. Cabe subrayar, que los frutos de ésta localidad presentaron mayor acidez que los de Granada desde el inicio del ensayo, lo que se reflejó directamente en la proporción SST/ATT. Para las dos localidades, los estados fueron estadísticamente diferentes y mayores en Chía.

Figura 3-12. Acidez Total Titulable (%ATT) de frutos de gulupa de plantas sembradas en Chía (A) y Granada (B). Ensayo poscosecha en 4 estados de madurez (30%, 50%, 70% y 100%). Las barras indican el error estándar de 3 replicas.



Con respecto al pH (Figura 3-13), las dos localidades mostraron tendencias de aumento a medida que avanzó el periodo poscosecha. En general, el pH aumentó una unidad en los frutos de Granada (2,5-3,4) y 0,6 en los de Chía (2,5-3,1). Se encontraron diferencias notables en los estados de Chía de 70 y 100% con respecto a los de 30 y 50% luego del 6DDC, en tanto que en Granada las variaciones al final del ensayo no fueron significativas (Tabla 3-9).

Figura 3-13. pH de frutos de gulupa de plantas sembradas en Chía (A) y Granada (B). Ensayo poscosecha en 4 estados de madurez (30%, 50%, 70% y 100%). Las barras indican el error estándar de 3 replicas.



El índice de madurez es la relación entre SST y ATT. En Chía (Figura 3-14), los estados de 70 y 100% presentaron los valores más altos para esta localidad (4,70 y 5,19, respectivamente) mostrando un aumento desde el inicio del ensayo, en

tanto que los estados de 30 y 50% permanecieron más estables alcanzando valores de 2,72 y 3,13 respectivamente que variaron de forma significativa con los primeros (Tabla 3-9). El incremento presentado en los frutos del estado 100% en el día 15 fue cercano al pico de producción de etileno (día 14), demostrando que la cantidad de azúcares aumentó con respecto a la cantidad de ácidos. Los incrementos registrados en los días 21 y 24 podrían relacionarse con el inicio de la senescencia, pues los frutos de ésta localidad duraron solo 19 días en buenas condiciones después de ser cosechados. En los frutos de Granada no se encontraron diferencias en las tendencias presentadas por los estados, siendo 30% el estado de menores valores y el de 100% el estado con mejor relación SST/ATT. Hacia el 18DDC, se observó un incremento notable en los frutos de los estados 100 y 50% que coincidió con el pico de etileno. Las localidades y los estados variaron significativamente (Tabla 3-9).

Figura 3-14. Índice de madurez ($^{\circ}\text{Brix}/\% \text{ATT}$) de frutos de gulupa de plantas sembradas en Chía (A) y Granada (B). Ensayo poscosecha en 4 estados de madurez (30%, 50%, 70% y 100%). Las barras indican el error estándar de 3 replicas.

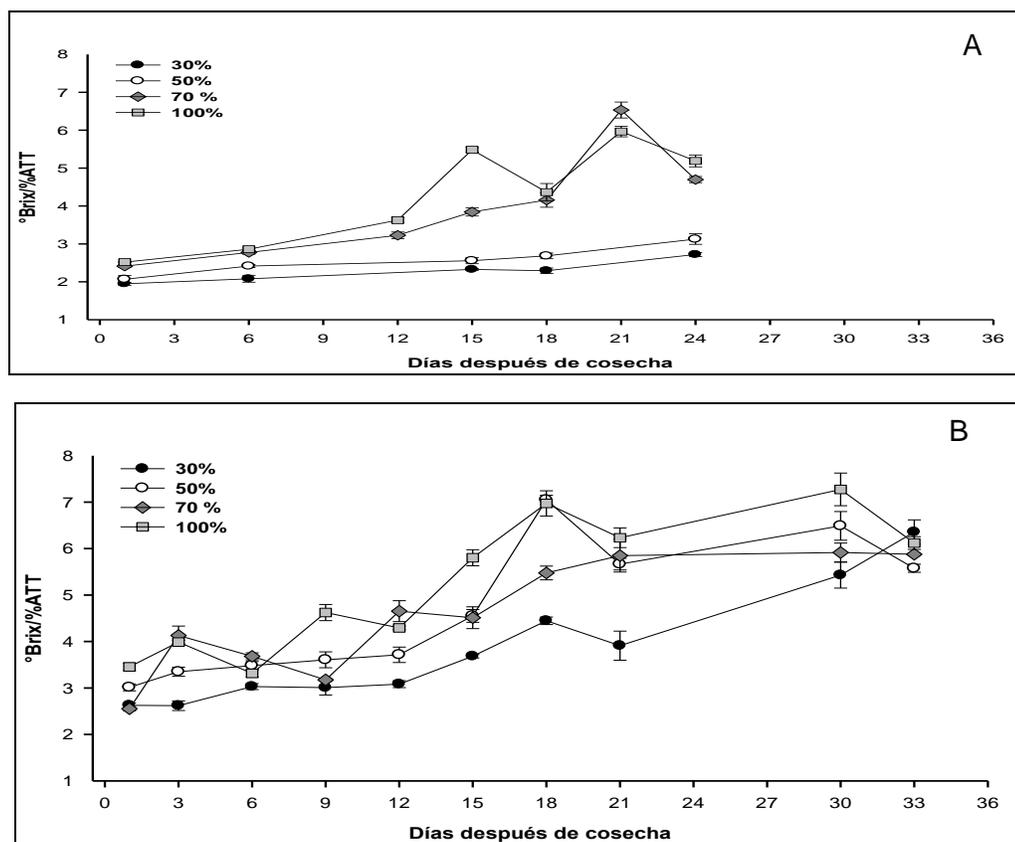
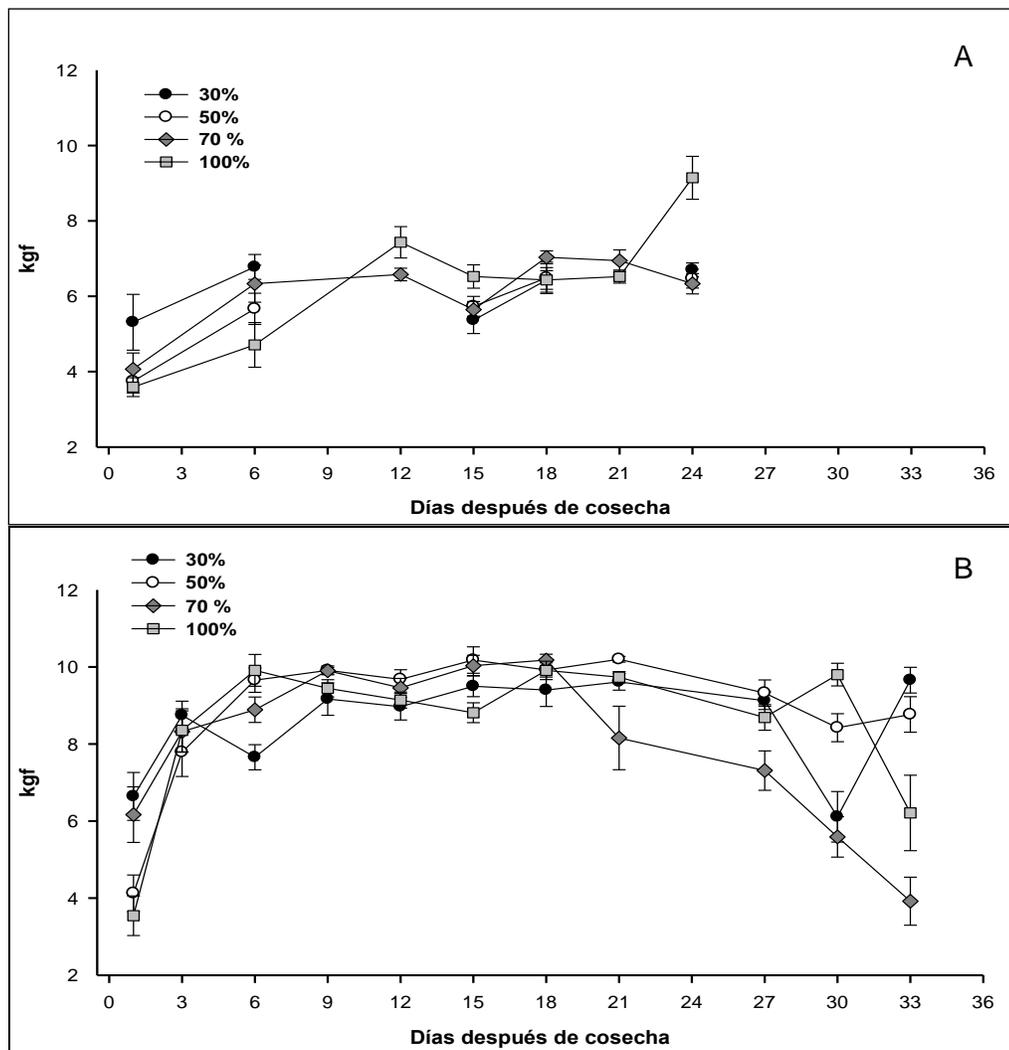


Tabla 3-9. Valores promedio de las características químicas del fruto de gulupa en diferentes estados de madurez provenientes de Chía y Granada. SST= Sólidos Solubles Totales; ATT= Acidez total titulable; IM= Índice de madurez. Los valores en paréntesis indican la desviación estándar; promedios de la misma variable del fruto en la misma columna seguidos de letras distintas son estadísticamente diferentes, según test de Tukey ($P<0,05$). Las letras mayúsculas indican diferencias entre localidades y las minúsculas entre estados de una misma localidad.

Estado de Madurez	SST		ATT		pH		IM	
	Chía	Granada	Chía	Granada	Chía	Granada	Chía	Granada
30%	12,13 (0,39) aA	9,28 (0,54) cB	4,47 (0,15) aA	1,49 (0,25) cB	2,64 (0,02) bB	3,37 (0,12) aA	2,72 (0,16) c B	6,36 (0,78) aA
50%	12,07 (0,31) aA	9,76 (0,82) bcB	3,93 (0,65) bA	1,76 (0,23) bB	2,80 (0,08) bB	3,26 (0,06) aA	3,13 (0,42) cB	5,58 (0,26) bA
70%	11,49 (0,08) bA	12,63 (0,08) aB	2,45 (0,13) cA	2,16 (0,02) aB	3,00 (0,03) aB	3,37 (0,02) aA	4,70 (0,25) bB	5,85 (0,06) abA
100%	11,13 (0,43) bA	10,46 (0,58) bA	2,16 (0,24) cA	1,71 (0,15) bcB	3,10 (0,10) aB	3,41 (0,03) aA	5,19 (0,47) aB	6,12 (0,41) abA

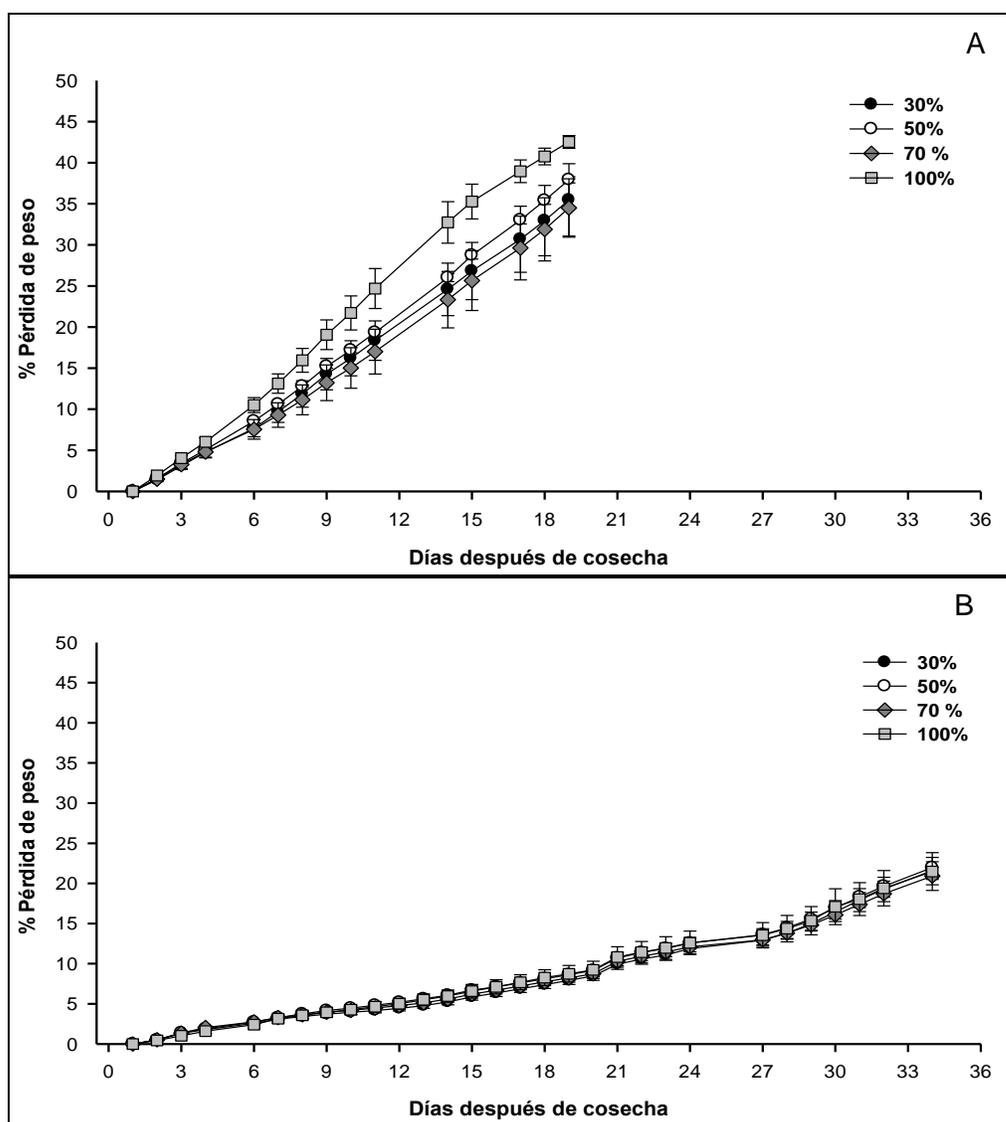
La firmeza de los frutos en las dos localidades mostró tendencias similares (Figura 3-15). Durante los primeros días (1-6DDC) la firmeza se incrementó, posteriormente se estabilizó y luego disminuyó para el caso de Granada, mientras que en Chía los estados de 30-70% permanecieron estables y el de 100% aumentó. Los estados no presentaron mayores diferencias, excepto para el estado de 70% en Granada, el cual a partir del 21DDC decreció notablemente. En términos generales, los frutos de Granada fueron más firmes que los de Chía.

Figura 3-15. Medición de firmeza (kgf) de frutos de gulupa de plantas sembradas en Chía (A) y Granada (B). Ensayo poscosecha en 4 estados de madurez (30%, 50%, 70% y 100%). Las barras indican el error estándar de 3 replicas.



La pérdida de peso fue más drástica en Chía que en Granada (Figura 3-16). En Granada no se observaron variaciones entre los estados, en cambio, los frutos de Chía presentaron diferencias notables en especial entre el estado de 100% y los demás. Los resultados muestran que al final del ensayo (19DDC) los frutos de Chía perdieron entre el 45% (estado 100%) y el 35% de su peso fresco (estados 30-70%), mientras que los frutos de Granada solo perdieron el 20% de su peso fresco al cabo de 33DDC.

Figura 3-16. % Pérdida de peso de frutos de gulupa de plantas sembradas en Chía (A) y Granada (B). Ensayo poscosecha en 4 estados de madurez (30%, 50%, 70% y 100%). Las barras indican el error estándar de 3 replicas.



Las coordenadas colorimétricas L^*C^*h mostraron diferencias entre las localidades y entre los estados (Figura 3-17). En Granada, al inicio del ensayo la luminosidad, el croma y el ángulo hue de los diferentes estados fueron altas de acuerdo al estado de madurez; es decir, los frutos al 30 y 50% mostraron los valores más altos, con respecto a los de 70 y 100%. Esto se debe a que los frutos al momento de ser cosechados conservaban algo del color verde (Anexo E), que perdieron a medida que maduraron. Para las tres coordenadas las mayores variaciones se dieron entre el 1 y 9DDC, posterior a eso, los valores

permanecieron constantes indicando que luego de 9DDC los frutos cambian a púrpura. En contraste, los frutos de Chía (Figura 3-17) de los estados 30, 50 y 70% no alcanzaron una coloración purpura homogénea similar a la obtenida por los frutos de 100% (Anexo F).

Figura 3-17. Color de frutos de gulupa. A) Luminosidad de Chía B) Luminosidad de Granada C) Croma de Chía D) Croma de Granada E) ángulo hue de Chía F) ángulo hue de Granada en 4 estados de madurez (30%, 50%, 70% y 100%). Las barras indican el error estándar de 5 replicas.

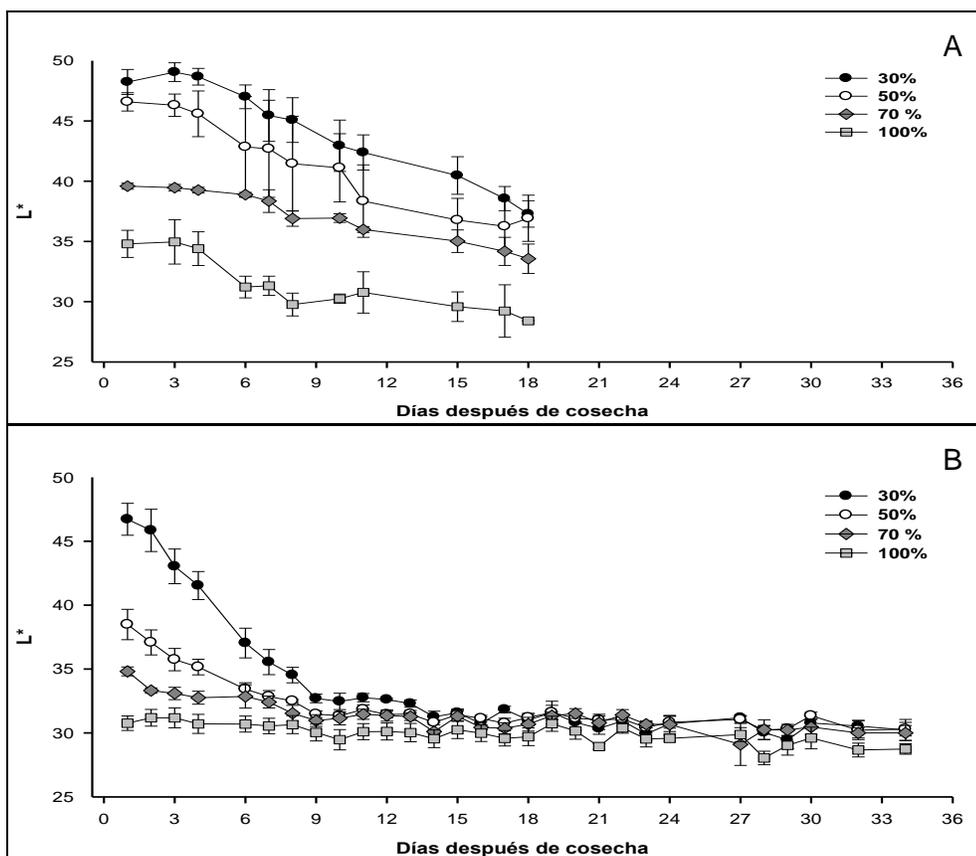
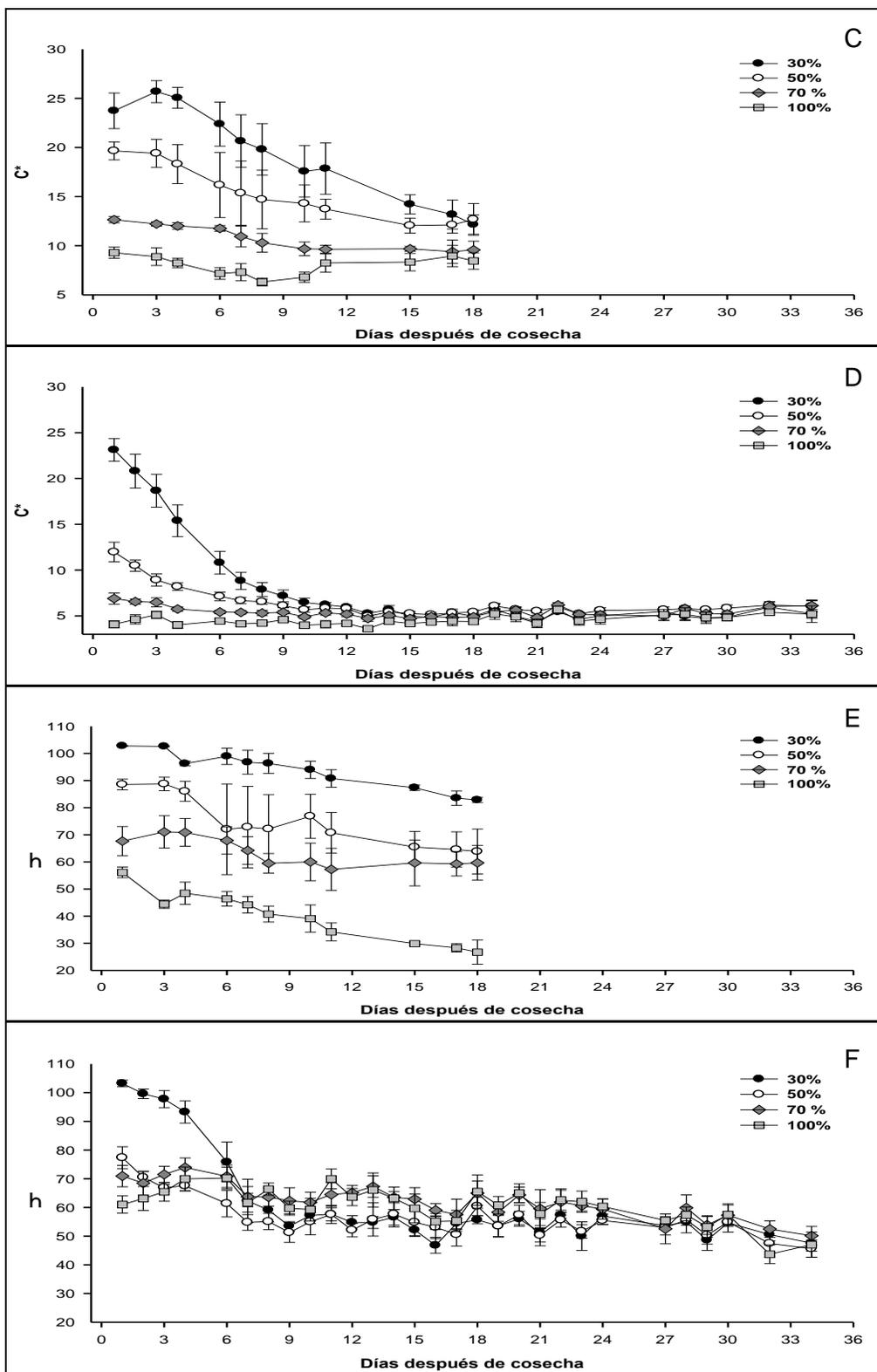


Figura 3-17. Continuación.



3.5 Discusión

3.5.1 Seguimiento frutos unidos a la planta (precosecha)

Las mediciones puntuales que se llevaron a cabo en los diferentes estados de madurez, mostraron ser menores a las registradas en frutos que maduraron durante poscosecha, lo cual concuerda con lo esperado, ya que Bower *et al.*, (2002) indican que debido al estrés que se produce al retirar el fruto de la planta y dejarlo madurar, hace que se generen aumentos considerables de respiración sumado a una mayor permeabilidad a los gases, que no tienen lugar cuando el fruto permanece unido a la planta.

Como ya se mencionó, la tendencia en la tasa respiratoria fue estable durante la mayor parte de la maduración en Tena y Chía, encontrándose un pico en el estado de 100% en las tres localidades, y no se detectó producción de etileno en ninguno de los estados (excepto Tena 100%), lo cual difiere de los resultados de Shiomi *et al.*,(1996a), quienes no detectaron aumento de respiración, pero si aumento en la producción de etileno en frutos que permanecieron unidos a la planta de gulupa. De todas maneras, es necesario realizar un acercamiento al comportamiento de éstos dos gases durante la maduración, en frutos unidos a la planta contemplando un enfoque dinámico como el propuesto por Andrews (1995).

Los sólidos solubles totales (SST), aumentaron con la maduración, especialmente entre frutos de 50% y 70%, indicando que en este estado los frutos de gulupa alcanzan su máximo contenido de azúcares cuando maduran unidos a la planta. En términos generales, la acidez permaneció constante durante la maduración de los frutos cultivados en Tena y Chía, lo cual también fue reflejado por los contenidos de ácidos. En Granada, la disminución abrupta en el estado de 100%, incidió sobre el índice de madurez que fue mayor en esta localidad. Debido al contenido de °Brix alcanzado y a la estabilidad en los valores de acidez, se podría considerar al estado de 70% como punto óptimo de cosecha en las tres localidades.

Con respecto a otros estudios, los frutos de gulupa cosechados en Tena, Granada y Chía presentaron contenidos menores de SST a los reportados por Jiménez *et al.*, (2011), Pinzón *et al.*,(2007), Shiomi *et al.*,(1996a), Menéndez-Aguirre *et al.*,(2006) en maracuyá, pero estuvieron de acuerdo con los de Kishore *et al.*, (2011) en frutos cultivados en la India, Diaz *et al.*,(2011) en Colombia, Sáenz *et al.*,(1998) en frutos de gulupa cultivados en Chile, Brito *et al.*, (2005) en frutos de maracuyá de Brasil y fueron mayores a los descritos por Schotsmans *et al.*, (2008). Los valores finales de ATT de los frutos de las tres localidades fueron menores que los reportados por Diaz *et al.*, (2011), estuvieron de acuerdo con los de Aular y Rodríguez, (2003) para maracuyá y fueron superiores a los de Jiménez *et al.*, (2011), Kishore *et al.*, (2011), Schotsmans *et al.*, (2008), Shiomi *et al.* (1996a) y Brito *et al.*, (2005).

De acuerdo a las determinaciones de los principales azúcares de la pulpa de la gulupa, se puede considerar que la tendencia mostrada en las tres localidades para los monosacáridos fructosa y glucosa, concordó parcialmente con lo encontrado por Shiomi *et al.*, (1996b), quienes también reportaron que a medida que avanza la maduración, éstos azúcares se acumulan de forma inversamente proporcional a la sacarosa, debido a la conversión catalizada por la enzima invertasa. Los resultados del presente estudio, no encontraron dicha proporcionalidad entre el contenido de los dos monosacáridos y el contenido de la sacarosa, sino una tendencia que no presentó diferencias significativas entre los estados, indicando que la sacarosa permanece relativamente estable durante la maduración, lo cual podría ser asociado con la translocación permanente de éste azúcar desde las hojas hacia los frutos (Kays, 1991). Aunque no se encontró una relación inversamente proporcional en el contenido de sacarosa entre los estados, si se observó que los azúcares presentan diferencias significativas entre las localidades, por lo que los frutos cultivados en Chía mostraron los valores más bajos de sacarosa, pero a su vez los más altos de glucosa y fructosa; mientras que Tena tuvo el comportamiento inverso. Estas diferencias pueden ser explicadas por la interacción significativa que presentaron las localidades y los estados sobre el contenido de los azúcares, demostrando que el factor genético y los factores ambientales afectan la proporción de los azúcares en el fruto de gulupa. De ese modo, se podría sugerir que la mayor temperatura ambiental de Tena, podría explicar el alto contenido de sacarosa, pues se ha encontrado que la calidad de los frutos de gulupa puede variar entre zonas productoras de acuerdo a su temperatura (Utsonomiya, 1992). A su vez, Sáenz *et al.*,(1998), encontraron que los SST (compuestos principalmente por sacarosa) se incrementaron durante el verano; es decir, cuando aumentó la temperatura. Adicionalmente, Kempler *et al.*,(1992) reportaron que las diferencias en la calidad de los frutos de kiwi y de otras plantas trepadoras pueden ser debidas a la temperatura del ambiente durante el periodo de crecimiento. No obstante, el alto contenido de sacarosa en Tena, también podría relacionarse con su translocación desde las hojas.

Se considera que los ácidos orgánicos demuestran actividad metabólica y que además son productos intermediarios resultantes de la formación o degradación de otros compuestos (Nergiz y Ergonul, 2009). A medida que transcurre el proceso de maduración, el contenido de los ácidos orgánicos desciende debido a que son utilizados como sustrato en el proceso de la respiración para la obtención de energía necesaria durante la maduración (Sammi y Masud, 2007). Sin embargo, en los resultados obtenidos no se observó dicha tendencia; de hecho, la ATT se mantuvo estable entre los estados y el contenido específico de ácido cítrico mostró leves disminuciones al final de la maduración especialmente en Granada y Chía, en tanto que el ácido málico (el segundo más abundante) aumentó notablemente con la maduración. El contenido de ácido cítrico fue 10 veces mayor que los demás ácidos, concordando con lo reportado por Shiomi *et al.*, (1996b) y Diaz *et al.*, (2011).

Se encontraron diferencias significativas entre las localidades y entre los estados de madurez para todos los ácidos analizados, demostrando que su contenido en los frutos está relacionado con el ambiente y su genotipo.

En general, los frutos de Chía tuvieron los mayores contenidos para todos los ácidos (excepto málico), debido probablemente al efecto que tiene la temperatura sobre la respiración, puesto que a menores temperaturas éste proceso fisiológico se hace más lento (Azcón-Bieto y Talón, 2001).

Con respecto a las proteínas, se ha reportado que incrementan debido al aumento de las enzimas requeridas en la maduración (Frenkel *et al.*, 1968); sin embargo, Pruthi (1963) reportó que el contenido de proteína decrece en las pasifloras con la maduración. Del mismo modo, Aponte y Guadarrama (2003) encontraron cambios tanto en la concentración como en el perfil proteico durante la maduración de frutos de maracuyá, lo cual señala que la síntesis de nuevas proteínas y/o catálisis de proteínas preexistentes es activa y diferencial en cada estado de madurez. En los frutos de gulupa analizados, se observó una lenta disminución, con diferencias estadísticas entre los estados y entre las localidades, concordando con Pruthi (1963) y Aponte y Guadarrama (2003). Nuevamente, el contenido es explicado por la interacción del genotipo con el ambiente, indicando que las condiciones de Tena generaron un efecto positivo que se reflejó en mayores contenidos de éste metabolito.

Finalmente, los resultados de las determinaciones en frutos recién cosechados indican que el punto óptimo de cosecha en planta, desde el punto de vista del contenido de proteínas, azúcares, y ácidos se puede realizar desde el estado 70% de coloración púrpura, que corresponde a frutos de edad de 111-115 DDA en Tena y Granada y 121-125 DDA en Chía; ya que antes se corre el riesgo de obtener frutos que no alcanzan a desarrollar todas sus propiedades organolépticas.

3.5.2 Seguimiento poscosecha ensayos 1 y 2

- Respiración y producción de etileno

Los resultados del presente estudio evidenciaron que la gulupa es una fruta climatérica, que exhibe un pico respiratorio, que precede a la fase de alta producción de etileno durante la poscosecha, coincidiendo con lo reportado por Biale y Young (1981), Akamine *et al.*, (1957), Sjaifullah y Lizada (1985), Shiomi *et al.*, (1996a). Ésta tendencia fue la misma en todas las localidades y en todos los estados; sin embargo, las proporciones de los picos de producción de CO₂ y etileno, así como los momentos en que ocurrieron variaron.

De acuerdo a McMurchie *et al.*, (1972) y Alexander y Grierson (2002), los frutos climatéricos pueden presentar 2 sistemas de biosíntesis de etileno. El primero se

caracteriza por una baja producción de la hormona durante el periodo pre-climatérico, y el segundo, conocido como síntesis autocatalítica, hace referencia a una producción masiva de la hormona que es estimulada por las concentraciones de etileno alcanzadas durante el periodo pre-climatérico. Los resultados obtenidos en el ensayo 1 y en el ensayo 2 (Chía), sugieren que los dos sistemas de biosíntesis de etileno tienen lugar durante la poscosecha de los frutos de gulupa. La producción de etileno entre el 8 y 11DDC podría relacionarse con el sistema 1, ya que ocurre antes del pico climatérico, en tanto que el incremento observado desde el 12DDC obedece al inicio de la síntesis autocatalítica.

Algunos autores señalan que cuando el pico de respiración precede al del etileno, la hormona no es la responsable del incremento respiratorio (Saltveit, 1999); mientras que otros, sugieren que el pico respiratorio se puede dar unos días después del inicio de la producción de etileno, debido a que la hormona genera la señal para el aumento respiratorio y con esto catalizaría el proceso de maduración (Kader, 1994). En gulupa, a pesar que el pico climatérico ocurrió antes del aumento en la producción de etileno, se observó que durante los primeros días de poscosecha, se generaron pequeñas cantidades de la hormona, las cuales pudieron ser la señal para el incremento de la respiración y de la posterior autocatalisis observada, indicando que el etileno estaría implicado en el aumento de la respiración.

Teniendo en cuenta la clasificación de especies hortícolas de acuerdo a la producción de etileno, los frutos de las tres localidades del presente estudio se catalogan como frutos con *Muy alta* producción de etileno, debido a que producen más de $100\mu\text{LC}_2\text{H}_4/\text{kg}\cdot\text{h}$ según lo expuesto por Hernández *et al.*,(2010).

La producción de etileno y la respiración fue mayor con la maduración; es decir, las tasas más altas las presentaron los frutos en estado 100% seguido de los de 70%, concordando con lo encontrado por Shiomi *et al* (1996a) para frutos cultivados en Kenia y con lo reportado para maracuyá por Menéndez-Aguirre, (2006).

Los valores de producción de CO_2 de frutos cosechados en madurez fisiológica (ensayo 1), coinciden con los encontrados por Shiomi *et al.*,(1996), mientras que la actividad respiratoria de frutos que ya habían iniciado su madurez al momento de ser cosechados (ensayo 2), fue mucho más alta, concordando con las reportadas para otros frutos tropicales como la guayaba (Solarte *et al.*,2010). La máxima producción de etileno en frutos del ensayo 1 y 2, no mostró grandes diferencias entre sí, aunque fue menor a la reportada por Sierra *et al.*, (2011) y Shiomi *et al.*,(1996b) (en frutos maduros) y superior a la de Diaz *et al.*,(2011) para frutos cultivados en Boyacá, Colombia. Las diferencias entre los estudios, podrían obedecer a la influencia de varios factores, como el estado de madurez, el ambiente e incluso a la metodología.

El incremento observado en la actividad respiratoria en los frutos durante el primer día de medición, pudo ser debido al estrés que éstos experimentan al ser desprendidos de la planta (Bower *et al.*,2002; Hernández *et al.*,2010).

- Calidad

Durante la poscosecha de frutos colectados en madurez fisiológica (ensayo 1) y en frutos que ya habían iniciado el proceso de maduración (ensayo 2), se encontraron las mismas tendencias en SST, ATT e índice de madurez. Los SST y la acidez disminuyeron debido al incremento de la respiración, dado que éstos compuestos son utilizados en la glicólisis y en el ciclo de los ácidos tricarbónicos (Jiménez *et al.*, 2011; Kays y Paull, 2004; Shiomi *et al.*,1996a). A su vez, el pH mostró incrementos (más claros en el ensayo 2) producto de la disminución de la acidez. Tales incrementos no ocurrieron en la misma proporción en que disminuyeron los ácidos, por lo que podría sugerirse que un efecto amortiguador tiene lugar en el jugo de gulupa, el cual está dado por la formación de sales provenientes del ácido cítrico y ascórbico como ocurre en maracuyá, según lo descrito por Menéndez-Aguirre *et al.*, (2006).

Adicionalmente, los cambios observados en SST y ATT (por ende en el índice de madurez), coincidieron con los picos de respiración y/o producción de etileno en los dos ensayos, reflejando la relación existente entre la respiración y la producción de etileno con los cambios en la calidad del fruto, especialmente los asociados al sabor.

El comportamiento poscosecha de SST en Chía, mostró que cosechar los frutos de diferentes estados de madurez representa ciertas diferencias en el valor final de °Brix, puesto que en los frutos más maduros (70 y 100%) los azúcares disminuyeron, mientras que los menos maduros (30 y 50%) inicialmente aumentaron y luego permanecieron constantes. Sin embargo, la acidez de 70 y 100% disminuyó drásticamente (debido a la mayor actividad respiratoria) comparada con la disminución que también experimentaron los frutos menos maduros, lo cual se vio reflejado en el índice de madurez, que al final fue más alto en los frutos de 70 y 100%. Lo anterior, indica que aunque en la poscosecha los frutos cosechados tempranamente puedan seguir acumulando azúcares, su acidez no disminuye lo suficiente, para incrementar su índice de madurez.

Con base en lo anterior y en los resultados de calidad del seguimiento precosecha, se puede afirmar que durante la maduración el incremento en el índice de madurez obedece a causas distintas, es decir, cuando los frutos maduran unidos a la planta, la relación SST/ATT es favorecida por aumento en los SST que son translocados continuamente desde las hojas, mientras que el aumento en el índice de madurez en frutos que maduraron separados de la planta obedece a la drástica disminución de la acidez y no al aumento de SST, puesto que éstos compuestos también disminuyen.

Cabe destacar, que la calidad de la pulpa de frutos de gulupa puede ser mejorada durante la poscosecha, gracias a la disminución de la acidez, concordando con lo encontrado por Shiomi *et al.*, (1996a) y Goldenberg *et al.*, (2012).

Los estados de madurez de Granada, mostraron diferencias en los valores finales de las variables de calidad durante la maduración, indicando que existen diferencias entre los estados luego de 33 días de almacenamiento a temperatura ambiente (20°C). Adicionalmente, el estado de 70% llama la atención, porque hacia el 21DDC mostró un aumento drástico en los SST que coincidió con una disminución en la firmeza del exocarpo. Éstos eventos podrían guardar una relación, pues se ha reportado que un mayor ablandamiento (pérdida de firmeza) puede incidir en el aumento de SST debido a la degradación de la pared celular por parte de las enzimas α -amilasa y poligacturonasa (Menéndez-Aguirre *et al.*, 2006).

Los tres componentes del color (L^*C^*h) disminuyeron paulatinamente a medida que avanzó la maduración, hasta permanecer casi constantes (Ensayo 1 y Granada ensayo 2). La luminosidad disminuyó por el oscurecimiento que sufre el fruto a medida que madura, además de presentar otros eventos reportados en la literatura como la oxidación de aminoácidos y degradación de pigmentos (Sistrunk y Cash, 1974). El ángulo hue (h) que indica la tonalidad del color, mostró el cambio de verde a púrpura debido al desenmascaramiento de antocianinas.

Los frutos de los estados 30, 50 y 70% de Granada, lograron durante el periodo poscosecha desarrollar el color púrpura característico de la gulupa, con valores muy cercanos a los reportados por Jiménez *et al.*, (2011) en frutos completamente maduros; en cambio, los frutos de Chía y los de Tena y Granada colectados en madurez fisiológica (ensayo 1) no desarrollaron de forma uniforme la coloración púrpura. En general, los mayores cambios ocurrieron de forma simultánea al aumento de la síntesis de etileno.

A pesar de que los cambios en las coordenadas de color coincidieron con el aumento en la síntesis de etileno en las tres localidades, no se puede asegurar que exista una relación directa entre la hormona y la síntesis de pigmentos (antocianinas) en el exocarpo, pues como ya se mencionó, frutos que produjeron altas cantidades de etileno no mostraron una coloración púrpura homogénea, concordando con lo reportado por Shiomi *et al.*, (1996b). Por lo anterior, no se recomienda cosechar frutos en estado de madurez fisiológica, porque no se puede garantizar un adecuado desarrollo del color que este acorde con los requerimientos del mercado.

Durante la maduración, la mayoría de los frutos presenta ablandamiento que se relaciona con la pérdida de peso, debida a un decrecimiento de la presión de turgencia en la pared celular, como resultado de la pérdida de agua (Sierra *et al.*,

2011). En el caso de la gulupa, durante la precosecha la firmeza permanece constante sin diferencias significativas entre los estados de madurez (Jiménez *et al* 2011), pero durante el inicio de poscosecha se observaron aumentos en los frutos de todos los estados de Chía y Granada, que contrastan con lo encontrado por Sierra *et al.*, (2011) y Schotsmans *et al.*, (2008) cuyos valores fueron menores a los presentados en éste estudio, y quienes además exponen, que aumentos en la firmeza del pericarpo se asocian a una mayor pérdida de agua, lo cual no fue observado en los frutos de utilizados en la presente investigación. No obstante, la deshidratación de los frutos (en especial del pericarpo) y el posterior arrugamiento fue más evidente en los frutos de Chía.

Contrario a la firmeza, la pérdida de peso fue mayor en Chía con respecto a Granada. Los frutos de Chía permanecieron en buenas condiciones solo 19 días luego de ser cosechados, mientras que los de Granada 33 y los de Tena 24. La diferencia en la vida útil de los frutos pudo ser debida a la menor firmeza, alta actividad respiratoria, mayor transpiración (observada por la pérdida de agua) y mayor relación área/volumen de los frutos de Chía, pues éstos fueron más pequeños que los de Granada y Tena (Ver capítulo 2), fenómeno reportado también por Shiomi *et al.*,(1996a). Además de disminuir la vida útil de los frutos de Chía, la pérdida de firmeza del exocarpo es considerada como una desventaja para el transporte y distribución de los frutos, incrementando las pérdidas al productor (Bouzayen *et al.*, 2010).

4. Conclusiones

4.1 Fenología y crecimiento del fruto

- Las plantas de Granada de ambos ciclos, tardaron menos tiempo después de la siembra en alcanzar el estado reproductivo, que las de Tena y Chía, reflejando un efecto ambiental sobre etapas previas (periodo vegetativo) al inicio del ciclo reproductivo.
- Teniendo en cuenta el comportamiento de las variables climáticas, se pudo establecer que el inicio y el pico de la floración ocurrieron en épocas de baja precipitación, indicando que el régimen de lluvias puede influir en la fenología reproductiva de la gulupa.
- Al comparar entre los dos años de seguimiento, los eventos fenológicos tuvieron menor duración en el año 2011 con respecto al 2010, debido probablemente al incremento de las lluvias y de la humedad relativa durante ese año, lo que ocasionó mayor incidencia de problemas fitosanitarios como fusariosis, bacteriosis y virosis. Sin embargo, la duración del estado fenológico 51 fue la misma para las plantas de ambos ciclos (4 meses), indicando que la duración de éste estado no se alteró a causa de la temporada de lluvias, aunque si lo hizo el momento del año en el que ocurrió, ya que en las plantas del ciclo II se retrasó con respecto a las del ciclo I.
- Existen diferencias en la duración de los estados fenológicos entre las localidades. El tiempo transcurrido entre la formación de yemas florales y la floración fue de 30 días para Tena y 60 días para Chía y Granada, relacionado probablemente con la mayor temperatura y menor altitud de Tena.
- Los abortos de estructuras reproductivas (yemas, flores y frutos) se incrementaron con el aumento de la precipitación y de la humedad relativa.
- Se recomienda como punto óptimo de cosecha para la localidad de Tena el estado de 70%, que bajo las condiciones del cultivo se dan en los meses de agosto, septiembre y octubre (siempre y cuando la floración se inicie en junio). El desarrollo, crecimiento y maduración del fruto desde yemas florales hasta frutos en estados de 70 y 100% tarda entre 145 y 150 días.
- Para la localidad de Granada se recomienda como punto óptimo de cosecha frutos en estado de 70%, que bajo las condiciones del cultivo se encontraron de febrero a abril en el 2010 y de abril a junio en el 2011. El

desarrollo, crecimiento y maduración del fruto desde yemas florales hasta frutos en estado de 100% tarda entre 200 y 210 días.

- El punto óptimo de cosecha recomendado para la localidad de Chía es el estado de 70% que bajo las condiciones del cultivo se encontraron de junio a diciembre. El desarrollo, crecimiento y maduración del fruto desde yemas florales hasta frutos en estado de 100% tarda entre 205 y 215 días.
- La producción de fruta en Tena y Granada es asincrónica, lo que favorece una oferta permanente durante gran parte del año.
- Granada podría suplir la demanda durante el período comprendido entre febrero y julio, en tanto que Tena de mayo a noviembre.
- La producción fue ligeramente mayor en Tena que en Granada; en tanto que la producción en Chía fue la más baja de las tres localidades.
- El patrón de crecimiento de la gulupa es de tipo sigmoide simple con tres fases, las cuales pueden variar ligeramente según las condiciones ambientales, siendo las más relevantes humedad relativa y precipitación. Los modelos logísticos mostraron un buen ajuste para describir al crecimiento de los frutos bajo las condiciones específicas de Tena, Granada y Chía. Estos modelos pueden ser usados como herramientas para predecir el tiempo en el cual los frutos alcanzan un tamaño específico, sirviendo de ayuda para mejorar el mercado de la fruta.

4.2 Maduración y calidad del fruto

- Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que el punto óptimo de cosecha de frutos crecidos bajo condiciones de Tena, Granada y Chía, en los cuales se observan la mejor expresión de los metabolitos evaluados y de las características fisicoquímicas y fisiológicas, es el estado 70% de coloración púrpura; es decir, frutos de edad de 111-115 DDA en Tena y Granada y 121-125 DDA en Chía; no obstante, de acuerdo a la utilización del producto, es decir, de acuerdo a la demanda (nacional o internacional) que se pretenda suplir, no se descarta cosechar frutos en estado 50% coloración púrpura.
- Debido a la variación presentada entre estados, se podría sugerir al índice de madurez (SST/ATT) como un buen indicador de cosecha para las gulupas cultivadas en Tena, Chía y Granada, siendo los estados de mayor madurez (70 y 100%) los de mayor relación entre SST y ATT.

- El pico climatérico precedió al pico de producción de etileno en frutos de gulupa colectados en Tena, Granada y Chía.
- La producción de CO₂ y etileno aumenta con el estado de madurez, tanto en frutos que maduraron unidos a la planta como en frutos que maduraron separados de la planta.
- No se recomienda cosechar frutos en estado de madurez fisiológica, porque no se puede garantizar un adecuado desarrollo del color, acorde con los requerimientos del mercado.
- Las variables de calidad del fruto ATT y SST parecen ser influenciadas durante la maduración por el etileno.
- El desarrollo del color púrpura en el exocarpo parece no ser influenciado por el etileno, pero faltaría mayor evidencia para respaldar ésta afirmación.

ANEXOS

Anexo A: Valores promedio mensuales de precipitación (mm) históricos en los sitios de estudio

MES	Tena (1991-2009)	Chía (1996-2009)	Granada (1984-1998)
Enero	45	41	111
Febrero	55	53	70
Marzo	82	66	135
Abril	106	92	165
Mayo	85	98	142
Junio	45	59	103
Julio	37	65	79
Agosto	35	49	73
Septiembre	64	68	136
Octubre	108	107	223
Noviembre	90	98	204
Diciembre	71	47	134

Fuente: IDEAM Sistema nacional de información ambiental. Datos recopilados en las estaciones Acapulco, Guanata e Hidroparaíso.

Anexo B: Fruto de gulupa afectado por virosis en el cultivo de Tena cilo II**Anexo C: Especificaciones del equipo HPLC Waters**

Columna ROA-Organic Acid H+ Dimensiones 300 x 7.8 mm

Tamaño de partícula: 8µm

Resina de forma iónica: Hidrógeno

Soporte: Copolímero de divinilbenceno-estireno sulfonatado

Presión Máxima: 600 psi

Temperatura máxima: 85°C

pH: 1-3

Fase móvil: H₂SO₄ 5mM

Flujo 0.5 mL/min Temperatura de horno 35°C

Anexo D: Desarrollo incompleto de color en frutos colctados en madurez fisiológica

Fruto de gulupa cosechado en madurez fisiológica en Granada usado en ensayo re respiración y etileno DDC=24. Se aprecia el desarrollo incompleto de la coloración púrpura.

Anexo E: Frutos de gulupa cultivados en Granada



Frutos de gulupa de Granada usados en ensayo de respiración y producción de etileno DDC=0



Frutos de gulupa de Granada usados en ensayo re respiración y etileno DDC=33. Se aprecia la homogeneidad de color entre los estados.

Anexo F: Frutos provenientes de Chía

Frutos de gulupa de Chía usados en ensayo re respiración y etileno DDC=19. Se aprecia las diferencias de color entre los estados.

Bibliografía

- AGRONET, 2011. Volúmenes exportados en gulupa entre 1991 y 2011. En: <http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/ReportesAjax/VerReporte.aspx>. Fecha de consulta: Noviembre de 2011.
- AGUILAR LA., MENDOZA LM., MENA CH. 2003. Comportamiento del guayabo en la Región oriente de Michoacan. En: Padilla RJ., Reyes ML., González EG., Perales MA. (Eds). Memorias I Simposio Internacional de la Guayaba. Aguascalientes, México. Diciembre de 2003. pp 124-146.
- AGUSTI M., ZARAGOSA S., BLEIHOLDER L., BUHR H., HACK H., KLOSE R., STRAUSS R. 1995. Escala BBCH para la descripción de los estadios fenológicos del desarrollo de los agrios (Gén. Citrus). Levante Agrícola. 3:189-199.
- AHAS R., AASA A., MENZEL A., FEDOTOVA VG., SCHEIFINGER H. 2002. Changes in European Spring phenology. International Journal of Climatology. 22:1727-1738.
- AKAMINE, E.K., G. GIROLAMI. 1959. Pollinization and fruit set in yellow passion fruit. Tech Bull. Hawaii Agricultural Experiment Station, pp 44.
- AKAMINE EK., YOUNG RE., BIALE JB. 1957. Respiration and ethylene production in the purple passion fruit. Proc. Am. Sot. Hortic. Sci. 69:221-225.
- ALEXANDER L., GRIERSON D. 2002. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. Journal of Experimental Botany. 53:2039–2055.
- ALLEN RG., PEREIRA LS., 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. pp. 1-265.
- ANDREWS J. 1995. The climateric respiration rise in attached and detached tomato fruit. Postharvest biology and Technology. 6: 287-292.
- ANGEL-COCA C., NATES G., OSPINA R., MELO CD. 2011. Biología floral y reproductiva de la gulupa *Passiflora edulis* Sims. Caldasia, 33(2): 413-431.
- ANGULO R. 2010. Gulupa, la fruta de la pasión. Periódico El Agro Ciencia y Tecnología para el campo, 11:12-13. Consultado en línea enero 2012. Disponible en: http://issuu.com/el_agro/docs/el_agro_edici_n_11?mode=a_p
- APONTE L., GUADARRAMA A. 2003. Obtención de patrones de proteínas durante la maduración de frutos de parchita maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener). Revista Facultad de Agronomía Maracay. 29:221-232.
- ARCILA PJ., BUHR L., BLEIHOLDER H., HACK H., MIER U., WICKE H. 2002. Application of the “extended BBCH - Scale” for the description of the growth stages of coffee (Coffeasp). Annals Applied Biology. 141:19–27.
- ARJONA HE., MATTA EB. 1991. Postharvest quality of passion fruit as influenced by harvest time and ethylene treatment. HortScience. 26: 1297-1298.

- ATTIBAYÉBA E., SÉRINA J, CERELYDIANGA N., FRANCOIS MY. 2010. Description of different growth stages of *Sesamum indicum* L. using the extend BBCH scale. Pakistan Journal of Nutrition, 9(3): 235-239.
- AUGSPURGER CK. 1990. Una señal para la floración sincrónica. Ecología de un bosque tropical, ciclos estacionales y cambios a largo plazo. Smithsonian Institution. p. 201-218.
- AULAR J., RODRIGUEZ Y. 2003. Algunas características físicas y químicas del fruto de cuatro especies de *Passiflora*. Bioagro, 15(1): 41-46.
- AZCÓN-BIETO J., TALÓN M. 2001. Fundamentos de Fisiología vegetal. McGrawHill. Barcelona. pp. 430-433.
- BADECK F., BONDEAU A., BÖTTCHER K., DOKTOR D., LUCHT W., SCHABER J., SITCH S. 2004. Responses of spring phenology to climate change. New Phytologist. 162:295-309.
- BARRERA, J., M.S. HERNANDEZ, L.M. MELGAREJO, O MARTINEZ, J.P. FERNANDEZ-TRUJILLO. 2008. Physiological behavior and quality traits during fruit growth and ripening of four Amazonic hot pepper accessions. Journal of the science of food and agriculture. 88:847-857.
- BRADFORD MM. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of micrograms quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. Analytical Biochemistry. 72:248-254.
- BAUTISTA D., SALAS A. 1995. Crecimiento vegetativo, reproductivo y rendimientos de la parchita conducida en emparrado. Agronomía Tropical 45(3) 331-345.
- BIALE JB., YOUNG RE. 1981. Respiration and ripening in fruits - retrospect and prospect. In: J. Friend and M.J.C. Rhodes (Editors), Recent Advances in the Biochemistry of Fruits and Vegetables. Academic Press, London, pp. 1-39.
- BLEIHOLDER H., VAN DEN BOOM T., LANGELUDDEKE P., STAUSS R. 1989. Einheitliche codierung der phanologischen Stadien bei Kultur- und Schadpflanz. Gesunde Pflanzen. 41: 381-384. Citado en Finn, G. A., Straszewski A E., Peterson V. (2007). A General growth stage key for describing trees and woody plants. Annals of Applied Biology. 151:127-131.
- BONHOMME R., DERIEUX M., EDMEADES GO. 1994. Flowering of diverse maize cultivars in relation to temperature and photoperiod in multi-location field trials. Crop Science. 34:156-164.
- BORCHERT, R. 1994. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. Ecology 75:1437-1449.
- BOUZAUEN M., LATCHÉ A., NATH P., PECH JC. 2010. Mechanism of Fruit Ripening, Plant Developmental Biology. Biotechnological Perspectives Vol. 1, pp 1-27.
- BOWER J., HOLFORD J., LATCHÉ A., PECH JC. 2002. Culture conditions and detachment of the fruit influence the effect of ethylene on the climacteric respiration of melon. Postharvest biology and technology. 26:135-146.
- BRITO B., MELO ASDE., PINHO J., LUSTOSA O., ROCHA B., ROBERTO P., VIÉGAS A. 2005. Rendimento e qualidade da fruta do maracujazeiro-amarelo adubado com potássio, esterco de frango e de ovino. Revista Brasileira Fruticultura. 2: 260-263.
- BUSSAY A., SZINELL C., 1996. Simple model for estimating the yield of potato. En: Proceedings of the International Symposium on Applied Agrometeorology and Agroclimatology. Grecia, p. 383-388.
- CAUTIN R., AUSGUTI M. 2005. Phenological growth stages of the cherimoya tree (*Annona cherimola* Mill.). Scientia Horticulturae. 105: 491-497.

- CARA B., GIOVANNONI JJ. 2008. Molecular biology of ethylene during tomato fruit development and maturation. *Plant Science*. 175:106-113.
- CARVALHO DA SILVA A., SILVA AC., CARTAXO DE LUCENA C., DA SILVA VASCONCELLOS A., NEI BRIANÇON BUSQUET R. 2004. Avaliação das fenofases em espécies do gênero passiflora. *Agronomia*. 38(2):69-74.
- CASIERRA-POSADA F., CARDOZO MC., CÁRDENAS-HERNÁNDEZ JF. 2007. Análisis del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. *Agronomía Colombiana*. 25 (2): 299-305.
- CHAN HT., KWOK S. 1975. Identification and determination of sugars in some tropical fruit products. *Journal of Food Science*. 40(2): 419-420.
- CHIMIELEWSKI FM., MÜLLER A., BRUNS E. 2004. Climate changes and trends in phenology of fruits trees and field crops in Germany, 1961-2000. *Agricultural and Forest Meteorology*. 121:69-78
- CHINNICI F., SINABELLI U., RIPONI C., AMATI A. 2005. Optimization of the determination of organic acids and sugars in fruit juices by ion-exclusion liquid chromatography. *Journal of Food Composition Analysis*. 18:121-130.
- CIFUENTES L., MORENO F., ARANGO DA. 2010. Reproductive phenology and fruit productivity of *Oenocarpus bataua* (Mart.) in flooded forests in the Chocó Biogeographic region, Colombia. *Biota Neotropical*. 10(4).
- COLETO J. 1994. Crecimiento y desarrollo de las especies frutales. 2da edición. Ediciones Mundi-Prensa Madrid, España. 167pp.
- CRAUFURD PQ., QI A., SUMMERFIELD RJ., ELLIS RH., ROBERTS EH. 1996. Development in cowpea (*Vigna unguiculata*): III. Effects of temperature and photoperiod on time to flowering in photoperiod-sensitive genotypes and screening for photothermal responses. *Experimental Agriculture*. 32:29-40.
- DAHLGREEN JP., VON ZELPEL H., EHRLÉN J. 2007. Variation in vegetative and flowering phenology in a forest herb caused by environmental heterogeneity. *American Journal of Botany*. 94:1570-1576.
- DIAZ RO., MORENO L., PINILLA R., MELGAREJO LM., MARTÍNEZ O, HERNÁNDEZ S., FERNÁNDEZ-TRUJILLO JP. 2011. Postharvest behavior of purple passion fruit in Xtend® bags during low temperature storage. Aceptado en prensa. *Acta Horticulturae*.
- DALEZIOS N., LOUKAS A., BAMPZELIS D. 2002. The role of agrometeorological and agrohydrological indices in the phenology of wheat in central Greece. *Physics and Chemistry of the Earth*. 27:1019-1023.
- DINIZ F., PEREIRA T., MARQUES M., MONTEIRO A. 2007. Volatile and non-volatile chemical composition of the white guava fruit (*Psidium guajava*) at different stages of maturity. *Food Chemistry*. 100:15–21.
- FINN GA., STRASZEWSKI AE., PETERSON V. 2007. A General growth stage key for describing trees and woody plants. *Annals of Applied Biology*, 151:127-131. doi:10.1111/j.1744-7348.2007.00159.x
- 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.). 2009. Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá.
- FISCHER G. 2010. Condiciones ambientales que afectan el crecimiento, desarrollo y calidad de las pasifloráceas. Memorias Primer Congreso Latinoamericano de

- Passiflora. Nieva, Huila. Corporación Centro de Investigación para la gestión Tecnológica de Passiflora del Departamento del Huila. pp 120.
- FISCHER, G. 2000. Efecto de las condiciones en precosecha sobre la calidad poscosecha de los frutos. *Revista Comalfi* 27(1-2):39-50.
- FLOREZ LM., PEREZ LV., MELGAREJO LM. 2012a. Manual calendario fenológico y fisiológico del crecimiento y desarrollo del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) de tres localidades del departamento de Cundinamarca. En Melgarejo LM (Eds). 2012. *Ecofisiología del cultivo de gulupa (Passiflora edulis Sims)*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. pp144.
- FLÓREZ LM., PÉREZ LV., MELGAREJO LM, HERNÁNDEZ MS. 2012b. Caracterización fisicoquímica, fisiología y bioquímica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) como indicadores para el punto óptimo de cosecha. Capítulo 3, pp 53-79. En Melgarejo LM (Eds). *Ecofisiología de gulupa*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. pp 144.
- FOSTER, RB. 1990. Ciclo estacional de caída de frutos en la isla de Barro Colorado. *Ecología de un bosque tropical, ciclos estacionales y cambios a largo plazo*. Smithsonian Institution. pp. 219-233.
- FRANKIE GW., BAKER HG., OPLER PA. 1974. Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. *Forests in the lowlands of Costa Rica. Journal of Ecology*. 62:881-913.
- FRENKEL C., KELIN I., DILLEY DR. 1968. Protein synthesis in relation to ripening of pome fruits. *Plant Physiology* 43, 1146-1153.
- GACHANJA, S.P. & A.M. GURHAM. 1981. Flowering and fruiting purple passion fruit at Thika. *East African Agricultural and Forestry Journal*. 44(1): 47-51.
- GARRIZ PI., ALVAREZ HI., COLAVITA GM. 2005. Growth pattern of 'AbbéFétel' pear fruits. *Acta Horticulturae*. 674:321-327.
- GENTRY AH. 1974. Flowering phenology and diversity in tropical Bignoniaceae. *Biotropica* 6:64-8
- GILLAPSY G., BEN-DAVID H., GRUISSEM W. 1993. Fruits: a developmental perspective. *Plant Cell* 5: 1439-1451.
- GIOVANNONI JJ. 2001. Molecular biology of fruit maturation and ripening. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 52:725-749.
- GIOVANNONI JJ. 2004. Genetic regulation of fruit development and ripening. *Plant Cell*. 16:170-180.
- GIOVANNONI JJ. 2007. Fruit ripening mutants yield insights into ripening control. *Current Opinion in Plant Biology*.10:283-289.
- GODOY, C., MONTERUBBIANESI, G., TOGNETTI, J. 2008. Analysis of highbush blueberry (*Vacciniumcorymbosum* L.) fruit growth with exponential mixed models. *Scientia Horticulturae*. 115(4):368-376.
- GOLDENBERG L., FEYGENBERG O., SAMACH A., PESIS E. 2012. Ripening attributes of new passion fruit line featuring seasonal non-climateric behavior. *Journal of Agricultural and food chemistry*. 60:1810-1821.
- GRANGE R. 1993. Crecimiento del fruto. En: Azcon-Bieto J y Talon M (Eds). *Fisiología y bioquímica vegetal*. McGraw-Hill Interamericana, Bogotá, pp 462.
- GUERRERO-LÓPEZ E., HOYOS-CARVAJAL L. 2011. Buenas prácticas agrícolas (BPA) con énfasis en el manejo integrado de plagas y enfermedades de gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). Universidad Nacional de Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Fondo Nacional de Fomento Hortifrutícola.

- HATFIELD JL., BOOTE KJ., KIMBALL BA., ZISKA LH., IZAURRALDE RC., ORT D., THOMSON AM., WOLFE D. 2011. Climate impacts on agriculture: Implications for crop production. *Agronomy Journal*. 103(2):350-370.
- HERNÁNDEZ A., BERNAL R. 2000. Lista de especies de Passifloraceae de Colombia. *Biota Colombiana*, 0003.
- HERNÁNDEZ MS., BARRERA J., MELGAREJO LM. 2010. Fisiología poscosecha. p.167-186. En Melgarejo LM (Eds). *Experimentos en fisiología vegetal*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 277pp.
- HUNT R. 2003. Growth analysis, individual plants. pp. 579-588. En: THOMAS B., MURPHY DJ., MURRAY D (Eds). *Encyclopedia of applied plant sciences*. Academic Press, Londres.
- ISHIHATA K. 1965. On the development of the fruit and behavior of flower organs in purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). Faculty of Agriculture, Kagoshima University.
- JIMÉNEZ AM., SIERRA CA., RODRÍGUEZ-PULIDO FJ., GONZÁLEZ-MIRET ML., HEREDIA FJ., OSORIO C. 2011. Physicochemical characterisation of gulupa (*Passiflora edulis* Sims. f. *edulis*) fruit from Colombia during the ripening. *Food Research International*. 44:1912-1918.
- JIMENEZ-NEIRA, Y. 2006. El cultivo de la Gulupa *Passiflora edulis* SIMS. Tesis (Especialización) en Horticultura con énfasis en Fruticultura. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Escuela de Posgrados. Bogotá.
- KADER AA. 1994. Postharvest technology of horticultural crops. Oakland: University of California. 296pp.
- KAPETANAKI G., TOULIOS L. 1996. Impacts of climate change in maize and wheat in Central Greece. A simulation study with Ceres-maize and ceres-wheat. En: *Proceedings of the International Symposium on Applied Agrometeorology and Agroclimatology*. Greece, p. 365-370.
- KAYS SJ. 1991. *Postharvest Physiology of Perishable Plant Products*. AVI, New York, NY, 532 pp.
- KAYS SJ., PAULL R. 2004. *Postharvest biology*. Exon Press, Athens, Georgia, EEUU. 568 pp.
- KEATINGE JDH., QI A., WHEELER TR., ELLIS RH., SUMMERFIELD RJ. 1998. Effects of temperature and photoperiod on phenology as a guide to the selection of annual legume cover and green manure crops for hillside farming systems. *Field Crops Research*. 57:139-152.
- KEMPLER CI., TOIVONEN PMA. 1992. Effect of environment and harvest date on maturation and ripening of kiwifruit in British Columbia. *Canadian Journal of Plant Science*, 869(452), 863-869.
- KISHORE K., PATHAK KA., SHUKLA R., BHARALI R. 2011. Effect of storage temperature on physico-chemical and sensory attributes of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Journal of Food Science and Technology*. 48 (4): 484-488.
- KRAMER K., LEINONEN I., LOUSTAU D. 2000. The importance of phenology for the evaluation of impact of climate change on growth of boreal, temperate and Mediterranean forests ecosystems: an overview. *International Journal of Biometeorology*. 44:67-75.
- LANCASHIRE, R. 2006. The chemistry of passion fruit. En: www.chem.uwimon.edu.jm/lecture/.
- LARCHER W. 2003. *Physiological plant ecology: Ecophysiology and stress physiology of functional group* (Ath Ed). Springer, Berlin.

- LEDERMAN IE., GAZIT S. 1993. Growth, development and maturation of the purple (*Passiflora edulis*, SIMS) the whole fruit. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 20(10):1195-1199.
- LELIEVRE JM., LATCHÉ A., JONES B., BOUZAYEN M., PECH JC. 1997. Ethylene and fruit ripening. Physiology Plant. 101:727-739.
- LESCOURRET F., HABIB R., GCNARD M., AGOSTINIB D., CHADOEUF J. 1998. Pollination and Fruit Growth Models for Studying the Management of Kiwifruit Orchards. I. Models Description. Science. 56(1): 67-89.
- MANICA I., RITZINGER R, KOLLER OC., RIBOLDI J., RAMOS RM., RODRIGUES AEC. 1985. Efecto de seis espaciamientos de plantío sobre la producción del tercer año del maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* f. flavicarpa Deg.) en Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. Fruits. 40:265-270.
- MANTOVANI M., RUSCHEL AR., SEDREZ DOS REIS M., PUCHALSKI A., NODARI RO. 2003. Fenología reproductiva de espécies arbóreas em uma formacao secundária da floresta atlântica. Revista Árvore, Vicosa-MG. 27(4):451-458.
- MATAS AJ., GAPPER NE., CHUNG MY., GIOVANNONI JJ., ROSE KC. 2009. Biology and genetic engineering of fruit maturation for enhanced quality and shelf-life. Current Opinion in Plant Biology. 20:197-203.
- McMURCHIE EJ., MCGLASSON WB., EAKS IL. 1972. Treatment of fruit with propylene gives information about the biogenesis of ethylene. Nature 237:235-236
- MEINKE H., KARNATZ A. 1990. Influence of air and soil temperatures on grafted and self-rooted *Passiflora* hybrids. Scientia Horticulturae. 43, 237-246.
- MELGAREJO LM., HERNÁNDEZ MS. 2011. Poscosecha de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, pp 58.
- MENENDEZ-AGUIRRE O., LOZANO S.E., ARENAS-OCAMPO M., BERMUDEZ-TORRES K., DEL VILLAR-MARTINEZ A., JIMENEZ-APARICIO A. 2006. Cambios en la actividad de α -amilasa, pectinmetilesterasa y poligalacturonasa durante la maduración del maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* var. Flavicarpa degener). Interciencia. 31(10):728-733.
- MENZEL CM., SIMPSON DR. 1994. Passion fruit. pp. 225-241. En: SCHAFFER B., ANDERSEN PC (Eds.). Handbook of environmental physiology of fruit crops. Vol. II: Subtropical and tropical crops. CRC Press, Boca Raton, FL.
- MENZEL CM., SIMPSON DR., DOWLING AJ. 1986. Water relations in passion fruit: effect of moisture stress on growth flowering and nutrient uptake. Scientia Horticulturae. 29:239-249.
- MENZEL CM., WINK CW., SIMPSON DR. 1989. Passion fruit in Queensland. 3. Orchard management. Queensland Agricultural Journal. 115:155-164.
- MIRANDA D., FISCHER G., CARRANZA C., MAGNITSKIY S., CASIERRA-POSADA F., PIEDRAHITA W., FLÓREZ LE (Eds). 2009. Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. Bogotá. pp 360.
- MIRSCHER W., WENKEL KO., SCHULTZ A., POMMERENING J., VERCH G. 2005. Dynamic phenological model for winter rye and winter barley. European Journal of Agronomy, 23(2), 123-135.
- MONASTERIO M., SARMIENTO G. 1976. Phenological strategies of plants species in the tropical savanna and semideciduous forest of Venezuelan Llanos. J. Biog. 3: 325-356.

- MORTON, J. 1987. Passion fruit: *Passiflora edulis* Sims. En: MORTON, J Y DOWLING, F. Fruits of warm climates. Miami: Creative Resources Systems. 320-328.
- MURFET IC. 1977. Environmental interaction and the genetics of flowering. *Annals Review Plant Physiology*. 28:253-78
- MUNGER P., BLEIHOLDER H., HACK H., HESS M., STAUSS R., VAN DEN BOOM T., WEBER E.1998a. Phenological growth stages of the Cotton plant (*Gossypium hirsutum* L.) codification and description according to the BBCH scale. *Journal of Agronomy Crop Science*. 180:143-149.
- MUNGER P., BLEIHOLDER H., HACK H., HESS M., STAUSS R., VAN DEN BOOM T., WEBER E.1998b. Phenological growth stages of the peanut plant (*Amchis hypogaea* L.) codification and description according to the BBCH Scale. *Journal of Agronomy Crop Science*.180: 101-107.
- MUNGER P., BLEIHOLDER H., HACK H., HESS M., STAUSS R., VAN DEN BOOM T., WEBER E.1997. Phenological Growth Stages of the Soybean Plant (*Glycine max* L. MERR.)Codification and description according to the BBCH scale. *Journal of Agronomy Crop Science*. 179:209-217.
- NAKASONE HY., PAULL RE. 1998. Tropical fruits. CAB International, Wallingford, UK.
- NATES-PARRA G., AMAYA M., ÁNGEL C., MEDINA J. 2012. Biología floral, reproductiva, polinización y polinizadores en gulupa (*Passiflora edulis* var. *Edulis*). Capítulo 6, pp 115. En Melgarejo LM (Eds). *Ecofisiología de gulupa*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, pp 144.
- NERGIZ C, P G ERGONUL. 2009. Organic acid content and composition of the olive fruits during ripening and its relationship with oil and sugar. 122:216-220.
- OCAMPO J., D'ECKENBRUGGE GC., RESTREPO M., JARVIS A., SALAZAR M., CAETANO C. 2007. Diversity of Colombian Passifloraceae: biography and an updated list for conservation. *Biota Colombiana* 8(1):1-45.
- O'LEARY G., CHRISTY B., WEEKS A., BEVERLY C., NUTTAL J., RIFFKIN P., FITZGERALD G., NORTON R. 2010. Modelling the growth and grain yield response of wheat crops under free air darbon dioxide enrichment at horsham and throughout Victoria, Australia. *Australian Agronomy Conference 15th AAC*.
- ORDUZ-RODRÍGUEZ JO., FISCHER G. 2007. Balance hídrico e influencia del estrés hídrico en la inducción y desarrollo floral de la mandarina 'Arrayana' en el piedemonte llanero de Colombia. *Agronomía Colombiana*. 25(2):255-263.
- ORJUELA-BAQUERO NM., CAMPOS SM., SÁNCHEZ J., MELGAREJO LM., HERNÁNDEZ MS. 2011a. Manual de manejo poscosecha de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). Capítulo 1, pp 7-22. En Melgarejo LM, Hernández MS (Eds). *Poscosecha de la gulupa Passiflora edulis* Sims. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 58pp.
- ORJUELA-BAQUERO NM., MORENO-CHACÓN L., HERNÁNDEZ MS., MELGAREJO LM. 2011b. Caracterización fisicoquímica de frutos de gulupa (*Passiflorae edulis* Sims) bajo condiciones de almacenamiento. Capítulo 3, pp 33-44. En Melgarejo LM, Hernández MS (Eds). *Poscosecha de la gulupa Passiflora edulis* Sims. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 58pp.
- PÉREZ LV., MELGAREJO LM. 2012. Caracterización ecofisiológica de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims) bajo tres condiciones ambientales en el departamento de Cundinamarca. En Melgarejo LM (Eds). 2012. *Ecofisiología del cultivo de gulupa (Passiflora edulis* Sims). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. pp144.
- PINZÓN I., FISCHER G., CORREDOR G. 2007. Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). *Agronomía Colombiana* 25:83-95.

- PROEXPORT COLOMBIA. 2010. Reporte de exportaciones de gulupa por departamentos.
- PRUTHI JS. 1963. Physiology, chemistry and technology of passion fruit. *Advance Food Research*. 12:203-282.
- RATHCKE B., LACEY E. 1985. Phenological patterns of terrestrial plants. *Annual Review of Ecology and systematics*. 16: 179-214.
- RIVERA B., MIRANDA D., ÁVILA LA., NIETOAM. 2008. Manejo integral del cultivo de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.). Ed. Litoas, Manizales, Colombia.
- SAENZ C., SEPULVEDA E., NAVARRETE A., RUSTOM A. 1998. Influencia de la época de cosecha sobre las características de la granadilla morada (*Passiflora edulis* Sims) y su jugo. *Food Science and Technology International*. 4:45-51.
- SALAZAR DM., MELGAREJO P., MARTÍNEZ R., MARTÍNEZ JJ., HERNÁNDEZ F., BURGUERA M. 2006. Phenological stages of the guava tree (*Psidium guajava* L.). *Scientia Horticulturae*. 108(2): 157-161.
- SALINERO MC., VELA P., SAINZ MJ. 2009. Phenological growth stages of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* "Hayward"). *Scientia Horticulturae*. 121(1): 27-31.
- SAMMI S., MASUD T. 2007. Effect of different packaging system on storage life and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* var. Rio Grande) during different ripening stages. *International Journal of Food Safety*. 9:37-44
- SALTVEIT ME Jr. 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 15:279-292.
- SALTVEIT ME Jr. 1993. Internal carbon dioxide and ethylene levels in ripening tomato fruit attached to or detached from the plant. *Plant Physiology*. 89:204-210.
- SALTVEIT, M. E. (1999). Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 15: 279-292.
- SEPÚLVEDA, E.; SÁENZ, C.; NAVARRETE, A.; RUSTOM, A. (1996). Parámetros de color del jugo de granadilla (*Passiflora edulis* Sims): influencia de la época de cosecha de la fruta. *Food Science and Technology International*. 2: 29-33.
- SCHOTSMANS WC., NICHOLSON SE., PINNAMENENI S., MAWSON AJ. 2008. Quality changes of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Acta Horticulturae* 773. XXVII IHC-S16 Citrus and Other Trop. & Subtrop. Fruits Crops.pp 239-244
- SHAYKEWICH CF. 1995. An appraisal of cereal crop phenology modeling. *Canadian Journal of Plant Science*. 75:329-341.
- SHERRY RA., ZHOU XH., GU SL. 2007. Divergence of reproductive phenology under climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 104:198-202.
- SHIOMI S., WAMOCHOL S., AGONG SG. 1996a. Ripening characteristics of purple passion fruit on and off the vine. *Postharvest Biology and Technology*. 7:161-170.
- SHIOMI S., KUBO Y., WAMOCHO LS, KOAZE H., NAKAMURA R., INABA A. 1996b. Postharvest ripening and ethylene biosynthesis in purple passion fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 8:199-207.
- SIERRA CA., GUTIÉRREZ LA., MARTÍNEZ SM. 2011. Desarrollo de empaques poliméricos apropiados para la comercialización de gulupa en fresco (*Passiflora edulis* Sims). Capítulo 2, pp 23-32. En Melgarejo LM, Hernández MS (Eds). *Poscosecha de la gulupa Passiflora edulis* Sims. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 58pp.

- SIMON P., KARNATZ YA. 1983. Effect of soil temperature on growth and flower formation of purple passionfruit (*Passiflora edulis* Sims. var. *edulis*). *Acta Horticulturae*. 139:120-128.
- SISTRUNK WA., CASH JN. 1974. Processing factors affecting quality and storage stability of Concord grape juice. *Journal of Food Science*. 39:1120-1123.
- SJAIFULLAH., LIZADA MCC. 1985. Production of ethylene, carbon dioxide and 1-aminocyclopropane-l-carboxylic acid during ripening of avocado, passion fruit, plantain and sapota. *Indones. Journal Crop Science*. 1: 105-112.
- SOLARTE ME., HERNÁNDEZ MS., MORALES AL., FERNÁNDEZ-TRUJILLO JP., MELGAREJO LM. 2010. Caracterización fisiológica y bioquímica del fruto de guayaba durante la maduración. Capítulo 3, pp 85-119. En Morales, AL; Melgarejo, LM (Eds) *Desarrollo de productos funcionales promisorios a partir de la guayaba (*Psidium guajava* L.) para el fortalecimiento de la cadena productiva*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 198pp.
- SPARKS TH., MENZEL A., STENSETH NC. 2009. European cooperation in plant phenology introduction. *Climate Research*. 39:175-177.
- TALORA DC., MORELLATO PC. 2000. Fenología de especies arbóreas em floresta de planicie litorânea do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*. 23:13-26.
- UTSONOMIYA N. 1992. Fruit set and fruit growth of purple passion fruit affected by temperature. *Acta Horticulturae*. 321:641-647.
- VÍLCHEZ B., CHAZDON R., ALVARADO W. 2007. Fenología reproductiva de las especies del dosel superior en seis sitios de la Región Huetar Norte de Costa Rica. *Kurú: Revista Forestal*, 4: 2-16.
- WENKAM NS. 1990. *Food of Hawaii and the pacific basin, fruit and fruit products*. Raw, processed and prepared, vol 4., University of Hawaii. Honolulu.
- WHITE PJ. 2002. Recent advances in fruit development and ripening: an overview. *Journal of Experimental Botany*. 53: 1995–2000.
- WILLIAMS-LINERA G. 2003. Temporal and spatial phenological variation of understory shrubs in a tropical mountain cloud forest. *Biotropica*. 35(1):28-36
- WILLIAMS R., MYERS B., EAMUS D., DUFF G. 1999. Reproductive phenology of woody species in a north Australian tropical savanna. *Biotropica* 31: 626-636.
- WINKS C., MENZEL C., SIMPSON D. 1988. Passion fruit in Queensland, Botany and cultivars. *Queensland Agricultural Journal*. 114:217-224.
- WOLKOVICH EM., COOK BI., ALLEN JM., CRIMMINS TM., BETANCOURT JL., TRAVERS SE., PAU S., REGETZ J., DAVIES TJ., KRAFT NJB., AULT TR., BOLMGREN K., MAZER SJ., McCABE GJ., MCGILL BJ., PARMESAN C., SALAMIN N., SCHWARTZ MD., CLELAND EE. 2012. Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change. *Nature*. Doi: 10.1038/nature 11014.
- ZADOKS JC., CHANG TT., KONZAK CF. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res*. 14:415-421. En FINN GA., STRASZEWSKI AE., PETERSON V. 2007. A General growth stage key for describing trees and woody plants. *Annals of Applied Biology*. 151:127-131. doi:10.1111/j.1744-7348.2007.00159.x
- ZOR T., SELINGER Z. 1996. Linearization of the Bradford protein assay increases its sensitivity. *Theoretical and experimental studies. Analytical Biochemistry*. 236:302-308.