



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto de champa (*Campomanesia lineatifolia* R & P) y determinación del punto óptimo de cosecha**

**Helber Enrique Balaguera López**

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

2011

# **Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto de champa (*Campomanesia lineatifolia* R & P) y determinación del punto óptimo de cosecha**

**Helber Enrique Balaguera López**

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

Director:

Ph.D., Aníbal Herrera Arévalo

Línea de Investigación:

Fisiología de Cultivos

Grupo de Investigación:

Grupo de Horticultura

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

2011

## **DEDICATORIA**

*Este logro tan importante quiero dedicárselo a Dios Todopoderoso, que me dio la vida y un propósito muy importante para cumplir en mi estancia en este mundo.*

*A mis padres EDUARDO ENRIQUE y LUZ MARINA, que un día decidieron unir sus vidas y darme la mía y desde siempre han sido mi motivo de superación. A mi tía MARIA INES que se ha convertida en mi segunda madre y no me ha desamparado en los momentos difíciles. A mis hermanos DANIEL, WILLIAM y LIZETH, que siempre han sido mi compañía. A mi futura esposa CLAUDIA ANDREA MARTÍNEZ CÁRDENAS, que desde el momento que llegó a mi vida le dio un rumbo distinto, lleno de amor y felicidad. A mi abuelita AURA MARÍA, a mis primos WILSON, ALEX, RODRIGO y MARTHA. A mis abuelos ya fallecidos PEDRO, ANA BELÉN y SALOMÓN y mis tíos BELISARIO y DARÍO, que desde el cielo siempre me han acompañado y siempre los recordaré.*



## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional de Colombia y su escuela de posgrados de la facultad de agronomía por haberme dado la oportunidad de recibir la formación académico científica de Magister en Ciencias Agrarias. A la dirección de investigaciones de Bogotá (DIB) y a la escuela de posgrados de la facultad de agronomía por la financiación que me brindaron mediante las convocatorias de apoyo a tesis de posgrados. A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) y COLCIENCIAS, que mediante el programa de jóvenes investigadores me permitieron tener un estímulo económico para desarrollar mis actividades laborales y cursar mis estudios de posgrado.

Al Profesor Aníbal Herrera Arévalo (PhD), director de tesis, por su valioso acompañamiento académico, su confianza y por todas las oportunidades que me brindó. A los Profesores Gerhard Fischer (PhD), María Soledad Hernández (PhD) y Jesús Antonio Galvis (PhD), jurados de la tesis, por sus importantes aportes y sugerencias.

A Andrea Martínez, Wily y en general a mi familia por todo el apoyo moral, económico y logístico. A mis amigos y compañeros de laboratorio de Fisiología, Julián Cárdenas, Ricardo Chacín, Rolando, Martha Rincón, Marcela, de Frutas tropicales, Mauricio Espinal, Jeimmy Rodríguez, del ICTA, Carolina Acosta, Ivonne González y del Sinchi, Marcela, Juliana, Laura, Andrés y Ruby, por su gran colaboración y compañía.

A los Profesores María Soledad Hernández, Martha Quicazán, Luz Patricia Restrepo y Liz Patricia Moreno, directores de los laboratorios del Sinchi, ICTA, Frutas tropicales y Fisiología de cultivos, respectivamente, por haberme permitido desarrollar la fase de laboratorio de esta investigación en sus instalaciones. A Javier Álvarez y Pedro Almanza, docentes de la UPTC, por su amistad, conocimientos, apoyo incondicional y sus valiosos consejos durante mi formación académica. Y todas aquellas personas que de una u otra manera aportaron para llevar a buen término esta investigación.



## Resumen

El objetivo fue realizar el estudio del crecimiento, desarrollo y determinación del punto óptimo de cosecha del fruto. En precosecha se hicieron muestreos de frutos cada 15 días y en poscosecha diariamente. También se evaluaron seis tratamientos que correspondieron a diferentes grados de madurez con base en el color para establecer el punto óptimo de cosecha. El desarrollo del fruto hasta cosecha fue de 1489,1 grados calor día (GDC) en 145 días. Las masas seca y fresca fueron sigmoide simple. La firmeza disminuyó drásticamente des los 856,9 GDC, los sólidos solubles totales (SST) aumentaron desde los 856,9 GDC y la acidez total titulable (ATT) desde los 719,2 GDC. La tasa respiratoria disminuyó hasta los 1422,8 GDC, punto que coincide con la madurez fisiológica, en este momento también se detectó producción de etileno. La actividad poligalacturonasa (PG) aumentó hasta la cosecha. El ácido succínico fue alto al inicio del estado dos pero después disminuyó al igual que los ácidos málico y oxálico, el ácido cítrico fue el predominante en la cosecha. Durante los cuatro días de poscosecha se determinó que la champa es un fruto climatérico con disminución drástica de la firmeza, alta pérdida de peso, los SST aumentaron hasta el día dos, la ATT incremento continuamente, la PG aumentó hasta el tercer día. El ácido cítrico fue el predominante en la poscosecha. Los frutos de champa presentan alta acidez, SST y una baja firmeza. Los frutos pueden ser cosechados desde madurez fisiológica, cuando son cosechados en mayor grado de madurez la vida útil es menor pero presentan mejor sabor.

**Palabras clave:** maduración, poscosecha, madurez fisiológica, índice de madurez

## Abstract

The objective was to make the study of the growth, development and determination of optimum time harvest. Preharvest fruit, it was sampled every 15 days and in post-harvest daily. Moreover, it was evaluated six treatments that corresponded to different stages of

maturity based on color to establish the optimum time of harvest. The fruit development to harvest was 1489.1 degree day (DD) in 145 days. The fresh and dry masses were a simple sigmoid. The firmness declined dramatically since 856.9 DD, total soluble solids (TSS) increased from 856.9 GDC and the total titratable acidity (TTA) from 719.2 DD. The respiratory rate declined to 1422.8 DD, a point which coincides with the physiological maturity at this time was also detected ethylene production. Polygalacturonase activity (PG) increased to the harvest. Succinic acid was high at beginning of the state two but then declined as malic and oxalic acids, citric acid was the predominant in the harvest. During the four days of postharvest it was found that the champa is a climacteric fruit with a drastic decrease in firmness, high weight loss, the TSS increased until day two after harvest, TTA increased continually, the PG increase until the third day. Citric acid was the predominant in the post-harvest. The champa fruits have high acidity SST and low firmness. The fruits can be harvested in physiological maturity, when the fruit are harvested in more maturity the shelf life is less but have better taste.

**Keywords:** ripening, climacteric fruits, physiological maturity, maturity index



# Contenido

	Pág.
<b>Resumen .....</b>	<b>VII</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>XII</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>XIV</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto de champa durante la precosecha en tiempo fisiológico .....</b>	<b>5</b>
1.1 Resumen .....	5
1.2 Introducción .....	6
1.3 La champa ( <i>Campomanesia lineatifolia</i> R&P) .....	7
1.4 Crecimiento y desarrollo del fruto de champa .....	8
1.5 Análisis de crecimiento .....	12
1.6 Tiempo fisiológico .....	13
1.7 Materiales y métodos.....	14
1.7.1 Ubicación .....	14
1.7.2 Materiales para la investigación .....	14
1.7.3 Métodos .....	14
1.7.4 Sistema de variables .....	15
1.7.5 Análisis estadístico.....	19
1.8 Resultados y discusión .....	19
1.8.1 Desarrollo del fruto .....	19
1.8.2 Masa seca total .....	22
1.8.3 Masa fresca total.....	26
1.8.4 Masa fresca y seca de parte comestible y semilla .....	28
1.8.5 Diámetro del fruto.....	31
1.8.6 Volumen.....	32
1.8.7 Firmeza .....	34
1.8.8 Sólidos solubles totales .....	36
1.8.9 Acidez total titulable .....	39
1.8.10 Relación de madurez .....	41
1.8.11 pH .....	43
1.8.12 Ácidos orgánicos.....	44
1.8.13 Actividad poligalacturonasa.....	47
1.8.14 Tasa respiratoria y producción de etileno .....	48
1.8.15 Análisis de correlaciones.....	51

<b>2.</b>	<b>Estudio del comportamiento del fruto de champa durante la poscosecha .....</b>	<b>55</b>
2.1	Resumen.....	55
2.2	Introducción.....	56
2.3	Maduración de frutos.....	57
2.4	Poscosecha de frutos.....	57
2.4.1	Respiración.....	57
2.4.2	Etileno .....	58
2.4.3	Transpiración o pérdida de agua .....	58
2.4.4	Cambios composicionales .....	59
2.5	Materiales y métodos .....	59
2.5.1	Ubicación.....	59
2.5.2	Sistema de variables.....	60
2.5.3	Análisis estadístico .....	60
2.6	Resultados y discusión.....	61
2.6.1	Tasa respiración y producción de etileno .....	61
2.6.2	Firmeza.....	63
2.6.3	Pérdida de peso.....	65
2.6.4	Color de la epidermis .....	66
2.6.5	Sólidos solubles totales .....	68
2.6.6	Acidez total titulable .....	69
2.6.7	Relación de madurez .....	70
2.6.8	pH.....	71
2.6.9	Ácidos orgánicos .....	73
2.6.10	Actividad poligalacturonasa .....	76
2.6.11	Análisis de correlaciones .....	78
<b>3.</b>	<b>Determinación del punto óptimo de cosecha del fruto de champa.....</b>	<b>83</b>
3.1	Resumen.....	83
3.2	Introducción.....	84
3.3	Tipos de madurez en productos agrícolas .....	85
3.4	Punto óptimo de cosecha .....	85
3.5	Índices de madurez .....	86
3.6	Color .....	86
3.7	Materiales y métodos .....	87
3.7.1	Ubicación.....	87
3.7.2	Diseño experimental .....	87
3.7.3	Procedimiento.....	88
3.7.4	Sistema de variables.....	88
3.7.5	Sistema de variables.....	90
3.8	Resultados y discusión.....	90
3.8.1	Duración poscosecha .....	90
3.8.2	Evaluación sensorial .....	92
3.8.3	Firmeza.....	95
3.8.4	Pérdida de peso.....	97
3.8.5	Color de la epidermis .....	99
3.8.6	Sólidos solubles totales .....	102
3.8.7	Acidez total titulable .....	104
3.8.8	Relación de madurez .....	105
3.8.9	pH.....	106

---

<b>4. Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>108</b>
4.1 Conclusiones .....	108
4.2 Recomendaciones .....	111
<b>A. Anexo: Ubicación del municipio de Miraflores dentro del departamento de Boyacá y el país (Wikipedia, 2009).....</b>	<b>112</b>
<b>B. Anexo: Comportamiento de la temperatura promedio observada durante el estudio.. .....</b>	<b>113</b>
<b>C. Anexo: Preparación de los reactivos del método de Nelson &amp; Somogyi para la cuantificación de azúcares reductores y reactivo de Bradford para determinación de proteína (Espinal, 2010). .....</b>	<b>114</b>
<b>D. Anexo: Días después de floración (ddf) y grados calor día de crecimiento (GDC) durante todo el estudio.....</b>	<b>115</b>
<b>E. Anexo: Fruto de champa en proceso de senescencia.....</b>	<b>116</b>
<b>F. Anexo: Atributos de los factores de calidad sensorial.....</b>	<b>117</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>121</b>

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1-1:</b> Comportamiento de: A. la masa seca; B. TAC y C. TRC durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico. ....	23
<b>Figura 1-2:</b> Comportamiento de: A. la masa fresca; B. TAC y C. TRC durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico. ....	27
<b>Figura 1-3:</b> Comportamiento de: A. masa fresca de pulpa; B. masa fresca de semilla C. masa seca de pulpa y D. masa seca de semilla durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico. ....	29
<b>Figura 1-4:</b> Comportamiento del diámetro ecuatorial y polar durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico. ....	31
<b>Figura 1-5:</b> Comportamiento del volumen durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico. ....	33
<b>Figura 1-6:</b> Comportamiento de la firmeza durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico. ....	35
<b>Figura 1-7:</b> Comportamiento de los sólidos solubles totales (SST) durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico. ....	37
<b>Figura 1-8:</b> Comportamiento de la acidez total titulable (ATT) durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico. ....	40
<b>Figura 1-9:</b> Comportamiento de la relación de madurez (RM) durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico. ....	42
<b>Figura 1-10:</b> Comportamiento del pH durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico. ....	44
<b>Figura 1-11:</b> Comportamiento de los ácidos orgánicos durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico. ....	45
<b>Figura 1-12:</b> Actividad poligalacturonasa durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico. ....	48
<b>Figura 1-13:</b> Comportamiento de la tasa respiratoria y la producción de etileno durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico. ....	49
<b>Figura 2-1:</b> Tasa respiratoria y producción de etileno de frutos de champa durante la poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n=3). ....	62
<b>Figura 2-2:</b> Firmeza de frutos de champa durante la poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n=4). ....	64

<b>Figura 2-3:</b> Pérdida de peso de frutos de champa durante la poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n=4).....	66
<b>Figura 2-4:</b> Comportamiento del color de frutos de champa durante la poscosecha. A. Valor de “L”; B. Valor de “a” y C. Valor de “b”. Las barras verticales indican el error estándar (n=4).....	67
<b>Figura 2-5:</b> Sólidos solubles totales (SST) de frutos de champa durante la poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n=4). .....	69
<b>Figura 2-6:</b> Acidez total titulable (ATT) de frutos de champa durante la poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n=4).....	70
<b>Figura 2-7:</b> Relación de madurez (RM) de frutos de champa durante la poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n=4).....	71
<b>Figura 2-8:</b> Comportamiento del pH de frutos de champa durante la poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n=4).....	72
<b>Figura 2-9:</b> Comportamiento de los ácidos orgánicos de frutos de champa durante la poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n=3). .....	74
<b>Figura 2-10:</b> Actividad poligalacturonasa de frutos de champa durante la poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n=3). .....	77
<b>Figura 3-1:</b> Comportamiento de la firmeza de frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis para determinar el punto óptimo de cosecha. ....	95
<b>Figura 3-2:</b> Comportamiento de la pérdida de peso de frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis para determinar el punto óptimo de cosecha. ....	97
<b>Figura 3-3:</b> Comportamiento del color de frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis para determinar el punto óptimo de cosecha. A. Valor de “L”; B. valor de “a” y C. Valor de “b”. .....	101
<b>Figura 3-4:</b> Comportamiento de los sólidos solubles totales (SST) de frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis para determinar el punto óptimo de cosecha. ....	103
<b>Figura 3-5:</b> Comportamiento de la acidez total titulable (ATT) de frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis para determinar el punto óptimo de cosecha. ....	104
<b>Figura 3-6:</b> Comportamiento de la relación de madurez (RM) de frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis para determinar el punto óptimo de cosecha. ....	105
<b>Figura 3-7:</b> Comportamiento del pH de frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis para determinar el punto óptimo de cosecha. ....	107

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-1:</b> Ecuaciones utilizadas para determinar TAC y TRC .....	16
<b>Tabla 1-2:</b> Desarrollo del fruto de champa en tiempo fisiológico .....	20
<b>Tabla 1-3:</b> Ecuaciones del modelo logístico para la masa fresca y seca de los frutos de champa durante el crecimiento y desarrollo, en tiempo fisiológico. ....	25
<b>Tabla 1-4:</b> Correlaciones de Pearson para las variables evaluadas durante la precosecha del fruto de champa. ....	53
<b>Tabla 2-1:</b> Correlaciones de Pearson para las variables evaluadas durante la poscosecha del fruto de champa. *significancia al 1%; * significancia al 5%; ns: sin diferencias estadísticas. ....	81
<b>Tabla 3-1:</b> Descripción de los tratamientos para determinar el punto óptimo de cosecha. ....	88
<b>Tabla 3-2:</b> Descripción de los frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis .....	89
<b>Tabla 3-3:</b> Duración poscosecha de los frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis.....	91
<b>Tabla 3-4:</b> Evaluación sensorial de frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis para determinar el punto óptimo de cosecha. ....	93

## Introducción

De acuerdo con Almeida *et al.* (1998), los desafíos para la explotación de frutas nativas son muy grandes, pero existe al respecto un gran potencial para ser tratado, principalmente para la exportación de frutas con sabores “sui generis” o propios de su género y que no se encuentran en otros países. Este es el caso de la champa, que aunque es un árbol frutal poco conocido perteneciente a la familia myrtaceae (Garzón y Barreto, 2002), tiene alto potencial de comercialización, principalmente por su sabor y aroma agradables, con abundante pulpa jugosa, dulce acidulada (Álvarez *et al.*, 2009a) que le permite una gran aceptación entre los consumidores de las zonas de producción, en cualquiera de sus presentaciones o productos derivados (jugos, cremas, mermeladas, vinos, sabajón, helados, dulces, entre otros), situación que la puede hacer competitiva frente a otras frutas y convertirse en un frutal promisorio para las zonas de clima medio del país. Además, es un fruto con altos contenidos de vitaminas B y C, calcio y fósforo (Villachica, 1996), que pueden ser de interés nutricional mediante el consumo periódico. Este árbol ha sido utilizado como sombrío en cultivos de café en la región de Lengupá Boyacá o como cercas vivas (López y Rodríguez 1995).

Sin embargo, López y Rodríguez (1995) determinaron que para el año 1994 en la provincia de Lengupá (Boyacá) se producían 370 toneladas anuales, de las cuales cerca del 97% se perdió por un manejo inadecuado en la cosecha y poscosecha. Cifras alarmantes que indican el poco aprovechamiento de esta fruta, pero a la vez muestran la gran oportunidad que existe al lograr aprovechar parte de esta gran cantidad de frutos.

De otra parte, las investigaciones sobre este cultivo y principalmente de la fisiología del fruto son muy escasas. En el país se han realizado algunos estudios, dentro de los que se destaca el realizado por López y Rodríguez (1995) sobre el diagnóstico del mercadeo de la champa en el municipio de Miraflores, Boyacá. Bonilla *et al.* (2005) y Osorio *et al.* (2006) han hecho aportes importantes sobre los compuestos extraídos de la semilla, los cuales tiene actividad antimicrobial y al parecer contribuyen en todos los estados de

crecimiento del fruto a expresar los aromas y sabores característicos de la champa. Respecto a la fisiología del fruto, existen tres reportes, en el primero se hizo una caracterización básica a nivel fisicoquímico del fruto en cinco estados de madurez (Álvarez *et al.*, 2009a); Balaguera *et al.* (2009) avanzaron un poco más y realizaron muestreos quincenales precosecha para determinar el crecimiento y el desarrollo del fruto, sin embargo, las variables medidas todavía no dilucidan por completo el comportamiento del fruto de champa, lo mismo ocurre con el estudio poscosecha realizado por Álvarez *et al.* (2009b). Por tanto, los vacíos en el conocimiento de esta especie aún son grandes, principalmente el relacionado con la alta perecibilidad del fruto.

Los resultados del estudio se orientan a determinar el comportamiento fisicoquímico del fruto durante el crecimiento y desarrollo para dilucidar algunas de las causas que generan el rápido ablandamiento del fruto de champa y la corta vida poscosecha, lo cual se convertirá en la base teórica para plantear investigaciones que mediante tratamientos pre y poscosecha logren aumentar la vida útil del fruto y mantener sus características organolépticas por más tiempo.

Con la determinación del punto óptimo de cosecha se busca tener un criterio técnico para la programación de cosechas, las cuales deben garantizar la recolección del fruto directamente del árbol y con la madurez adecuada que favorezca a productores, industrializadores, comercializadores y consumidores. Esto puede contribuir a que se dé un manejo más eficiente al fruto de champa, que se disminuyan las pérdidas en poscosecha y que se estimule la oferta del fruto en fresco o en todos sus derivados, lo cual va a favorecer a los agricultores (más del 50%) de los seis municipios que comprenden la provincia de Lengupá (Boyacá) que reciben ingresos por esta actividad. Del mismo modo, el cultivo de la champa tendrá un mayor soporte técnico para que pueda convertirse en una alternativa económica para los demás agricultores de la región o de otras zonas potencialmente productoras.

Respecto al planteamiento del problema, la champa es un fruto con alto potencial de comercialización debido a su exquisito sabor, pero cerca del 97% de la producción de la región de Lengupá Boyacá se pierde (López y Rodríguez, 1995), debido a que tiene una corta vida poscosecha que se evidencia en un ablandamiento drástico del fruto y una rápida fermentación que limita su comercialización en fresco y su transformación a pulpa,



además, se desconoce el comportamiento fisicoquímico del fruto, lo que genera que no se tenga un criterio técnico para realizar un manejo agronómico adecuado, del mismo modo, no se ha determinado el punto óptimo de cosecha, por lo cual, el agricultor recolecta los frutos en diferentes estados de madurez, por ende no se logra la homogeneidad del producto cosechado y como consecuencia se pierde la calidad final del mismo. Como consecuencia, se aumentan las pérdidas económicas para el agricultor y comercializador y se presenta disminución en el área cultivada.

El análisis del manejo poscosecha actual y de la fisiología precosecha y poscosecha de los frutos de champa genera las siguientes preguntas para este estudio: ¿Cuál es el comportamiento de las variables fisicoquímicas durante el crecimiento y desarrollo del fruto de champa? ¿Cuál es el punto óptimo de cosecha del fruto de champa?

Objetivo general: Realizar el estudio del crecimiento, desarrollo y determinación del punto óptimo de cosecha del fruto de champa (*Campomanesia lineatifolia* R&P), en el municipio de Miraflores Boyacá.

Los objetivos específicos de esta investigación fueron:

Caracterizar el crecimiento y desarrollo del fruto de champa (*Campomanesia lineatifolia* R&P) con base en los principales cambios físicos y químicos.

Determinar el patrón de respiración de los frutos de champa y la evolución de la producción de etileno y su relación con las variables fisicoquímicas durante la pre y poscosecha.

Identificar el punto óptimo de cosecha de los frutos de champa con base en el color de la epidermis y su relación con las variables fisicoquímicas medidas durante la poscosecha.

Uno de los retos para la producción agrícola en los países del trópico es aprovechar de manera sostenible y sustentable la diversidad de recursos naturales que posee generando alternativas diferentes a los cultivos tradicionales para mejorar los ingresos y la calidad de vida de sus habitantes.

El fruto de la champa es de gran importancia en algunas regiones del trópico alto donde se concentran su producción. La champa es un fruto tropical muy aromático y de exquisito sabor que le permite una gran aceptación entre los consumidores de las zonas de producción, en cualquiera de sus presentaciones o productos derivados (jugos, cremas, mermeladas, vinos, sabajón, helados, dulces, entre otros) (Villachica, 1996), situación que la puede hacer competitiva frente a otras frutas y promisoría para las zonas de clima medio del país.

La producción por árbol de champa puede oscilar desde los 5 kg para árboles jóvenes hasta los 500 kg para árboles adultos; la cosecha se hace cada tercer día y se pueden recolectar hasta 75 kg por árbol en cada jornada de recolección. Esto supone una alta producción en un corto período de tiempo, lo que obliga a generar alternativas que prolonguen la vida útil de los frutos en el mercado (López y Rodríguez, 1995).

Por tanto, con el conocimiento del comportamiento fisicoquímico del fruto durante el crecimiento y desarrollo y con la determinación del punto óptimo de cosecha, será posible planear e implementar recolecciones periódicas que mantengan las características de calidad propias del fruto, y se le podría dar una eficiente utilización a las más de 370 toneladas que se producen en la región anualmente que se pierden por un manejo inadecuado en la cosecha y poscosecha (López y Rodríguez, 1995), además, no ha sido posible explotar sus propiedades para la comercialización del fruto a gran escala y en diversas presentaciones como por ejemplo en forma de pulpas. Adicionalmente, conociendo el comportamiento de los cambios físicos, químicos y bioquímicos del fruto, será posible determinar, técnicas adecuadas de recolección, embalaje y manejo poscosecha que alarguen su vida útil, y posibles usos en la industria. También se tendrá un criterio técnico para realizar las diferentes prácticas culturales como fertilización, riego, podas, manejo fitosanitario, entre otras, con base en el comportamiento fisiológico del fruto.

# 1. Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto de champa durante la precosecha en tiempo fisiológico

## 1.1 Resumen

Con el objetivo de realizar el estudio del crecimiento y desarrollo del fruto de champa durante la precosecha, en el municipio de Miraflores Boyacá se escogieron al azar 30 árboles de los cuales se seleccionaron y marcaron 100 flores/planta del tercio medio de éstos cuando aproximadamente el 50% de las flores estuvieron abiertas. Desde el día 26 después de floración hasta la cosecha se hicieron 10 muestreos cada 15 días, el último muestreo se hizo 7 días después del noveno muestreo, debido a que los frutos alcanzaron la madurez organoléptica. Las determinaciones físicas tuvieron 10 repeticiones mientras que las químicas cuatro. Se llevó registro de la temperatura para calcular la acumulación de grados calor día (GDC). La duración total desde la floración hasta la cosecha del fruto fue de 1489,1 GDC en 145 días. Las masas seca y fresca de pulpa, semilla y total tuvieron un comportamiento sigmoide simple y se ajustaron a un modelo logístico, a los 1489,1 GDC las masas fresca y seca total fueron  $26,13 \pm 1,69$  g y  $4,13 \pm 0,45$  g respectivamente. Los diámetros polar y ecuatorial aumentaron linealmente durante el desarrollo del fruto y el volumen se ajustó a un modelo exponencial. La firmeza aumentó hasta los 856,9 GDC y posteriormente disminuyó de forma drástica hasta la cosecha, donde alcanzó un valor de  $10,24 \pm 1,49$  N. los sólidos solubles totales (SST) aumentaron desde los 856,9 GDC, la acidez desde los 719,2 GDC y la relación de madurez (RM) solo a partir de los 1422,8 GDC, el pH disminuyó desde el estado dos de desarrollo. La tasa respiratoria fue alta en el estado uno y disminuyó hasta los 1422,8 GDC, punto que coincide con la madurez fisiológica, en este momento también se detectó producción de etileno. La actividad poligalacturonasa inició desde los 582,06 GDC y aumentó hasta la cosecha. En general, la concentración de los ácidos orgánicos

fue alta. El ácido succínico fue alto al inicio del estado dos pero después disminuyó, al igual que los ácidos málico y oxálico, el ácido cítrico fue el predominante en la cosecha. Esta caracterización indica que los frutos de champa presentan alta acidez y un representativo contenido de sólidos solubles que determinan su sabor característico y una baja firmeza que indica limitaciones durante la poscosecha.

## 1.2 Introducción

En los países del trópico existe una gran variedad de especies frutales con alto potencial de comercialización. Se debe aprovechar de manera responsable la diversidad de recursos naturales que posee el país generando alternativas diferentes a los cultivos tradicionales para mejorar los ingresos y la calidad de vida de sus habitantes. Este es el caso de la champa, un fruto aromático de exquisito sabor dulce acidulado con un buen contenido nutricional, características que lo pueden convertir en un fruto de gran aceptación en los mercados nacionales e internacionales, pero que presenta un grave problema, su alta perecibilidad, razón por la cual, se pierde gran parte de la producción.

El análisis de crecimiento puede ser usado para investigar la adaptación ecológica de los cultivos a nuevos ambientes, la competencia entre especies, los efectos del manejo entre cultivares (Álvarez, 1999), además, es posible detectar efectos de deficiencia del medio, posibilitando la relación con el mismo a tiempo, sin comprometer el rendimiento final (Benincasa, 1988). De otra parte, el estudio del desarrollo es importante para el establecimiento del punto óptimo de cosecha y para la aplicación de tecnologías que retarden o reduzcan las actividades fisiológicas, con el fin de aumentar el periodo de conservación (Chitarra, 1998; Silva *et al.*, 2009).

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo que se planteó para esta investigación fue realizar el estudio del crecimiento y desarrollo del fruto de champa en el municipio de Miraflores (Boyacá) durante la precosecha, en tiempo fisiológico y con base en los principales cambios físicos, químicos y fisiológicos. De esta manera, se espera aportar información sobre las causas que generan el rápido ablandamiento del fruto de champa y la corta vida poscosecha, lo cual fortalecerá la base teórica para plantear investigaciones que mediante tratamientos pre y poscosecha logren aumentar la vida útil del fruto y

mantener sus características organolépticas por más tiempo. También se tendrán criterios técnicos para planear las diferentes labores culturales e implementar recolecciones oportunas que mantengan las características de calidad propias del fruto, con el fin de dar una eficiente utilización a la alta cantidad de fruto que se produce anualmente en la región de Lengupá Boyacá.

### **1.3 La champa (*Campomanesia lineatifolia* R&P)**

Es un árbol frutal de la familia Myrtaceae (Garzón y Barreto, 2002), nativo de la Amazonía. En Colombia se ha encontrado en el Chocó, Amazonas, Caquetá, Casanare, Cundinamarca y Boyacá. Se conoce con el nombre de chamba, palillo, guayabo Anselmo, guayaba de leche, guayaba de mono, guabiroba o gabirola (Guarani) (Villachica, 1996).

El árbol alcanza hasta 10m de altura, con tronco y corteza delgados, color marrón claro, copa densamente ramificada. Sus hojas son simples opuestas, de forma elíptica, con bordes irregulares, ápice agudo, base redondeada con 20cm de largo y 10cm de ancho, haz verde brillante y envés verde opaco. Presenta inflorescencias formadas por pequeños racimos simples, con flores aisladas, medianas, cáliz con cinco sépalos soldados de color blanco muy veloso, corola con cinco pétalos libres de color blanco o amarillo. El ovario es unicarpelar, verde, globoso y veloso. Las flores están en pedicelos largos. El fruto de champa es una baya ligeramente achatada de hasta 7cm de diámetro y pesa en promedio 22g (López y Rodríguez, 1995), con abundante pulpa jugosa, dulce acidulada y altamente perecedero, la corteza es amarilla en estado maduro y difícilmente separable de la pulpa (Villachica, 1996).

El fruto posee de cuatro a diez semillas aplanadas, circulares, de 1cm de diámetro aproximadamente, color marrón claro, de sabor amargo (Villachica, 1996). El particular sabor y aroma del fruto son características agradables al consumidor. Las  $\beta$ -trictonas son sustancias extraídas de la semilla y contribuyen a expresar el aroma característico de la champa (Osorio et al., 2006), y se denominan champanones A, B y C cuya actividad es antibacteriana (Bonilla et al., 2005). Los frutos se consumen en fresco y con la

pulpa se preparan dulces, mermeladas, jaleas (Villachica, 1996), vino, sabajón y helados entre otros.

Crece en condiciones de temperaturas de 22 a 30°C, con precipitaciones superiores a 1.500mm anuales, necesita suelos de texturas francas a arcillosas (Villachica, 1996). En promedio, el árbol empieza a producir a los 5 años y puede ser productivo por más de 20 años. El inicio de la floración en Miraflores (Boyacá) habitualmente ocurre entre los meses de marzo a mayo, y la máxima producción se presenta en septiembre, lo que indica que el crecimiento y desarrollo del fruto tienen una duración aproximada de cinco meses. En estado de máxima producción, un árbol puede producir hasta 500kg de frutos por año. Debido a la altura de los árboles, la cosecha se dificulta, por lo que generalmente se espera que los frutos maduren y caigan para hacer la recolección (López y Rodríguez, 1995).

## **1.4 Crecimiento y desarrollo del fruto de champa**

El crecimiento es definido como un aumento irreversible en el volumen o la masa de un organismo vivo, órgano o célula (Taiz y Zeiger, 2002; Barceló et al., 2001). Es un proceso complejo que incluye muchos procesos como división celular, elongación, fotosíntesis, síntesis de otros compuestos, respiración, translocación, absorción y transpiración (Gómez et al, 1999). No obstante, puede darse el crecimiento sin que aumente el tamaño, pero sí, el número de células; o puede haber crecimiento con aumento de tamaño pero con disminución del peso seco (Barceló et al., 2001). El crecimiento de un órgano se puede medir como el incremento en la materia seca a través del tiempo (Edwards et al., 1986). El crecimiento es una aproximación holística, explicativa e integral, para comprender la forma y funciones de los vegetales (Hunt, 2003).

Las curvas de crecimiento del diámetro transversal en función del tiempo son las más empleadas (Casierra y Cardozo, 2009). Tienen la ventaja de ser de fácil determinación, no destructivas y permiten el seguimiento a lo largo del periodo de crecimiento. Estas curvas de crecimiento sirven para identificar no solamente la evolución del crecimiento en el ciclo bajo las condiciones climáticas de la zona bajo estudio, sino también para estimar

el peso que tendrá el fruto en la cosecha (Coombe, 1976; Hunt, 1990).

De acuerdo con Barceló et al. (2001), el desarrollo del fruto implica el desarrollo coordinado de un gran número de tejidos. Es un proceso que involucra fenómenos de crecimiento y diferenciación celular. Al respecto, Grange (1996) afirma que el tamaño final de los frutos carnosos, está determinado por tres procesos importantes que corresponden a: la multiplicación celular que es responsable de la formación del ovario antes de la antesis; seguido de la división celular que tiene lugar después de la antesis y la polinización, y el tercer proceso corresponde a la extensión celular.

La curva sigmoide simple representa el tamaño acumulado del fruto en función del tiempo desde la antesis hasta que alcanza su madurez, esta curva comprende tres fases: una primera fase denominada logarítmica, en la cual el tamaño aumenta de forma exponencial a través del tiempo y se caracteriza por una velocidad lenta de crecimiento al principio, la segunda fase es lineal, en este caso, el aumento de tamaño es continuo a una velocidad constante, y una tercera fase conocida como de senescencia que se caracteriza por una velocidad decreciente de crecimiento a medida que el fruto alcanza su madurez y empieza a envejecer (Salisbury y Ross, 1994). Al respecto, en guayaba, la acumulación de masa fresca y seca sigue una curva doble sigmoide (Arenas et al., 1999), mientras que en feijoa (Rodríguez et al., 2006a) y arazá (Hernández et al., 2007) es sigmoide simple.

De otra parte, el estudio del desarrollo es importante para el establecimiento del punto óptimo de cosecha y para la aplicación de tecnológicas que retarden o reduzcan las actividades fisiológicas, con el fin de aumentar el periodo de conservación (Chitarra, 1998; Silva et al., 2009).

Durante el desarrollo de los frutos se presentan cambios, no solo a nivel físico, sino también a nivel bioquímico y fisiológico. A medida que los frutos avanzan en su estado de desarrollo aumenta el pH, los azúcares solubles, los aromas, sabores y colores propios de la especie. Se presenta pérdida de firmeza, disminución del almidón, de la clorofila y del contenido de ácidos, entre otros (Laguado et al., 1999). Según Medeiros y Raseira (1998), la maduración está acompañada de la producción de etileno y otras sustancias

volátiles, los cambios en el color, la tasa de respiración, la permeabilidad de los tejidos, y transformaciones químicas que afectan a los azúcares, ácidos orgánicos, proteínas, compuestos fenólicos, pigmentos, pectinas, y otros. Durante la maduración, se desarrollan los sabores y aromas específicos, los aumentos en la dulzura y la disminución de la acidez se vuelven más pronunciados. También es durante este periodo que se da el ablandamiento de la fruta.

La acumulación de los azúcares se asocia con el desarrollo de la calidad para el consumo; aunque los azúcares pueden ser transportados al fruto por la savia, también son aportados por el desdoblamiento de las reservas de almidón de los frutos (Wills et al., 1998). Según Fischer y Martínez (1999), cuando el fruto de la uchuva presenta su contenido de azúcares más alto ha alcanzado su madurez fisiológica. A lo cual, Chitarra y Chitarra (2005) afirman que a medida que los frutos maduran, parte de los sólidos se transforman en azúcares simples como glucosa, fructosa y sacarosa, generando aumento en los contenidos de sólidos solubles.

En guayaba los sólidos solubles se incrementan gradualmente con el desarrollo del fruto (Bulk et al., 1997), lo mismo que en arazá (Hernández, 2001). En guayaba se ha encontrado que el azúcar más abundante es la fructosa seguida por la glucosa y la sacarosa (Rezende et al., 1984). En feijoa se estableció un aumento en el contenido de ácidos orgánicos, similar a lo reportado en guayaba, en la que la acidez titulable aumentó progresivamente hasta la cosecha (Mercado-Silva et al., 1998). Hernández y Barrera (2004) determinaron que para arazá la relación de madurez fue 2,3, mientras que en frutos de *Campomanesia phae* se presentó una relación de madurez de 0,15 (Vallilo et al., 2005).

De acuerdo con Silva et al. (2009), los análisis químicos de pH, acidez total titulable, sólidos solubles totales son comúnmente realizados en la mayoría de frutos, pues están directamente relacionados con el sabor presentado. Las concentraciones presentadas pueden influenciar la aceptación del fruto por parte del consumidor. Chitarra y Chitarra (2005) mencionan que con la maduración, los frutos pierden rápidamente la acidez, pero en algunos casos, hay un pequeño aumento durante la maduración. Esto puede ser usado en conjunción con la dulzura, como punto de referencia de la madurez.



De acuerdo con Jesus et al. (2008), las características químicas indican con mayor precisión un determinado estadio de maduración, porque las características físicas pueden conducir a conclusiones erróneas, ya que el manejo de las plantas, durante el ciclo productivo puede ser distinto. Los atributos químicos más utilizados son contenido de sólidos solubles totales, acidez total titulable, relación de azúcares/acidez, entre otros. Todos son comparados con curvas patrones, preestablecidas para cada especie. Con la maduración, se produce un cambio en estos factores que indican el nivel de madurez de la fruta (Wachowicz y Carvalho 2002).

Durante el desarrollo de los frutos también se puede observar una disminución en la firmeza de los frutos, que generalmente coincide con la disolución de la lámina media, que resulta en una reducción en la adhesión intercelular, despolimerización, y solubilización de polisacáridos hemicelulósicos y pécticos de la pared celular (Brummell y Harpster, 2001). Además, se incrementa la expresión de varias enzimas que degradan la pared celular, principalmente hidrolasas de polisacáridos, transglicosilasas, liasas, y proteínas como la expansina (Brummell, 2006).

La poligalacturonasa (PG) y la pectinesterasa (PME) son las enzimas con mayor implicación en el ablandamiento de los frutos. Catalizan la modificación de pectinas y el desensamblaje (Hadfield y Bennett, 1998). El desensamblaje de pectinas ocurre en varios estados de desarrollo de la planta, especialmente en aquellos que requieren separación celular. La PG está asociada con la abscisión (Taylor et al., 1990), que resulta como consecuencia de la disolución de las paredes celulares entre células adyacentes (Sexton y Roberts, 1982). Esta enzima también está implicada en la dehiscencia de frutos (Sanders et al., 2001), en la expansión celular y en otros procesos relacionados con la pared celular. La PME está implicada en la desesterificación de pectinas, esto hace que sean más susceptibles a la actividad de la PG, lo que genera pérdida de firmeza y aumento del ablandamiento (Villavicencio et al., 2004). Además, la PG junto con otro gran número de enzimas, principalmente hidrolíticas, participa en los cambios que le confieren características sensoriales de color, aroma, sabor y textura (Bowers, 1992; Menéndez et al., 2006).

## 1.5 Análisis de crecimiento

El análisis de crecimiento es una aproximación cuantitativa para entender el crecimiento de una planta o de una población de plantas bajo condiciones ambientales naturales o controladas (Clavijo, 1989). El crecimiento puede ser cuantificado mediante el empleo de un conjunto de índices basados en modelos definidos mediante expresiones o funciones matemáticas (Hunt, 1990). Este análisis ha sido practicado de dos maneras distintas, la primera denominada análisis clásico, que contempla medidas hechas a intervalos relativamente largos de tiempo usando un gran número de plantas; la segunda denominada análisis funcional, este comprende medidas a intervalos de tiempo más frecuentes y usando un pequeño número de plantas. La diferencia entre los dos se basa en el uso del método de regresión hacia el análisis funcional (Hunt, 1990), en el presente estudio fue utilizado el análisis funcional de crecimiento. Álvarez (1999) reporta que el análisis de crecimiento puede ser usado para investigar la adaptación ecológica de los cultivos a nuevos ambientes, la competencia entre especies y los efectos del manejo entre cultivares, entre otros.

Opara (2000) reporta metodologías para la medida y análisis del crecimiento del fruto. Dos métodos distintos están disponibles: uno centrado en funciones empíricas matemáticas ajustadas a los datos de crecimiento observados que incluye técnicas de suavizado de dichos datos, y el segundo utiliza las ecuaciones propuestas derivadas de los mecanismos fisiológicos/bioquímicos que se creen están involucrados en los procesos de crecimiento del fruto. Minchin et al. (2003) utilizaron el primer método para determinar el peso final de frutos de kiwi (*Actinida chinensis*), además mencionan que las observaciones realizadas son usadas para seleccionar la función descriptiva más adecuada.

Según Rodríguez (2005), el crecimiento durante un intervalo de tiempo puede ser calculado por simple sustracción. Sin embargo, a partir de las medidas de materia seca en intervalos de tiempo definidos es posible determinar tasas que explican la dinámica del crecimiento en frutos, las principales tasas son: tasa absoluta de crecimiento (TAC) y tasa relativa de crecimiento (TRC), la TAC indica el cambio de tamaño por unidad de tiempo, mientras que la TRC expresa la tasa de variación del tamaño por unidad de

tamaño inicial (Hunt, 1990). En frutales destinados para el mercado en fresco, los estudios de crecimiento del fruto generalmente se basan en medidas del diámetro del fruto o del peso fresco (Austin et al., 1999; Minchin et al., 2003). El crecimiento del fruto es comúnmente analizado mediante curvas de ajuste (Beadle, 1993), lo cual permite calcular la TAC y TRC y de esta manera se facilita la predicción y previsión del tamaño del fruto, se identifica el tiempo de los estados críticos y se puede optimizar el manejo del cultivo (Godoy et al., 2008) y evitar diferencias en la calidad de frutos para el mercado nacional y de exportación (Candir et al., 2009).

## 1.6 Tiempo fisiológico

La temperatura controla la tasa de desarrollo de muchos organismos, que requieren de la acumulación de cierta cantidad de calor para pasar de un estado en su ciclo de vida a otro. La medida de este calor acumulado se conoce como Tiempo Fisiológico, y teóricamente este concepto que involucra la combinación adecuada de grados de temperatura y el tiempo cronológico, es siempre el mismo (WMO, 1993). El crecimiento y desarrollo de las plantas e insectos puede ser caracterizado por el número de días entre eventos observables, tales como floración y madurez de frutos, etc. El número de días entre eventos, sin embargo, puede constituir una mala herramienta porque las tasas de crecimiento varían con las temperaturas. La medición de eventos puede ser mejorada si se expresan las unidades de desarrollo en términos de tiempo fisiológico en lugar de tiempo cronológico, por ejemplo en términos de acumulación de temperatura. Es así como surge el término de grados día (GD) o grados calor día (GDC) que puede ser definido como días en términos de grado sobre una temperatura umbral (Arnold, 1959). De manera que para completarse una etapa fenológica es necesario la acumulación del requerimiento térmico, RT; este se mide en grados-días sobre la temperatura base.

El concepto de tiempo fisiológico o tiempo térmico se aplica ampliamente en agricultura y silvicultura (López, 2009). En diversos cultivos se utiliza para el cálculo de la tasa de aparición de nudos, hojas, inflorescencias (NeSmith, 1997; Normand y Lúchaudel, 2006; Fleisher y Timlina, 2006; Salazar, 2006) para la producción potencial (Clifton-Brown et al., 2000 y Salazar, 2006) y para el desarrollo de frutos (Almanza et al., 2010; Godoy et al., 2008).

## 1.7 Materiales y métodos

### 1.7.1 Ubicación

El experimento se desarrolló en su fase de campo en la finca “El Mango” de la vereda Ayatá en el municipio de Miraflores Boyacá, situado a 5°11'40” de latitud norte y a 73°08'44” de longitud oeste (anexo A), a un altura de 1432 msnm con una precipitación que oscila entre 2000 y 3000 mm, ocurrida en un periodo monomodal comprendido entre los meses de abril a septiembre, los datos de temperatura registrados indicaron que la temperatura media fue de 22,27±0,07 °C (anexo B; ± indica el error estándar), con una mínima promedio de 19,18±0,5 °C y una máxima promedio de 27,96±0,76 °C, la humedad relativa promedio fue de 80,08±0.03%. La fase de laboratorio se realizó en los laboratorios de Fisiología Vegetal y Poscosecha de la Facultad de Agronomía, en los laboratorios del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA), en el laboratorio de Frutas Tropicales de la Facultad de Química de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá y en el laboratorio del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi sede Bogotá.

### 1.7.2 Materiales para la investigación

Como material vegetal se seleccionaron árboles adultos de champa (no existen reportes de las variedades) de aproximadamente 10 años de edad. Adicionalmente se utilizó: caucho siliconado, bolsas plásticas y de papel, termo de icopor, cámara fotográfica, datalogger con puerto USB. En laboratorio, se utilizaron vasos de precipitado, tubos de ensayo, montaje para titulación, papel de filtro, pipetas, buretas, papel aluminio, papel filtro, agitadores magnéticos, plancha de agitación, probetas, tubos falcon y eppendorff, gradillas, celdas para espectrofotómetro, erlenmeyer, micro espátulas y espátulas, pipetas, micropipetas, puntas para micropipetas. Aparatos como procesador para frutas, refractómetro digital, agitador vórtex, penetrómetro digital, nonio digital, balanza de 0,001g, centrifuga, espectrofotómetro, HPLC y cromatógrafo de gases, entre otros.

### 1.7.3 Métodos

Se tomaron completamente al azar 30 árboles de los cuales se seleccionaron y marcaron 100 flores/planta del tercio medio de éstos, aunque solo se recolectarán aproximadamente 45 frutos/planta, este muestreo sobreestimado se hizo con el fin de

asegurar el total de frutos necesarios, ya que pueden haber pérdidas por caída de flores, flores no fecundadas, acción física por vientos o aves y/o problemas fitosanitarios. Los árboles de champa seleccionados están sembrados como sombrío para el cultivo de café a distancias aproximadas de 8 x 8 m, estos árboles no han recibido manejo técnico. Cuando se observó que aproximadamente el 50% de las flores estuvieran abiertas se procedió a realizar el marcaje de las mismas con caucho siliconado. En cada muestreo, los frutos fueron recolectados manualmente del árbol y empacados en bolsas de papel y/plásticas para luego ser ubicadas dentro de un termo de icopor, la recolección se hizo en la tarde para que al día siguiente en horas de la mañana se estuvieran realizando los análisis en el respectivo laboratorio.

Desde el día 26 después de floración, momento en el que el fruto permitió realizar las diferentes mediciones, hasta la cosecha se hicieron 10 muestreos cada 15 días, el último muestreo se hizo 7 días después del noveno muestreo, debido a que los frutos alcanzaron la madurez organoléptica. Se realizaron 10 repeticiones para las variables físicas, cada una compuesta por un fruto, para las determinaciones químicas se utilizaron entre tres y cuatro repeticiones, el tamaño de la repetición varió según el tipo de variable.

## 1.7.4 Sistema de variables

### Variable Independiente

- **Tiempo fisiológico, acumulación de grados calor día (GDC):** mediante la fórmula

$$\text{utilizada por Rodríguez y Flórez (2006): } GDC = \left( \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) - T_{\text{base}}$$

Donde  $T_{\max}$  es la temperatura máxima diaria del aire;  $T_{\min}$  es la temperatura mínima diaria del aire; la  $T_{\text{base}}$ , es la temperatura en que el proceso metabólico de la champa es mínimo. Debido a que no existen reportes de la temperatura base para champa se trabajó con la  $T_{\text{base}}$  de guayaba, la cual corresponde a 12 °C (Salazar et al., 2006).

### Variables Dependientes

Las variables de crecimiento, físicas y de calidad se determinaron quincenalmente, los ácidos orgánicos, la actividad poligalacturonasa, la tasa respiratoria y la producción de etileno se midieron aproximadamente cada 30 días.

- **Desarrollo del fruto:** descripción de los cambios fisicoquímicos del fruto respecto al tiempo fisiológico en GDC y en días desde la formación del botón floral hasta la cosecha, a partir del registro fotográfico.
- **Masa fresca:** se registró en semillas, parte comestible (pulpa + corteza) y total, se tomaron muestras de 10 frutos, se determinó con una balanza de precisión con aproximación de 0,001 g.
- **Masa seca:** se midió en semillas, parte comestible y total después de introducir los frutos en una mufla a 75 °C hasta peso constante.
- **Diámetro polar (DP):** Se obtuvo el diámetro existente entre los polos del fruto midiendo con un calibrador digital de aproximación 0,01 mm.
- **Diámetro ecuatorial (DE):** Medida obtenida en la zona ecuatorial del fruto a través de un calibrador digital de aproximación 0,01 mm.
- **Tasa Absoluta de crecimiento (TAC) y Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) de la masa fresca y seca total:** mediante las ecuaciones de la tabla 1-1 (Hunt, 1990).

**Tabla 1-1:** Ecuaciones utilizadas para determinar TAC y TRC

Índice	Descripción	fórmula	Unidades
TAC	Tasa Absoluta de Crecimiento	$(dW/dt)$	$g\ d^{-1}$
TRC	Tasa relativa de crecimiento	$(1/W)(dW/dt)$	$g\ g^{-1}\ d^{-1}$

W = masa seca total (g);  $dW/dt$  = variación de la masa seca en función del tiempo.

- **Firmeza del fruto (N):** mediante la utilización de un penetrómetro digital PCE-PTR200 con aproximación 0,05 N.
- **Acidez titulable (ATT):** se realizó de acuerdo a la metodología de la AOAC (AOAC, 1995), mediante cálculos con datos de volumen de NaOH, incorporado en 5 g de jugo de frutos agregando 3 gotas de fenoftaleína en una titulación potenciométrica hasta pH de 8,2. para ello, se utiliza la fórmula. %Acidez =  $(A*B*C)*100/D$ . En donde: A =

Volumen de NaOH gastado; B = Normalidad del NaOH (0,097); C = peso equivalente expresado en g de ácido predominante en el fruto (ácido cítrico 0,064 g meq<sup>-1</sup>); D = peso en gramos de la muestra utilizada (5g).

- **Sólidos solubles totales (SST):** a través de mediciones de grados Brix con un refractómetro digital marca Hanna de rango 0 a 85% con precisión 0,1 °Brix.
- **Relación de madurez (RM):** mediante la relación SST/ATT.
- **pH:** se tomaron 5 ml de jugo de champa, y se midió con un potenciómetro previamente calibrado con soluciones buffer de pH 7,0 y 4,0.
- **Ácidos orgánicos:** se determinaron cada mes siguiendo la metodología utilizada por Ávila et al. (2007) mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, marca Jasco) con columna (300 x 7,8 mm) de METACHEM 87-H. Se utilizó como fase móvil una solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 4,0 mM (flujo: 0,6 mL·min<sup>-1</sup>), preparado a partir de ácido sulfúrico grado analítico y agua grado HPLC. De acuerdo con la metodología descrita por ICTA (2006) y con algunas modificaciones, se pesaron aproximadamente 2 g de pulpa de fruta, se adicionaron 15 mL de agua para HPLC y se agitó en la plancha de agitación por 5 min. El contenido del beaker se llevó a un balón aforado de 50 ml, y se completó el volumen con agua para HPLC, se homogenizó y luego se llevó a ultrasonido por 14 min. La solución resultante se centrifugó a 4.500 rpm por 5 min, se tomó el sobrenadante y se depositó en viales de 2 mL mediante una jeringa dotada con dos filtros de membrana de 0,45 µm y 0,2 µm respectivamente. Posteriormente, la solución obtenida se inyectó en el HPLC para determinar los ácidos orgánicos cítrico, málico succínico y oxálico. El detector (UV- 9757 marca Jasco) estuvo a una longitud de onda de 210 nm. Dichos ácidos fueron cuantificados mediante comparación con el tiempo de retención y las áreas integradas de estándares externos.
- **Actividad Poligalacturonasa (PG):** se determinó siguiendo la metodología utilizada por Espinal (2010) para guayaba, esta medición se hizo cada mes. Para la extracción de la enzima, en un tubo Falcon de 15mL se pesó aproximadamente 1 g de la muestra de champa (previamente triturada en un procesador de alimentos, se adicionaron 5mL de acetona a 4°C, se agitó en vortex (20°C 1min y 2500rpm) y se centrifugó (4°C, 15min y 6500 rpm), se eliminó el sobrenadante y al pellet formado se le realizaron 3 lavados más para lograr que el sobrenadante quedara incoloro. El pellet obtenido (polvos de acetona) fue resuspendido en 5mL de buffer citratos

200mM pH 4,5 con NaCl 0,10 M y se agitó (4°C, 4 horas y 2500 rpm). La suspensión se centrifugó (4°C, 15min y 6500 rpm) y el sobrenadante (extracto crudo) se guardó a 4°C para la medida de la actividad enzimática de PG y para la cuantificación de proteína.

Para determinar la actividad PG se midieron 120  $\mu$ L de una solución de ácido poligalacturónico (APG) 12,5mg mL<sup>-1</sup> preparado en buffer de citratos 200mM pH4,5 con NaCl 0,10 M se le adicionaron 50  $\mu$ L de buffer de citratos 200mM pH4,5 con NaCl 0,10 M en un tubo eppendorff. La muestra anterior se incubó a 35 °C durante 5 min y se adicionaron 80  $\mu$ L del extracto enzimático crudo incubado también a 35°C, esta mezcla se incubó a la misma temperatura durante 30 min con agitación constante y se detuvo la reacción mediante calentamiento a 92°C durante 5min. El ácido galacturónico formado se cuantificó mediante el método de Nelson y Somogyi (Nelson 1944; Somogyi, 1952) para la determinación de azúcares reductores. También se debió realizar un blanco de enzima (170  $\mu$ L de buffer + 80  $\mu$ L de extracto enzimático) y un blanco de sustrato (120  $\mu$ L de sustrato + 130  $\mu$ L de buffer).

A los 250  $\mu$ L de las mezclas de reacción anteriores se le adicionaron 200  $\mu$ L del reactivo de Somogyi I y 50  $\mu$ L del reactivo de Somogyi II (Anexo C), la mezcla se calentó a 92°C durante 20 min, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se adicionaron 250  $\mu$ L del reactivo de Nelson (anexo C) y 1000  $\mu$ L de agua, se agitó en vortex (2500 rpm, 20°C, 10 segundos), se dejó en reposo durante 20 min y se midió la absorbancia. La medida de la actividad de la poligalacturonasa se realizó por medio de la medida espectrofotométrica de los azúcares reductores generados tras la acción enzimática sobre el sustrato, ácido poligalacturónico (APG), a 500 nm (Nelson 1944; Somogyi, 1952; Prasanna et al., 2006). La unidad de actividad enzimática específica de PG (UPG) fue expresada como los nmol de ácido galacturónico generados por segundo por mg de proteína (nmol APG/s\*mg de proteína). La proteína se cuantificó en los extractos enzimáticos por el método de Bradford modificado (Zor y Selinger, 1996), con lectura de absorbancia a 450 nm y 590 nm. Como patrón de cuantificación se empleó BSA (Rodríguez et al., 2006c).

- **Determinación de la tasa de respiración (mg CO<sub>2</sub>•kg<sup>-1</sup>•h<sup>-1</sup>) y producción de Etileno ( $\mu$ L C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>•kg<sup>-1</sup>•h<sup>-1</sup>):** se determinó siguiendo la metodología utilizada por



Hernández et al. (2007). Aproximadamente 50 g de frutos de champa fueron colocados en cámaras herméticas de respiración de 400 cm<sup>3</sup> durante 1 hora para determinación de CO<sub>2</sub> y 90 minutos para etileno, al cabo de este tiempo se extrajo una muestra de 0,1 µL de gas de la cámara de respiración con una jeringa Hamilton, para luego ser inyectada en el cromatógrafo de gases (CG). El CO<sub>2</sub> y el etileno fueron determinados mediante cromatografía de gases usando un cromatógrafo Agilent 4890D junto con un integrador 3395/3396. Para las mediciones del CO<sub>2</sub> y el etileno, el CG fue equipado con un detector de conductividad termal y un detector de ionización de llama respectivamente. Adicionalmente, el CG estuvo equipado con una columna Super-qplot hp 1909P con una fase granulada (25cm de longitud, 25µm de espesor de la película y 53 mm de diámetro). Las temperaturas del horno, inyector y TCD para la determinación de CO<sub>2</sub> fueron 30, 50, y 300 °C, respectivamente. Para la determinación de la producción de etileno, las correspondientes temperaturas para el horno, inyector y FID fueron 30, 50 y 250 °C respectivamente. Las tasas de flujo para helio, aire sintético e hidrógeno fueron 30, 300 y 48 mL min<sup>-1</sup>.

### **1.7.5 Análisis estadístico**

Se realizó un análisis descriptivo, se determinó el promedio y el error estándar. Se graficó el comportamiento de cada una de las variables respecto al tiempo fisiológico (GDC) y cronológico (días) y se determinaron los modelos estadísticos más adecuados. Las curvas y tasas de crecimiento fueron determinadas mediante análisis funcional, siguiendo la metodología utilizada por Carranza et al. (2009), además, se realizó la prueba de correlaciones de Pearson entre variables, todo mediante la utilización del software SAS v. 8.1e (Cary, N.C).







## **1.8 Resultados y discusión**

### **1.8.1 Desarrollo del fruto**

En la tabla 1-2 se puede observar el desarrollo del fruto de champa y la duración en tiempo fisiológico y cronológico, mientras que en el anexo D se muestra la equivalencia de los días después de floración (ddf) y los GDC que el fruto acumuló hasta la cosecha. La floración de los árboles de champa se dio al poco tiempo que iniciaron las lluvias en la

zona, previo a este suceso se presentó un largo periodo de sequía por ausencia de lluvias y riego, no obstante, el estrés hídrico es indispensable para que ocurra la floración en especies tropicales, tal como lo afirma Agustí (2003) y Orduz-Rodríguez y Fischer (2007) para cítricos.

**Tabla 1-2:** Desarrollo del fruto de champa en tiempo fisiológico

Estado	Foto	Estado	Foto
<b>Floración</b> 0-53,37 GDC 5 ddf		<b>Fruto al final del estado 1 de desarrollo (E1), 582,1 GDC</b> 54 ddf	
<b>Cuajado del fruto</b> 53,37-207,3 GDC 5-19 ddf		<b>Fruto al final del estado 2 de desarrollo (E2), 1422,8 GDC</b> 138 ddf	
<b>Fruto a los 282,2 GDC</b> 26 ddf		<b>Fruto en madurez de consumo, estado 3 de desarrollo (E3), 1489,1GDC</b> 145 ddf	

El árbol de champa presenta inflorescencias formadas por pequeños racimos simples, con flores aisladas, medianas, cáliz con cinco sépalos soldados de color blanco, corola

con cinco pétalos libres de color blanco o amarillo. Ovario unicarpelar, verde, globoso, vellosos. Las flores están en pedicelos largos (www.siamazonia.org.pe, 2011), tal como se observa en la tabla 1.2, además se encontró una abundante floración aunque inferior a la de otros años, se estima que un árbol adulto puede producir algo más de 10.000 flores (López, 2010). El estado de floración en el presente estudio tuvo una duración de 5 días, durante los cuales se acumularon 53,37 GDC (Tabla 1-2).

La transición entre la floración y el cuajado del fruto tuvo una duración aproximada de 14 días y se alcanzó una acumulación de 207,3 GDC (Tabla 1-2), al final de la floración, los pétalos se tornaron amarillentos y luego color café, perdieron turgencia y se desprendieron del resto de la flor, de forma simultánea, el receptáculo aumentó lentamente su tamaño e incrementó su diámetro ecuatorial un poco más que el polar hasta que adquirió la forma característica del fruto de champa, una baya redonda ligeramente achatada que conserva el cáliz o conjunto de sépalos, en este caso de color verde intenso. En este estado, los frutos no superaron los 3mm de diámetro ecuatorial y solamente estuvieron listos para realizar las diferentes mediciones desde los 282,2 GDC (26 ddf).

La duración total desde la floración hasta la cosecha del fruto fue de 1489,1 GDC en 145 días. Para la misma zona, Balaguera et al. (2009) reportaron una duración de 160 días, valores que difieren de forma representativa y según Castro Neto y Reinhardt (2003) pueden ser atribuidas a variaciones en el ciclo de crecimiento de las plantas, y en consecuencia, a la duración del periodo reproductivo y de crecimiento del fruto. Lo anterior pone de manifiesto la importancia de expresar el crecimiento y desarrollo de los frutos de champa en tiempo fisiológico o tiempo térmico, pues según López et al. (2010), en el trópico la temperatura es la variable ambiental con mayor influencia en el desarrollo de los cultivos. El efecto de la temperatura se ejerce a través de su acción sobre las reacciones enzimáticas que directa o indirectamente intervienen en los procesos de desarrollo (Normand y Léchaudel, 2006).

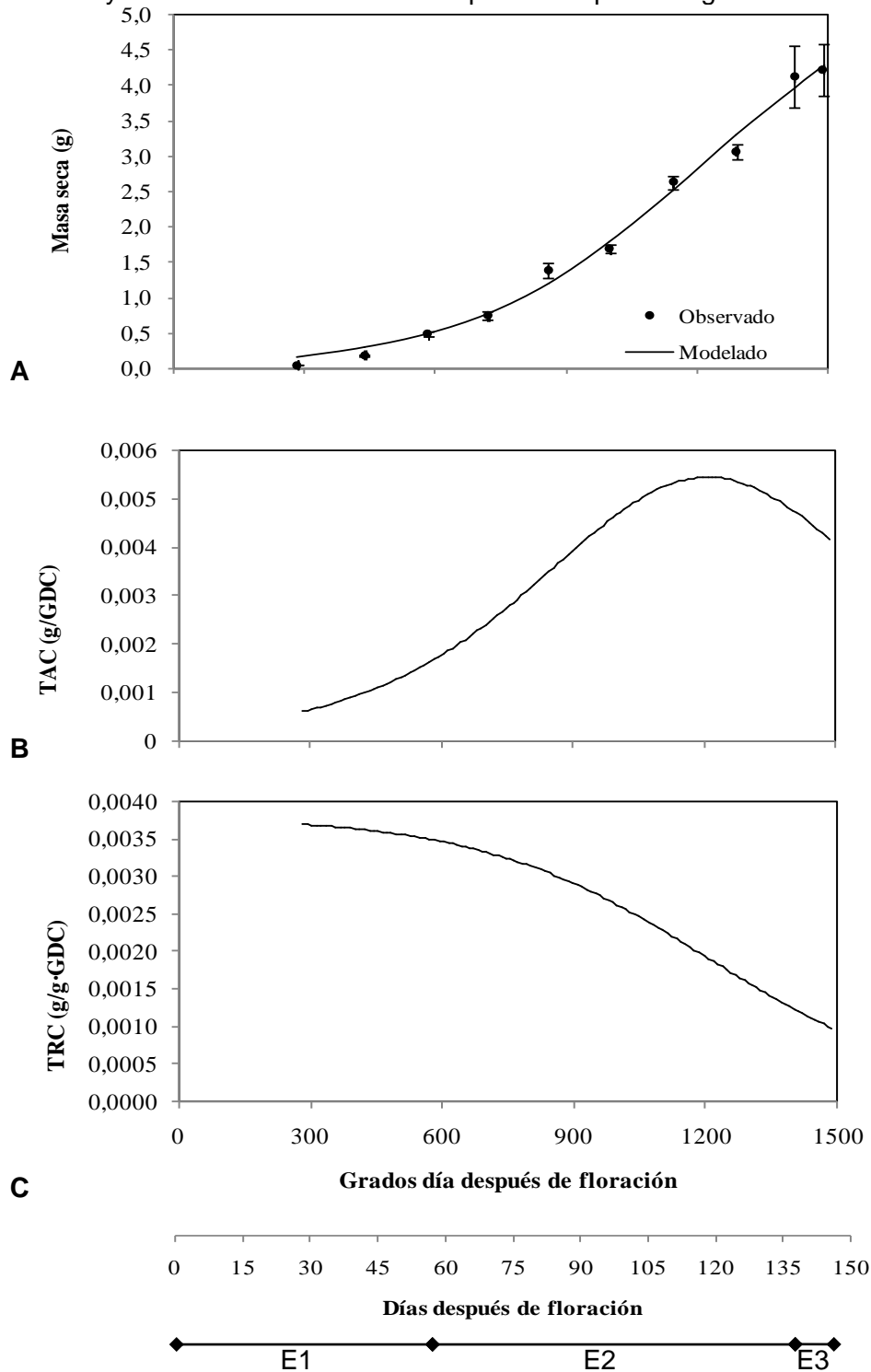
Se reporta que a medida que la temperatura ambiental disminuye, las tasas de desarrollo del vegetal se reducen, a tal punto que si la temperatura baja al límite, el desarrollo se

detiene; a esta temperatura se denomina base. Por el contrario, a medida que la temperatura aumenta, las tasas de desarrollo se incrementan hasta una temperatura óptima, a partir de la cual estas disminuyen y eventualmente se detienen en su temperatura máxima de desarrollo (Trudgill et al., 2005). Lo anterior indica que las temperaturas que se presentaron durante este estudio fueron más favorables para el desarrollo del fruto y de esta manera se acortó el ciclo de desarrollo respecto al reportado por Balaguera et al. (2009). López y Rodríguez (1995), mencionan que en la región de Lengupá Boyacá, en la cual se encuentra ubicado el municipio de Miraflores, la cosecha comprende desde el mes de julio hasta mediados de noviembre, pero el mayor porcentaje de producción se presentó en septiembre, y que este periodo de cosecha está influenciado por factores climáticos y la altitud de la zona. Al comparar el periodo de desarrollo del fruto de champa con el de otras mirtáceas, se puede evidenciar claramente que es superior al reportado para arazá con 8,5 semanas y similar al de feijoa, en el que Rodríguez et al. (2006a) encontraron que los frutos de los clones 41 (Quimba) y 8-4 tardaron 154 y 147 días respectivamente.

### 1.8.2 Masa seca total

La acumulación de masa seca total indicó que los frutos de champa presentaron un crecimiento sigmoide simple (Figura 1-1A) que concuerda con lo encontrado por Balaguera et al. (2009) y Álvarez et al. (2009a) en esta misma especie. Esta curva sigmoide simple propia de frutos carnosos (Salisbury y Ross, 1994), se ha encontrado también en arazá (Hernández et al., 2007), feijoa (Rodríguez et al., 2006a), tomate (Casierra-Posada et al., 2007), guabiroba (*Campomanesia pubescens*; Silva et al., 2009) y manzana (Yuri et al., 2011). Por el contrario, en otra mirtácea como lo es la guayaba, la acumulación de masa fresca y seca sigue una curva doble sigmoide (Cañizares et al., 2003; Arenas et al., 1999; Mercado-Silva et al., 1998). El comportamiento de la masa seca se ajustó a un modelo de crecimiento tipo logístico (Tabla 1-3) reportado para champa por Balaguera et al. (2009) y Álvarez et al. (2009a) y por Hernández et al. (2007) para frutos de arazá.

**Figura 1-1:** Comportamiento de: A. la masa seca; B. TAC y C. TRC durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico.



Las barras verticales indican el error estándar (n=10). Estados de desarrollo: E1. División celular, E2. Elongación celular, E3. Maduración.

En la figura 1-1 se pueden observar las tres fases de crecimiento descritas por Salisbury y Ross (1994) y Opara (2000), donde la acumulación de masa seca fue de forma exponencial con el tiempo, con una rapidez de crecimiento baja desde la formación del fruto hasta los 582,1 GDC (54 ddf), momento en el que acumuló  $0,48 \pm 0,03$  g, valor que indica baja cantidad de materia y se debe a que en esta fase predomina el proceso de división celular (Opara, 2000), luego aumentó en forma continua y representativa hasta los 1422,8 GDC (138 ddf) y tuvo una ganancia de  $4,13 \pm 0,45$  g, proceso dominado en esta fase por el llenado de fruto y, posiblemente, por la disminución en la respiración (Kays, 2004), por último, la fase de maduración fue muy corta y tuvo una duración de tan solo 66,3 GDC, pues finalizó a los 1422,8 GDC (145ddf), en este punto los frutos presentaron una masa seca de  $4,29 \pm 0,36$ g, valor un tanto inferior al reportado por Balaguera et al. (2009) para este mismo fruto, quienes reportaron una masa seca de 5,21g.

De acuerdo con Días (2001), el aumento de la masa seca del fruto de champa puede ser explicado por la formación de proteínas, azúcares y otras sustancias acumuladas durante el desarrollo del fruto. Consecuentemente, Castro Neto y Reinhardt (2003), mencionan que la acumulación de peso seco puede ser consecuencia de una mayor participación de la fotosíntesis, asociada a la translocación de materia seca de otras partes de la planta hacia el fruto, pues la removilización de fotoasimilados previamente fotosintetizados es del 40 al 50% del peso del fruto.

Además, se ha encontrado que en frutos inmaduros de tomate la fotosíntesis no es despreciable (Czarnowski y Starzecki, 1992), y puede ser responsable de cerca del 10% de la materia seca presente en los frutos (Ho y Grimbly, 1990), esto hace pensar que la actividad autotrófica de los frutos de champa en las primeras fases del desarrollo pueden favorecer la acumulación de masa en dichos frutos.

La TAC tuvo un ascenso lento en la primera fase de crecimiento, luego aumentó rápidamente hasta alcanzar su punto máximo a los 1208,5 GDC con  $0,00545$  g/GDC, después de este punto la TAC disminuyó hasta la cosecha (Figura 1-1B), es decir que la máxima tasa de crecimiento se presentó en la etapa 2 de desarrollo, lo cual concuerda con lo observado en arazá (Hernández et al., 2002) y feijoa (Rodríguez et al., 2006a).

Además, el comportamiento de la TAC presentó solo un pico máximo, lo cual es típico para frutos con crecimiento sigmoide simple como el observado en manzana (Yuri et al., 2011), por su parte, frutos doble sigmoide presentan TAC con dos picos máximos (Almanza et al., 2010; Minchin et al., 2003; Godoy et al., 2008). Respecto a la TRC, se observó que disminuyó constantemente, no obstante, hasta los 582,1GDC dicha disminución fue lenta con 0,00348 g/g/GDC, y posteriormente, la TRC decreció de manera drástica hasta la cosecha (Figura 1-1C) y estaría corroborando la característica de crecimiento sigmoide de los frutos de champa, este comportamiento concuerda con el encontrado en manzana por Yuri et al., (2011) y en tomate por Casierra-Posada et al., (2007) Casierra y Cardozo (2009), no obstante, en champa la disminución de la TRC fue más lenta en el primer estado de desarrollo, esto indica que los frutos de champa tienen un crecimiento más lento en dicha etapa que los frutos mencionados.

**Tabla 1-3:** Ecuaciones del modelo logístico para la masa fresca y seca de los frutos de champa durante el crecimiento y desarrollo, en tiempo fisiológico.

Tratamiento	Modelo	RSME
Masa fresca del fruto	$Y = 4363,6/1 + e^{(-0.00268(GDC-31305))}$	2,647
Masa seca del fruto	$Y = 5,7283/1 + e^{(-0.00388(GDC-12086))}$	0,0243
Masa fresca de pulpa	$Y = 9960,6/1 + e^{(-0.00248(GDC-40884))}$	0,8847
Masa seca de pulpa	$Y = 3,1651/1 + e^{(-0.00424(GDC-998,2))}$	0,0208
Masa fresca de semilla	$Y = 9,9938/1 + e^{(-0.00718(GDC-13827))}$	0,1621
Masa seca de semilla	$Y = 1,6030/1 + e^{(-0.00826(GDC-12532))}$	0,00198

**RSME:** raíz cuadrada del cuadrado medio del error

El conocimiento de la tasa absoluta de crecimiento es un indicativo del poder vertedero de los frutos (Hunt, 1990; 2003); de acuerdo con esto, Casierra y Cardozo (2009) comentan que es importante reconocer que las labores agrícolas tendientes a mejorar la acumulación de materia seca en los frutos se deben llevar a cabo hasta la mayor TAC, dado que es el periodo en que el fruto es sensible de influenciarse por actividades como la fertilización foliar, el suministro de agua e incluso por un mayor suministro de luz. La TRC es un índice de eficiencia que expresa el crecimiento en términos de una tasa de

incremento en tamaño por unidad de tamaño y tiempo (Pedroza *et al.*, 1997); en el caso de los frutos estaría indicando la ganancia obtenida como vertedero, pues la mayoría de los fotoasimilados del fruto provienen de las hojas y una menor parte procede de la fotosíntesis del mismo fruto en su estado verde (Casierra y Cardozo, 2009).

### **1.8.3 Masa fresca total**

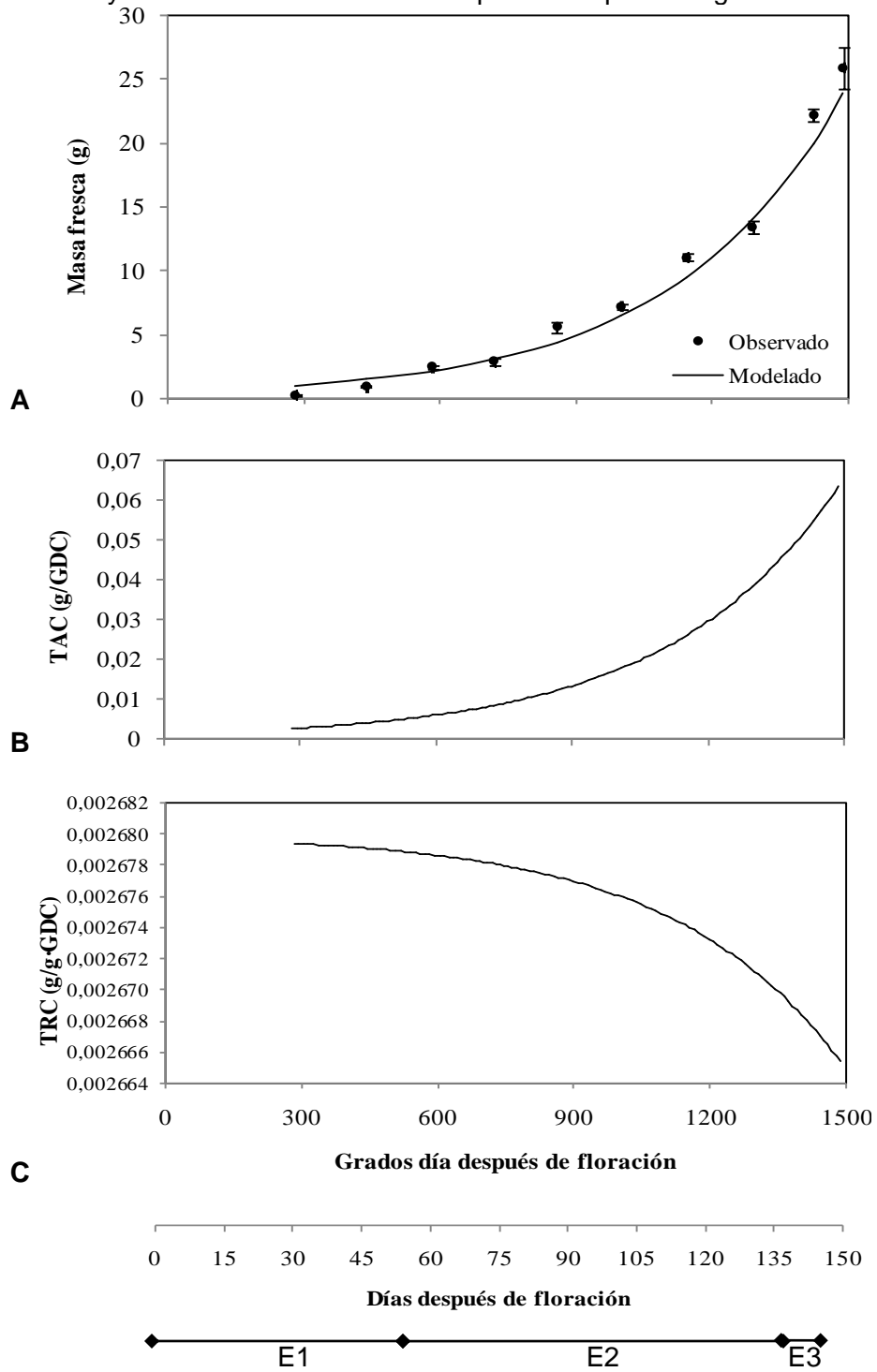
La masa fresca de los frutos de champa se ajustó a un modelo logístico (Tabla 1-3), sin embargo, no se evidenció un detenimiento en la acumulación de masa fresca en la fase de maduración, situación que también fue observada en frutos de feijoa (Rodríguez *et al.*, 2006a). En la cosecha los frutos alcanzaron  $26,13 \pm 1,69$ g (Figura 1-2A). En la primera etapa, el aumento de la masa fresca es bajo debido a que en este periodo se presenta una elevada división celular, que comienza antes de la antesis y continua hasta los primeros días poscuajado, la división celular es estimulada por acción de fitohormonas asociadas con la polinización (Nacif, 1991). Luego se presenta elongación celular, influenciada por la plasticidad de las paredes celulares y por la presión de turgencia de las células, responsable del aumento pronunciado en volumen y masa (Coombe, 1960; Garcés, 1987). Al respecto, Chitarra y Chitarra (2005) mencionan que algunas hormonas pueden estar implicadas en el crecimiento del fruto, siendo las auxinas las principales responsables. Las auxinas participan activamente del crecimiento de las células del fruto, están relacionadas positivamente con el tamaño y forma final.

De otra parte, la curva no fue asintótica debido a la continua acumulación de fotoasimilados en la última etapa de crecimiento del fruto (Grange, 1996), principalmente agua y concuerda con el comportamiento reportado por Balaguera *et al.* (2009) para esta misma especie.

Además, es posible que en frutos de champa, el aumento de la concentración de azúcares durante la maduración traiga como consecuencia una disminución en el potencial osmótico, y por lo tanto, un aumento en la masa fresca del fruto producido por un incremento en la capacidad de retención de agua del mismo (Coombe, 1960).



**Figura 1-2:** Comportamiento de: A. la masa fresca; B. TAC y C. TRC durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico.



Las barras verticales indican el error estándar (n=10). Estados de desarrollo: E1. División celular, E2. Elongación celular, E3. Maduración.

Se encontró que el contenido de humedad de los frutos de champa fue del 83,4% en el momento de la cosecha, valor levemente superior al reportado por Balaguera et al. (2009), porcentaje que puede considerarse alto, no obstante, es inferior al presentado en frutos de *Campomanesia phae* (88,8%) (Vallilo et al., 2005). Esta es una característica común de los frutos de la familia Myrtaceae, que en su mayoría son frutos carnosos y succulentos, confirmando lo descrito por Gemtchüjnicov (1976) y Legrand y Klein (1977) para frutos de la subfamilia Myrtoidea, a la cual pertenece la champa. Valores cercanos al 80% fueron encontrados en mango por Castro Neto y Reinhardt (2003).

El comportamiento de la masa fresca se ratificó con la TAC, pues no presentó el comportamiento típico en campana reportado por Salisbury y Ross (1994), la TAC ascendió continuamente durante todo el crecimiento, al final de la fase uno su valor fue de 0,00565 g/GDC y en la cosecha 0,0636 g/GDC (Figura 1-2B).

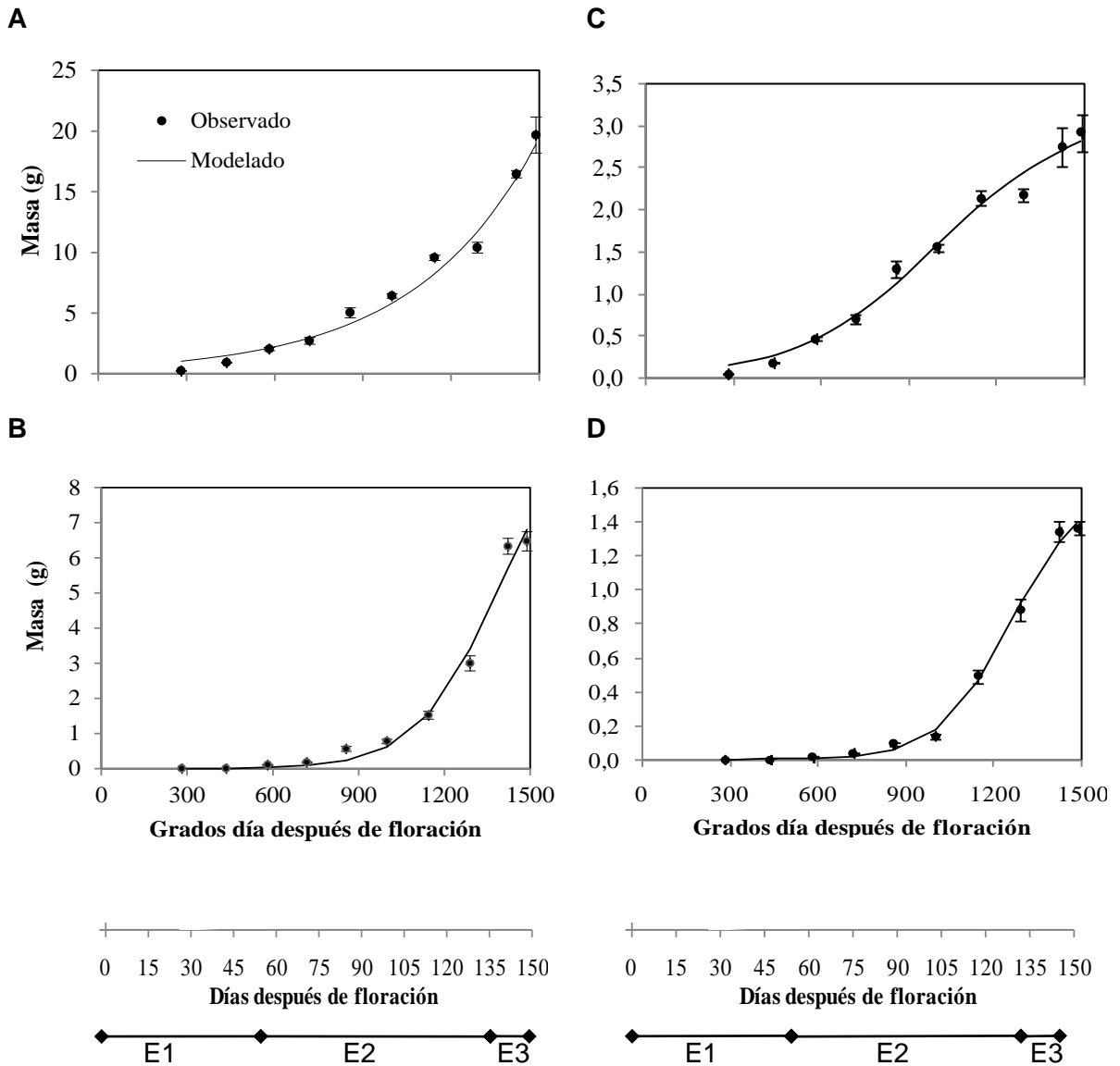
La TRC disminuyó continuamente, pero su descenso fue más marcado desde los 582,1GDC, al inicio se presentó una TRC de 0,00267 g/g/GDC y en la cosecha de 0,00266 g/g/GDC (Figura 1-2C). Según Carranza et al. (2009), la tasa relativa de crecimiento expresa el incremento en masa seca de la planta (en este caso del fruto) en un intervalo de tiempo dado, tomando como referencia el valor inicial de la masa seca producida y acumulada, por lo cual, la TRC tiende a disminuir durante el crecimiento.

#### **1.8.4 Masa fresca y seca de parte comestible y semilla**

Las masas fresca y seca de parte comestible presentaron un comportamiento que se ajustó a un modelo de crecimiento tipo logístico (Tabla 1-3). La masa fresca de pulpa tuvo un leve incremento hasta los 582,1 GDC con  $2,04 \pm 0,13$ g, posteriormente, el incremento fue continuo y representativo hasta la cosecha donde se acumularon  $19,66 \pm 1,49$ g (Figura 1-3A). La masa seca de parte comestible presentó un comportamiento sigmoide simple, donde la baja acumulación de masa fue hasta los 582,1 GDC, se presentó luego un alto incremento hasta los 1422,8 GDC y aunque siguió aumentando la masa seca hasta la cosecha, en la última etapa lo hizo de manera más lenta (Figura 1-3C). Respecto a la masa fresca, la parte comestible representó el 72% y en masa seca el 68%, estos valores indican que el crecimiento del fruto depende principalmente del crecimiento del meso y exocarpo, Álvarez et al. (2009a) reporta

valores del 60% en esta misma especie. Un comportamiento parecido fue encontrado en las masas fresca y seca de pulpa de mandarinas cv 'Poncã' (Esposti et al., 2008).

**Figura 1-3:** Comportamiento de: A. masa fresca de pulpa; B. masa fresca de semilla C. masa seca de pulpa y D. masa seca de semilla durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico



Las barras verticales indican el error estándar (n=10). Estados de desarrollo: E1. División celular, E2. Elongación celular, E3. Maduración.

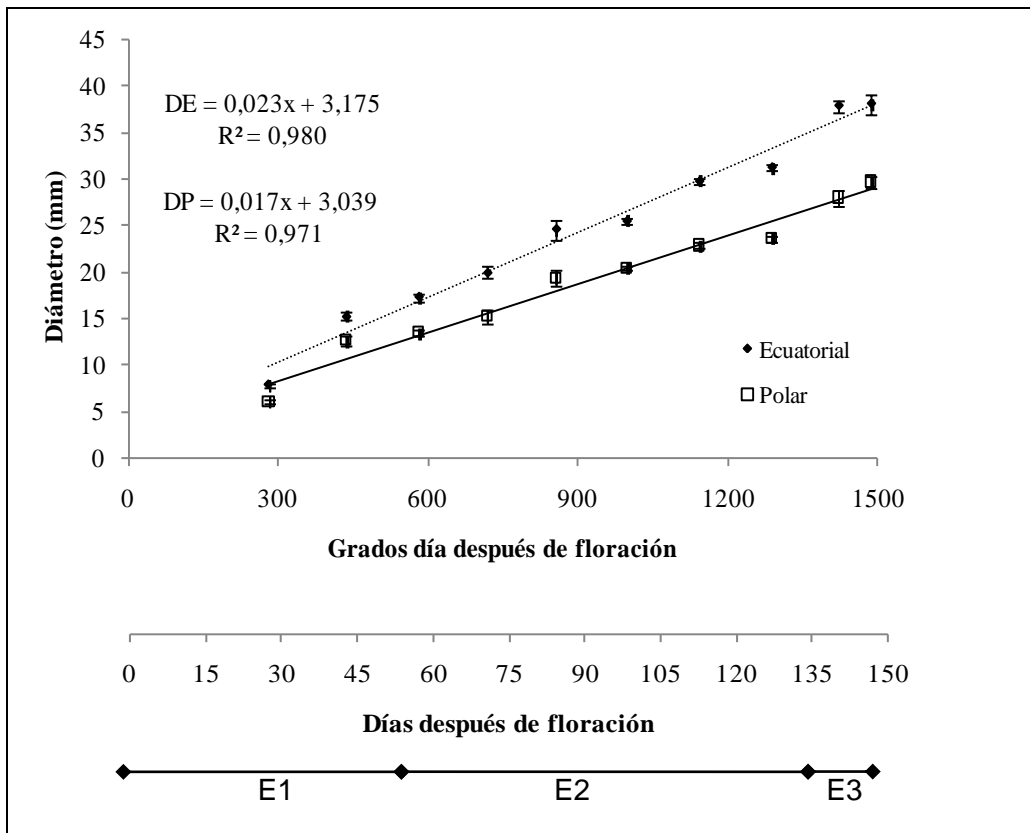
Solo hasta los 582,1 GDC el tamaño de las semillas permitió separarlas de la pulpa y determinarles la masa. La ganancia de masa fresca y seca de las semillas tuvo un comportamiento sigmoideal que se ajustó a un modelo logístico. Dichas masas fueron muy bajas hasta los 999,4 GDC, según Castro et al. (2004), esta fase corresponde a la división celular y durante esta etapa, la histodiferenciación y la morfogénesis de la semilla se presentan a medida que el cigoto unicelular se somete a divisiones celulares extensivas y las células resultantes se diferencian para dar forma al embrión. La segunda fase de desarrollo observada fue la de crecimiento acelerado que concluyó a los 1422,8GDC (138 ddf), esta fase se caracteriza por la deposición de reservas en los tejidos del endospermo (Méndez et al., 2006) y por la ganancia de agua (Castro et al., 2004). Después, el crecimiento nuevamente fue lento hasta los 1489,1 GDC, alcanzando su máximo valor con  $6,47\pm 0,28$ g y  $1,37\pm 0,04$  g para la masa fresca y seca respectivamente (Figura 1-3 B, D). Durante esta fase, las vacuolas disminuyen su tamaño a medida que los compuestos de almacenamiento se acumulan y el peso de la materia seca aumenta (Castro et al., 2004), además, estos mismos autores mencionan que el desarrollo de las semillas termina con una fase pre-programada de desecación, que se caracteriza por pérdida de masa fresca, la cual no fue observada en los frutos champa.

Las semillas representan el 28% del fruto en masa fresca y el 32% en masa seca, lo cual difiere de lo encontrado por Álvarez et al. (2009a) para esta misma especie, pues estos autores reportan en los dos casos valores alrededor del 40%, lo cual indica junto con lo encontrado en los porcentajes de parte comestible que posiblemente factores de orden genético, climático y de manejo pueden estar influenciando la distribución de fotoasimilados en los frutos de champa. En frutos de litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) el porcentaje de semillas apenas fue del 15,3% (Salomao et al., 2006). Adicionalmente, Carvalho et al. (1997), reportan que las semillas de champa son recalcitrantes. Se encontró un total de  $8,9\pm 0,35$  semillas, resultado que concuerda con lo afirmado por Villachica (1996), quien menciona que los frutos de champa presentan de cuatro a diez semillas aplanadas, circulares, de 1cm de diámetro, color marrón claro y de sabor amargo.

### 1.8.5 Diámetro del fruto

Los diámetros polar y ecuatorial del fruto de champa incrementaron de manera lineal en función de la acumulación de GDC, no obstante, el DE fue mayor que el DP. El DE presentó una velocidad de incremento de 0,023 mm/GDC mientras que en el DP la velocidad fue de 0,017 mm/GDC, en el momento de la cosecha el DE fue de  $38,1 \pm 0,99$  mm y el DP de  $29,8 \pm 0,67$  mm (Figura 1-4). A diferencia de este resultado, en arazá, el comportamiento del diámetro del fruto se ajustó a un modelo logístico que indica un crecimiento sigmoideal simple (Hernández et al., 2007), similar que en feijoa (Rodríguez et al., 2006a), en guayaba el comportamiento del diámetro es sigmoideal doble (Mercado-Silva et al., 1998) mientras que en guabiroba dichas dimensiones se ajustaron a una función cuadrática (Silva et al., 2009).

**Figura 1-4:** Comportamiento del diámetro ecuatorial y polar durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico.



Las barras verticales indican el error estándar (n=10). Estados de desarrollo: E1. División celular, E2. Elongación celular, E3. Maduración.

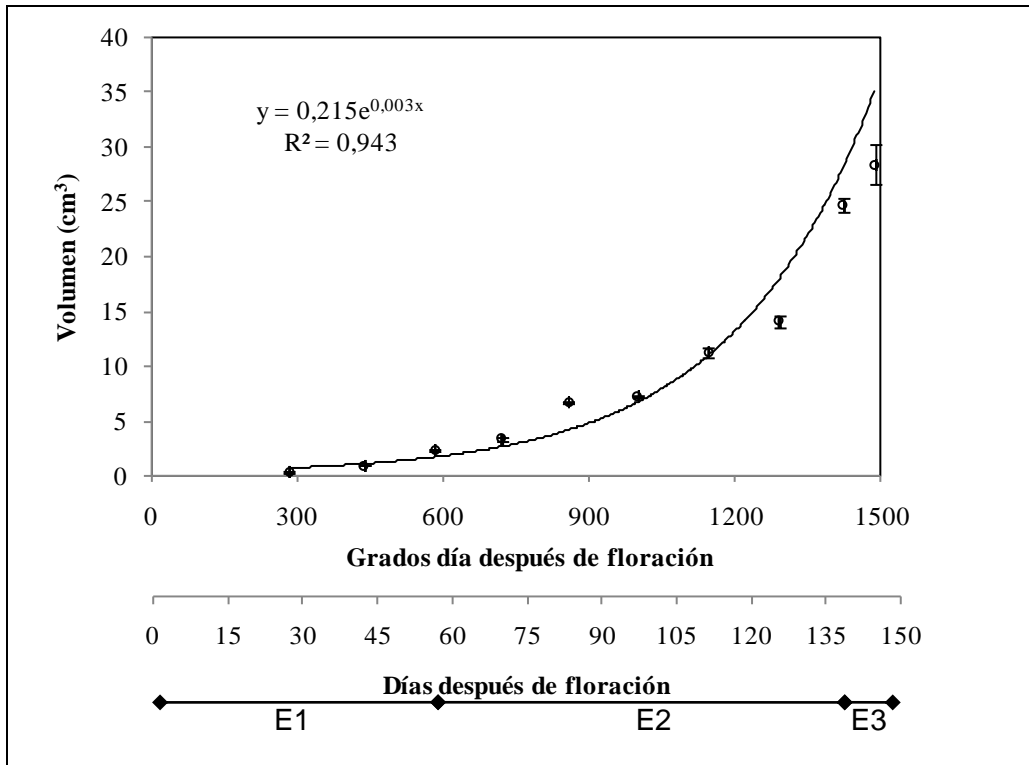
Desde la formación del fruto el DE fue mayor que el DP, esto indica que desde E1, el fruto de champa presenta su forma característica que corresponde a una baya redonda ligeramente achatada (López y Rodríguez, 1995). La forma que adquiere el fruto de champa durante los primeros estados de su crecimiento puede ser un efecto de los reguladores de crecimiento producidos por las semillas inmaduras, de los cuales, el ácido giberélico cumple un papel relevante (Casierra-Posada et al., 2007). Se ha encontrado que el ácido abscísico (ABA) está presente en altas cantidades en el pericarpo, en las axilas y en el tejido locular, en los estados tempranos de crecimiento de los frutos; sin embargo, posteriormente se encuentran grandes cantidades de ácido indolacético (AIA) que determinan tanto el ritmo del crecimiento como la forma del fruto (Kojima, 2005). Además, el aumento del pericarpo se debe principalmente por la actividad vertedero del fruto, ocasionada por las semillas en desarrollo (Varga y Bruinsma, 1976). Por otro lado, el ABA puede estimular la descarga de asimilados, transportados a través del floema, logrando así una promoción del poder vertedero de los frutos, durante sus fases tempranas de crecimiento (Kojima, 2005).

Por otro lado, Garcés (1987) afirma que el aumento en diámetro se da por la intensa multiplicación celular, como consecuencia de las sucesivas divisiones localizadas en las regiones meristemáticas, dándose por tanto, un aumento en el número de capas de tejidos del fruto. Se ha señalado que el aumento en tamaño del fruto se debe a la entrada de solutos y agua a la vacuola de las células, la cual provee el espacio necesario para el almacenamiento de solutos y promueve la fuente de presión que actúa contra las paredes celulares causando turgencia y por lo tanto estiramiento del tejido (Garcés, 1987; Gamarra y Medina 1997). En concordancia, Thompson (2001) comenta que el incremento en los diámetros y en el volumen del fruto de tomate depende de la extensibilidad epidermal.

### **1.8.6 Volumen**

El volumen de los frutos de champa tuvo comportamiento exponencial caracterizado por un incremento leve hasta los 719,2 GDC y un aumento acelerado hasta la cosecha con un valor de  $28,44 \pm 1,79 \text{ cm}^3$  (Figura 1-5).

**Figura 1-5:** Comportamiento del volumen durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico.



Las barras verticales indican el error estándar (n=10). Estados de desarrollo: E1. División celular, E2. Elongación celular, E3. Maduración.

Entre los factores que contribuyen significativamente al incremento en volumen de los frutos se encuentran los reguladores de crecimiento como las giberelinas, responsables de la expansión celular (García-Martínez y Hedden, 1997). Al respecto, Kojima (2005) encontró altas concentraciones de ácido giberélico en todos los constituyentes de los frutos de tomate durante la fase de expansión celular, lo cual, posiblemente también ocurra en los frutos de champa. Por otro lado, Casierra-Posada et al. (2007) afirman que los frutos presentan alto poder vertedero, esto significa que toma de la planta una serie de sustancias que transforma y convierte en sus componentes, siendo estos, moléculas de estructuras complejas y en principio muy diferentes a las que la planta toma del medio. Sin embargo, estas últimas son utilizadas, entre otros, para el aumento del volumen del fruto (Barceló et al., 1987). Así, el crecimiento en diámetro de los frutos es un aumento irreversible como consecuencia del incremento en masa y número de las

células (Casierra-Posada et al., 2007), resultado que también se observó en los frutos de champa.

De otra parte, los parámetros físicos medidos en la champa ratifican el hecho de que la estimación o cuantificación del crecimiento y desarrollo de muchos frutales, puede realizarse a través de los aumentos en masa o volumen, bien sea fresca o seca y del diámetro polar y ecuatorial de los frutos (Coombe, 1976; Singh et al., 1998).

### **1.8.7 Firmeza**

De los 282,2 (26 ddf) a los 856,9 GDC (82 ddf) la firmeza de los frutos de champa se incrementó y pasó de  $46,29 \pm 2,29$  a  $121,92 \pm 3,56$  N, siendo este último el valor más alto de firmeza de los frutos, pues de ahí en adelante los frutos perdieron firmeza hasta la cosecha, pero fue más rápido el ablandamiento a partir de los 1.289,9GDC, en el momento de la cosecha, los frutos presentaron una firmeza de  $10,24 \pm 1,49$  N (Figura 1-6).

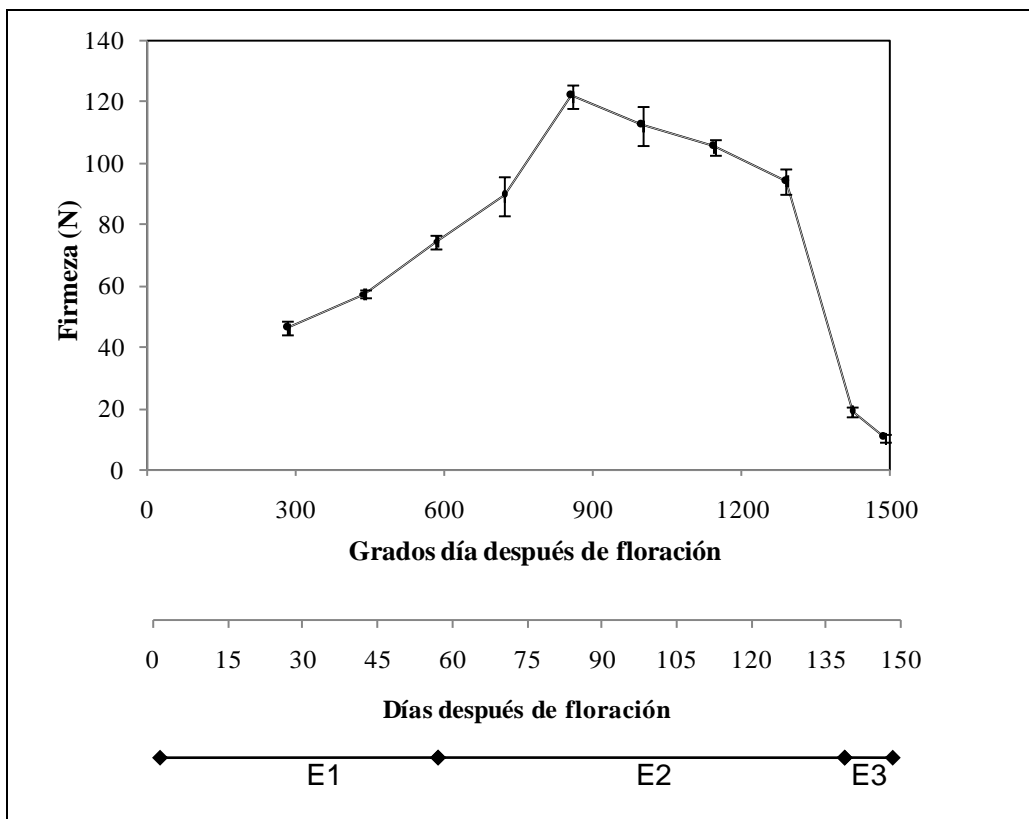
La firmeza está relacionada con la fuerza necesaria para que un producto alcance una deformación dada, esto refleja las transformaciones en la estructura celular, en la cohesión de las células y algunos cambios bioquímicos (Chitarra y Chitarra et al., 2005). El aumento de la firmeza en los primeros estados de desarrollo del fruto de champa no es un fenómeno muy común, pero también fue encontrado en arazá, lo cual puede estar asociado con la síntesis de protopectina (Hernández et al., 2007), en ají (*Capsicum annuum* L.), se encontró aumento de la firmeza hasta el inicio de la maduración de los frutos, la cual presentó correlación con el aumento del espesor de la epidermis (Tadesse et al., 2002), proceso que posiblemente pudo presentarse en los frutos de champa. En guabiroba, Silva et al. (2009) observaron aumento de la firmeza a los 18 días después de antesis, pero en este caso, lo atribuyen al proceso de formación de semillas.

Brummell y Harpster (2001) mencionan que una disminución en la firmeza de los frutos coincide con la disolución de la lámina media, que resulta en una reducción en la adhesión intercelular, despolimerización, y solubilización de polisacáridos hemicelulósicos y pécticos de la pared celular. Además, se incrementa la expresión de varias enzimas que degradan la pared celular (Brummell, 2006). La PG y la PME son las enzimas con mayor implicación en el ablandamiento de los frutos. Catalizan la



modificación de pectinas y el desensamblaje (Hadfield y Bennett, 1998). Consecuentemente, Wills et al. (2007) afirman que la pérdida de firmeza durante la maduración puede ser causada por la degradación de sustancias pécticas y hemicelulosa y por la hidrólisis del almidón.

**Figura 1-6:** Comportamiento de la firmeza durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico.



Las barras verticales indican el error estándar (n=10). Estados de desarrollo: E1. División celular, E2. Elongación celular, E3. Maduración.

La pérdida de firmeza en los frutos de champa desde los 856,9 GDC se debió posiblemente a varias de las causas anteriormente mencionadas y con la consecuente conversión de protopectinas en pectinas, o al bajo contenido de materia seca, tal como se encontró en arazá (Hernández et al., 2007), lo cual dificulta el manejo poscosecha (Rogez et al., 2004). Aunque los valores de firmeza obtenidos en el segundo estado de desarrollo son altos comparados con especies como arazá (Hernández et al., 2007) y

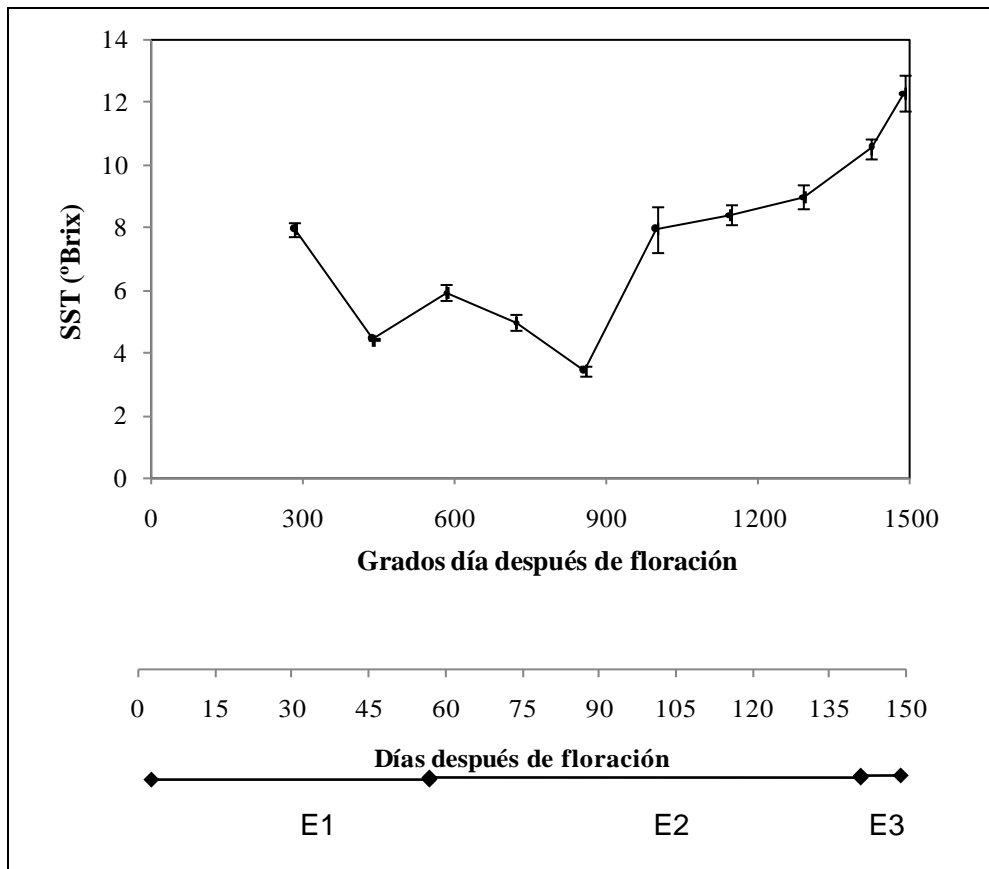
guabiroba (Silva et al., 2009), los frutos de champa se caracterizan por perder rápidamente la consistencia durante la maduración, presentando valores bajos que limitan la manipulación durante la cosecha y poscosecha, y es este uno de los problemas más graves que presenta esta especie y determina su alta perecibilidad. Al respecto, la firmeza en frutos de mango se caracteriza por disminuir a partir de la madurez fisiológica (Jha et al., 2006; Subedi et al., 2007).

Álvarez et al. (2009a) caracterizaron 5 estados de crecimiento de frutos de champa y el primer estado con una masa fresca aproximada de 5g presentó un valor de 85 N, en estados más avanzados del desarrollo del fruto se encontró pérdida de firmeza, tal como lo encontraron Balaguera et al. (2009).

### **1.8.8 Sólidos solubles totales**

Los SST presentaron un comportamiento irregular en los primeros 856,9GDC, pues se observaron disminuciones representativas a los 436,8GDC y después de los 582,1GDC, pero luego de los 856,9GDC el contenido de SST aumentó de forma representativa hasta la cosecha con un contenido en este último punto de  $12,3 \pm 0,57$  °Brix (Figura 1-7), valores levemente superiores a los reportados por Balaguera et al. (2009) y Álvarez et al. (2009a) para esta mismo fruto con 11,58 y 11,9 °Brix respectivamente. En la cosecha, los valores de SST de los frutos de champa presentaron valores mayores que los reportados para *Campomanesia phae* (Vallilo et al., 2005), *Eugenia klotzschiana* (Vallilo et al., 2003), feijoa (Rodríguez et al., 2006a), arazá (Hernández et al., 2007), guayaba (Cañizares et al., 2003), fresa (Roussos et al., 2009; Casierra-Posada y Salamanca, 2009) y mandarina (Orduz-Rodríguez et al., 2009), similares a los encontrados en mango (Lima et al., 2008) y pera (Parra-Coronado et al., 2006) pero inferiores a frutos que se caracterizan por su alto contenido de azúcares como la uva (Almanza et al., 2010; Almanza y Balaguera, 2009). Lo anterior permite afirmar que la champa es un fruto dulce.

**Figura 1-7:** Comportamiento de los sólidos solubles totales (SST) durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico.



Las barras verticales indican el error estándar (n=4). Estados de desarrollo: E1. División celular, E2. Elongación celular, E3. Maduración.

El contenido de SST está constituido por 80 a 95% de azúcares y la medida de SST se encuentra asociada con los azúcares disueltos en el jugo celular (Osterloh et al., 1996); estos autores afirman que la cantidad de azúcares en el fruto depende principalmente de la variedad, del rendimiento asimilatorio de las hojas, de la relación hoja/fruto, de las condiciones climáticas durante el desarrollo del fruto, del estado de desarrollo y de la madurez. Asimismo, la acumulación de los azúcares se asocia con el desarrollo de la calidad para el consumo; aunque los azúcares pueden ser transportados al fruto por la savia, también son aportados por el desdoblamiento de las reservas de almidón de los frutos (Wills et al., 1998). Fischer y Martínez (1999) afirman que cuando el fruto de la uchuva presenta su contenido de azúcares más alto ha alcanzado su madurez fisiológica, lo cual coincide con lo hallado para la champa a los 1489,1GDC.

La disminución de los SST en la primera fase de desarrollo y parte de la segunda, se debe posiblemente a que en un inicio el principal compuesto que se trasloca hacia los frutos verdes es la sacarosa, por lo que su contenido al principio puede ser alto, pero inmediatamente la sacarosa es convertida a almidón como polisacárido de reserva o es utilizada como sustrato para la formación de la pared celular (Buchanan et al., 2000) durante la fase de división celular activa, y por tanto, su concentración disminuye, sin embargo, durante la maduración los SST van a aumentar rápidamente (Kays, 2004), tal como se encontró después de los 856,9GDC. Una disminución de los SST en los primeros estados de crecimiento también fue encontrada en guayaba (Cañizares et al., 2003; Mercado-Silva et al., 1998), tomate (Casierra-Posada et al., 2007) y mango (Lima et al., 2009).

El aumento de los SST encontrado en los frutos de champa se puede atribuir a la conversión del almidón en azúcares, debido posiblemente a un aumento en la actividad de las enzimas hidrolasas del almidón. La acumulación de azúcares está asociada con el desarrollo de una óptima calidad comestible y los mismos pueden ser incorporados al fruto desde la corriente de fotosintetizados, más que a la degradación de las reservas de almidón del fruto (Heredia et al., 1997). Al respecto, Chitarra y Chitarra (2005) afirman que a medida que los frutos maduran, parte de los sólidos se transforman en azúcares simples como glucosa, fructosa y sacarosa, generando aumento en los contenidos de sólidos solubles y azúcares solubles.

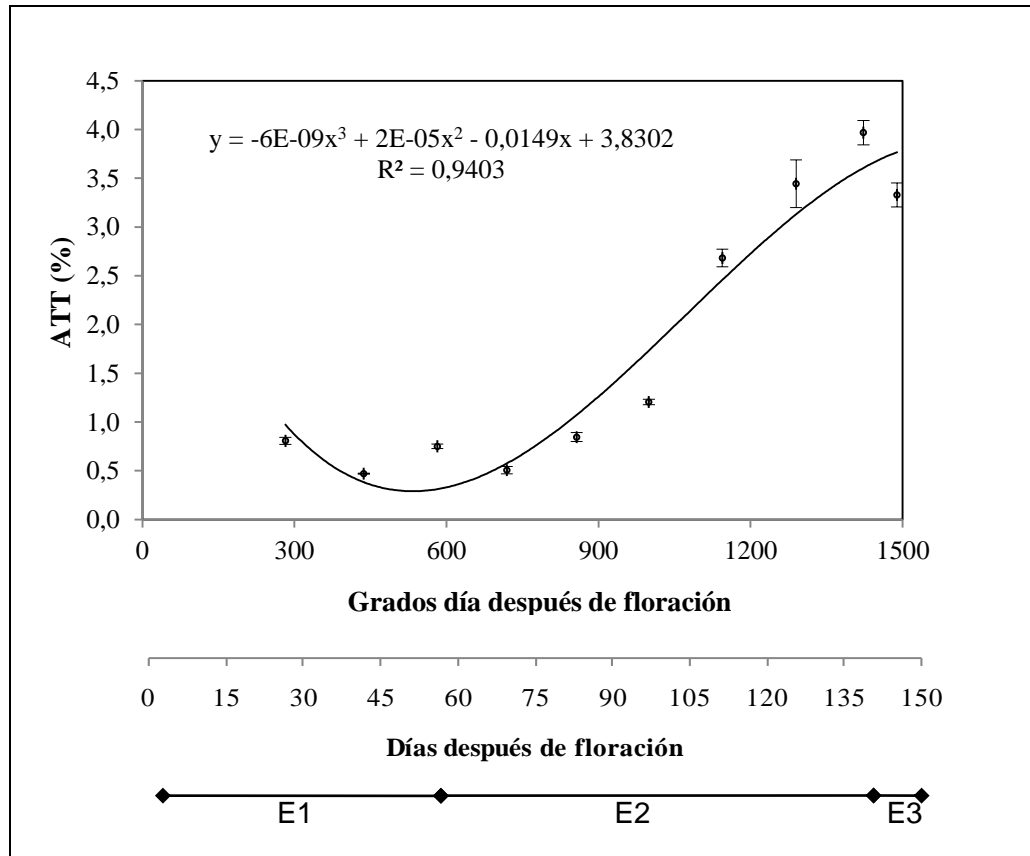
En concordancia con parte de los resultados de este estudio, Balaguera et al. (2009) y Álvarez et al. (2009a) encontraron aumento de los SST durante la maduración de los frutos de champa. De la misma manera, en frutos como arazá (Hernández et al., 2007), guayaba (Cañizares et al., 2003; Mercado-Silva et al., 1998), tomate (Casierra y Cardozo, 2009) y mango (Lima et al., 2009), los sólidos solubles se incrementan durante la maduración del fruto.

### **1.8.9 Acidez total titulable**

La ATT mostró disminución de los 282,2GDC a los 719,2 GDC, de ahí en adelante los frutos incrementaron la acidez de forma drástica hasta alcanzar el máximo valor a los 1422,8 GDC ( $4,96\pm 0,13\%$ ), en la cosecha la ATT fue de  $3,32\pm 0,12\%$  (Figura 1-8). Es posible que el aumento de la ATT desde la segunda fase de crecimiento se deba a un aumento en la actividad de la enzima citrato sintasa (CS), pues en piña se encontró que el mayor contenido de ácidos en el fruto presentó relación con el incremento de esta enzima (Saradhulhat y Paull, 2007), una similar relación fue encontrada en limón agrio (Sadka et al., 2001) y en algunas variedades de cítricos (Luo et al., 2003) donde la actividad de CS es inducida en los primeros estados de desarrollo y de forma paralela al incremento en el contenido de ácidos, no obstante, pueden estar involucrados otros factores (Saradhulhat y Paull, 2007). Al respecto, Chitarra y Chitarra (2005) afirman que en algunos casos hay un aumento de la acidez durante la maduración. Además, es posible que la ATT en los frutos de champa sea el resultado del total de ácidos no volátiles que están presentes como ácidos orgánicos, tal como ocurre en frutos de piña (Chan et al., 1973; Teisson y Combres, 1979), principalmente almacenados en las vacuolas de las células (Yamaki, 1984).

Contrario a lo que se encontró en los frutos de champa, generalmente los ácidos disminuyen durante la maduración, ya que ellos son sustratos respiratorios o son convertidos a azúcares. De tal forma, que pueden ser considerados una fuente de energía y se esperaría que disminuyeran durante la actividad metabólica que se desarrolla en la maduración (Heredia et al., 1997), pues los ácidos orgánicos son después de los carbohidratos, el depósito energético más importante para el fruto (Osterloh et al., 1996). Una disminución de la ATT durante el crecimiento de los frutos fue encontrada en arazá (Hernández et al., 2007) y uva (Almanza et al., 2010; Almanza y Balaguera, 2009).

**Figura 1-8:** Comportamiento de la acidez total titulable (ATT) durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico.



Las barras verticales indican el error estándar (n=4). Estados de desarrollo: E1. División celular, E2. Elongación celular, E3. Maduración.

La ATT en piña tiene un comportamiento muy similar a lo que se observó en los frutos de champa, pues la ATT incrementa durante el crecimiento del fruto, pero cuando inicia la maduración, la acidez declina (Saradhulhat y Paull, 2007; Smith, 1988). En guayaba, Cañizares et al. (2003) y Mercado-Silva et al. (1998) reportan disminución de la ATT en los estados uno y dos de desarrollo y aumento en el estado tres. En feijoa también se encontró un aumento en el contenido de ácidos orgánicos durante la maduración (Rodríguez et al., 2006a). Lo anterior permite afirmar que el aumento en la ATT es una característica que tienen en común algunas mirtáceas.

Es importante destacar la alta acidez que presentan los frutos de champa en la cosecha, pues es uno de los atributos más representativos que presentan estos frutos y que en gran parte determina su sabor característico junto con los SST y el pH, tal como lo

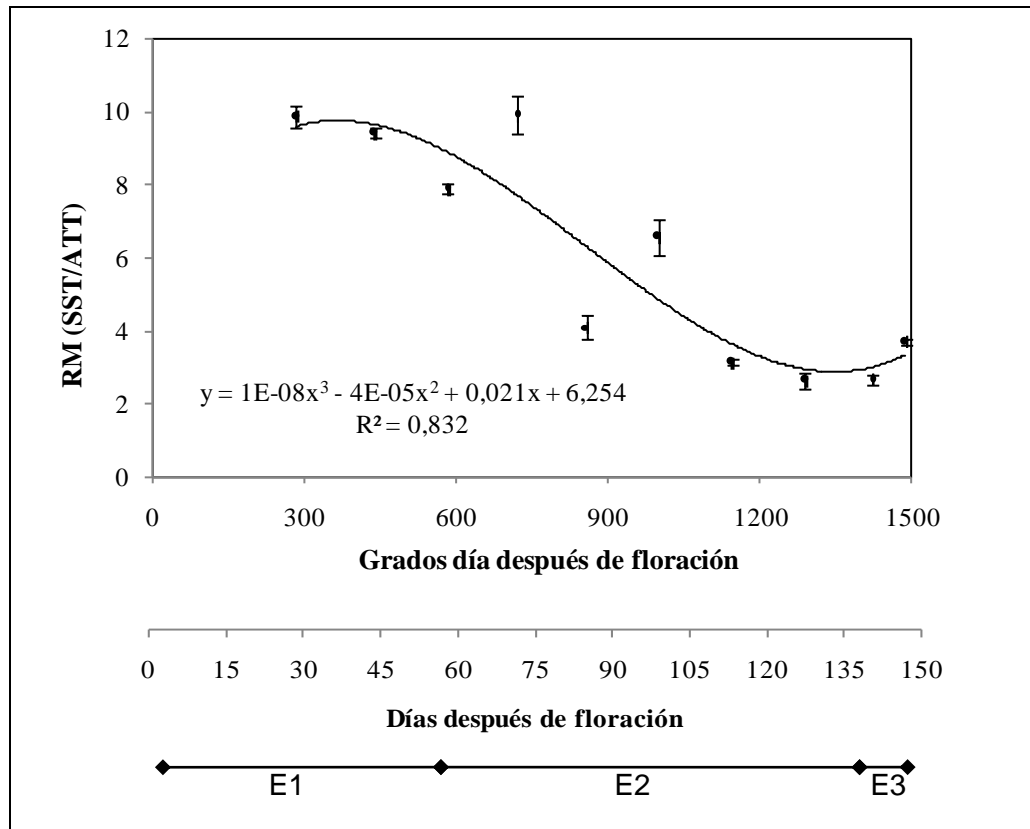
afirman Silva et al. (2009) para guabiroba. La ATT encontrada es superior a la encontrada en guayaba (Cañizares et al., 2003; Mercado-Silva, 1998) guabiroba (Silva et al., 2009), feijoa (Rodríguez et al., 2006a), arazá (Hernández et al., 2007), mandarina (Orduz-Rodríguez et al., 2009), mango (Lima et al., 2009), similares a los reportados para lulo (Casierra-Posada et al., 2004) pero inferiores a frutos como gulupa (Pinzón et al., 2007), maracuyá (Menéndez et al., 2006) y limón (Álvarez et al., 2005) que se caracterizan por presentar altos niveles de acidez. Los valores de ATT en la cosecha para champa reportados por Balaguera et al. (2009) difieren levemente con los encontrados en este estudio, sin embargo, parte de la explicación radica en que estos autores calcularon la ATT con base en el ácido málico como el predominante en este fruto, no obstante, el ácido que predomina en los frutos de champa es el ácido cítrico.

### **1.8.10 Relación de madurez**

Durante el crecimiento y desarrollo de los frutos de champa la RM disminuyó paulatinamente siguiendo un polinomio de tercer grado, aunque al final del crecimiento se evidenció un leve incremento. La RM presentó el máximo valor a los 282,2GDC con  $9,9\pm 0,3$  y el mínimo valor fue a los 1422,8 GDC ( $2,13\pm 0,12$ ), en la cosecha se obtuvo una RM de  $3,69\pm 0,09$  (Figura 1-9).

Un comportamiento parecido de la RM fue encontrado en frutos de piña por Saradhulhat y Paull (2007), quienes observaron una disminución de la RM en los primeros estados de desarrollo del fruto y un incremento previo a la cosecha. De manera semejante a lo observado en frutos de piña, en los frutos de champa la disminución de la RM se debió a un alto contenido de ATT, mientras que el aumento en la RM al final del crecimiento dependió del aumento representativo de los SST y a la disminución de la ATT.

**Figura 1-9:** Comportamiento de la relación de madurez (RM) durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico.



Las barras verticales indican el error estándar (n=4). Estados de desarrollo: E1. División celular, E2. Elongación celular, E3. Maduración.

Osterloh et al. (1996) afirman la importancia de la relación entre SST y ATT en el sabor del fruto y del jugo, teniendo en cuenta que cuando el fruto tiene un contenido alto de azúcares, el nivel de los ácidos debe ser suficientemente elevado para satisfacer el gusto del consumidor. La RM para la champa fue superior a la reportada por Hernández y Barrera (2004) para arazá con promedios 2,3 y para *Campomanesia phae* que presentó una relación de madurez de 0,15 (Valillo et al., 2005), sin embargo, la champa presenta valores superiores en SST y en ATT, lo que la convierte en una fruta más dulce y más ácida que las especies mencionadas, y es esta característica la que le da un sabor muy agradable a la champa y genera gran aceptación entre los consumidores (Balaguera et al., 2009). Frutos como la gulupa (Pinzón et al., 2007) y el maracuyá (Menéndez et al., 2006) también se caracterizan por presentar altos contenidos de ácidos y azúcares. Rodríguez et al. (2006a) encontraron valores superiores de RM para feijoa, mientras que



estudios anteriores en frutos de champa muestran valores similares de RM en la cosecha (Balaguera et al., 2009; Álvarez et al., 2009a).

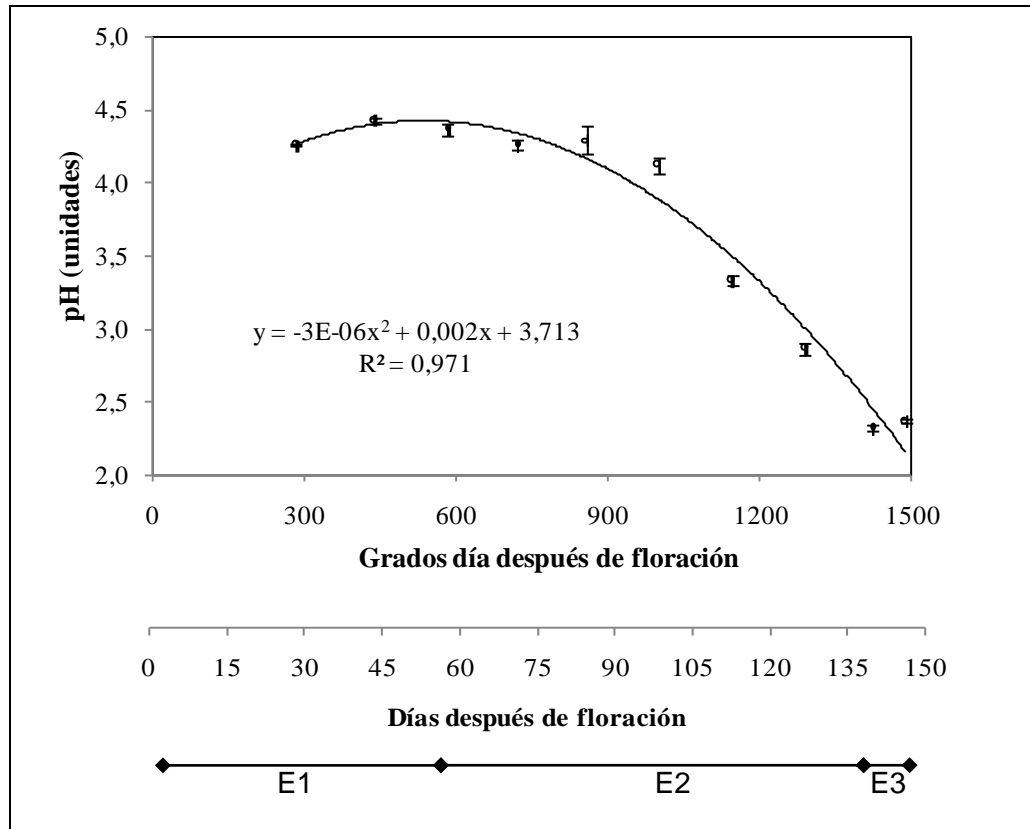
### **1.8.11 pH**

El pH se ajustó a un modelo cuadrático, en los primeros 856,9 GDC permaneció casi constante, desde este momento y hasta la cosecha el pH disminuyó rápidamente, en la cosecha el valor de pH fue de  $2,36 \pm 0,02$  (Figura 1-10), este valor es muy similar al encontrado por Rodríguez et al. (2006a) en frutos de feijoa y un tanto superior al pH de frutos de arazá (Hernández et al., 2007). Estos valores tan bajos de pH que indican elevada acidez ocasionan que el fruto no se consuma preferencialmente en fresco, tal como ocurre con el fruto de arazá (Andrade et al., 1989), por lo que el principal uso es la elaboración de jugos a partir de la pulpa (López y Rodríguez, 1995).

En frutos, más de 90% del volumen celular lo ocupa la vacuola, la cual, generalmente, es muy ácida, con pH inferior a 5 (Nanos y Kader, 1993); situación que coincide con los resultados encontrados en los frutos de champa. De acuerdo con lo anterior, el bajo pH puede estar asociado con dos aspectos: 1) altos contenidos de ácidos almacenados por la vacuola y 2) el crecimiento de las células, que necesita bajos niveles de pH (Salisbury y Ross, 2003). En frutos de feijoa, aunque el pH presentó poca variación se observó que también disminuyó con la maduración (Rodríguez et al., 2006a), pero en arazá aumentó (Hernández et al., 2007), se destaca que en estos dos últimos frutos se presentó una relación inversa entre el pH y la ATT, lo cual también ocurrió en los frutos de champa.

Desde la formación del fruto de champa hasta más de la mitad del E2 el pH permaneció casi constante, mientras que, como ya se mencionó, la ATT tendió a disminuir en el primer E1, parte de este comportamiento también se presentó en frutos de maracuyá (Menéndez et al., 2006), lo cual se debe posiblemente a la presencia de un sistema de autorregulación del pH, que podría ser el resultado de un efecto amortiguador o buffering del ácido cítrico, como ya ha sido reportado (Lyndsay, 1976). Según Menéndez et al. (2006), éste ácido alifático tiende a convertirse en la sal correspondiente, dando como resultado el efecto amortiguador de la solución en la región de sus valores de pKa, manteniendo constante el valor del pH, pero disminuyendo la acidez.

**Figura 1-10:** Comportamiento del pH durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico.



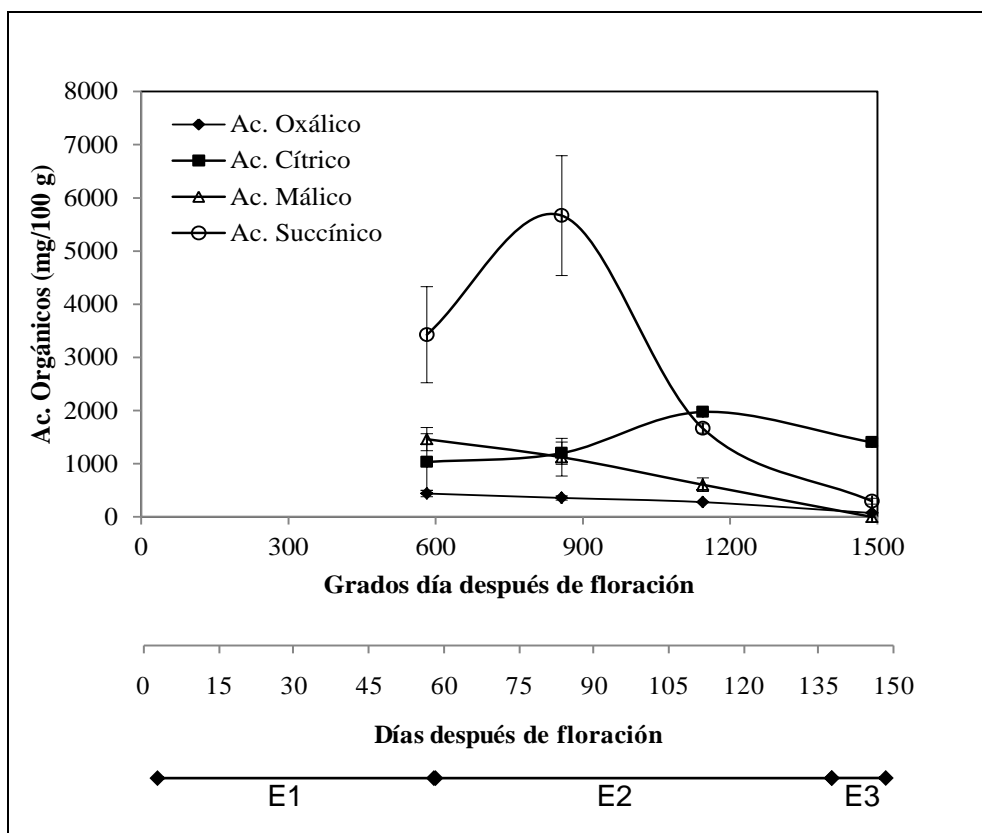
Las barras verticales indican el error estándar (n=4). Estados de desarrollo: E1. División celular, E2. Elongación celular, E3. Maduración.

### 1.8.12 Ácidos orgánicos

El ácido succínico se convirtió en el de mayor concentración durante la precosecha de los frutos de champa con un pico máximo a los 856,9GDC (82ddf) y una concentración de  $5666,6 \pm 1127,92$  mg/100g de fruto, luego descendió continuamente hasta la cosecha, donde presentó un valor inferior al del ácido cítrico con  $295,7 \pm 54,38$  mg/100g de fruto. El ácido cítrico ascendió paulatinamente hasta los 1144, 5GDC (110ddf), momento en el que se convirtió en el ácido predominante del fruto ( $1974,8 \pm 43,2$  mg/100g de fruto), no obstante, tuvo un leve descenso hasta la cosecha para alcanzar una concentración de  $1404,1 \pm 67,87$  mg/100g de fruto. El ácido málico descendió de forma lineal durante el crecimiento del fruto, a los 582,06GDC (54ddf) fue de  $1461,7 \pm 217,8$  mg/100g de fruto pero en la cosecha no se detectó. El ácido oxálico fue el de menor concentración y

descendió continuamente durante el crecimiento, pasó de  $440,3 \pm 59,94$  mg/100g de fruto a los 582,06GDC a  $73,64 \pm 2,59$  mg/100g de fruto en la cosecha (Figura 1-11). En parte del E2 desarrollo, la concentración de ácidos orgánicos es superior al contenido determinado mediante titulación, Paull et al. (1983) explica que este fenómeno se debe posiblemente a que los ácidos están presentes como sales.

**Figura 1-11:** Comportamiento de los ácidos orgánicos durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico.



Las barras verticales indican el error estándar (n=3). Estados de desarrollo: E1. División celular, E2. Elongación celular, E3. Maduración.

La cantidad de ácidos presentes en el fruto de champa fue representativamente superior a la reportada en frutos de arazá (Hernández et al., 2007). Estos mismos autores reportan que en el E3 de los frutos de arazá, los ácidos málico, cítrico y succínico disminuyeron gradualmente, situación que concuerda con lo obtenido en los frutos de champa. Dicha disminución se debe a que estos ácidos posiblemente se transformaron en azúcares, fueron respirados o participaron en la síntesis de metabolitos secundarios

propios de la maduración del fruto (Kays, 2004; Osterloh et al., 1996). Al comparar los resultados obtenidos en los frutos de champa con lo reportado por Kelebek (2010) para diferentes variedades de pomelo (*Citrus paradisi*), se puede observar que este último fruto en la cosecha presentó mayor contenido de ácido cítrico, málico y succínico, mientras que el ácido oxálico fue mayor en los frutos de champa.

Esteban (1995) menciona que en frutos de uva se puede presentar transformación del ácido málico en azúcares. El proceso bioquímico consiste en una reducción del ácido málico a ácido oxaloacético, el cual se descarboxila a ácido pirúvico que, siguiendo la ruta inversa de la glucólisis, se transforma en glucosa. Esta transformación del ácido málico en glucosa, se realiza en uvas maduras, y de este modo disminuye la acidez al final del proceso de la maduración. Este proceso probablemente también se puede estar llevando a cabo en los frutos de champa, explicando la disminución del ácido málico.

En frutos de dos cultivares de jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) se encontró que el ácido predominante fue el succínico, y similar a lo que se observó en los frutos de champa, este ácido presentó la mayor concentración en estados tempranos de desarrollo y luego disminuyó (Jham et al., 2007), no obstante, el fruto de champa mostró concentraciones superiores. La disminución del ácido succínico durante el desarrollo del fruto de champa se debió posiblemente al incremento de la actividad de la enzima succinato deshidrogenasa, pues esta enzima cataliza el paso de ácido succínico a ácido fumárico para que continúe el ciclo de los ácidos tricarbóxicos (Taiz y Zeiger, 2006), la continuación de este ciclo puede también estar generando aumento en el contenido del ácido cítrico, lo cual explicaría el incremento de este ácido durante parte del E2, mientras que en la disminución de este ácido al final del E2 e durante el E3 probablemente estaría implicada la enzima aconitasa (Kubo et al., 2002).

Sweetman et al. (2009) mencionan que los ácidos orgánicos tienen importantes funciones en el metabolismo celular. El tipo de ácido y los niveles encontrados son extremadamente variables entre especies, estados de desarrollo y tipos de tejidos. La acidez tiene una importante función en las propiedades organolépticas de los tejidos vegetales, donde la pérdida o aumento del sabor depende de la presencia de un ácido específico. En frutos la acidez es generalmente atribuida a la liberación de protones de

ácidos como el cítrico, málico, oxálico, quínico, succínico y tartárico, mientras que cada una de las formas del anión contribuyen a un distinto sabor.

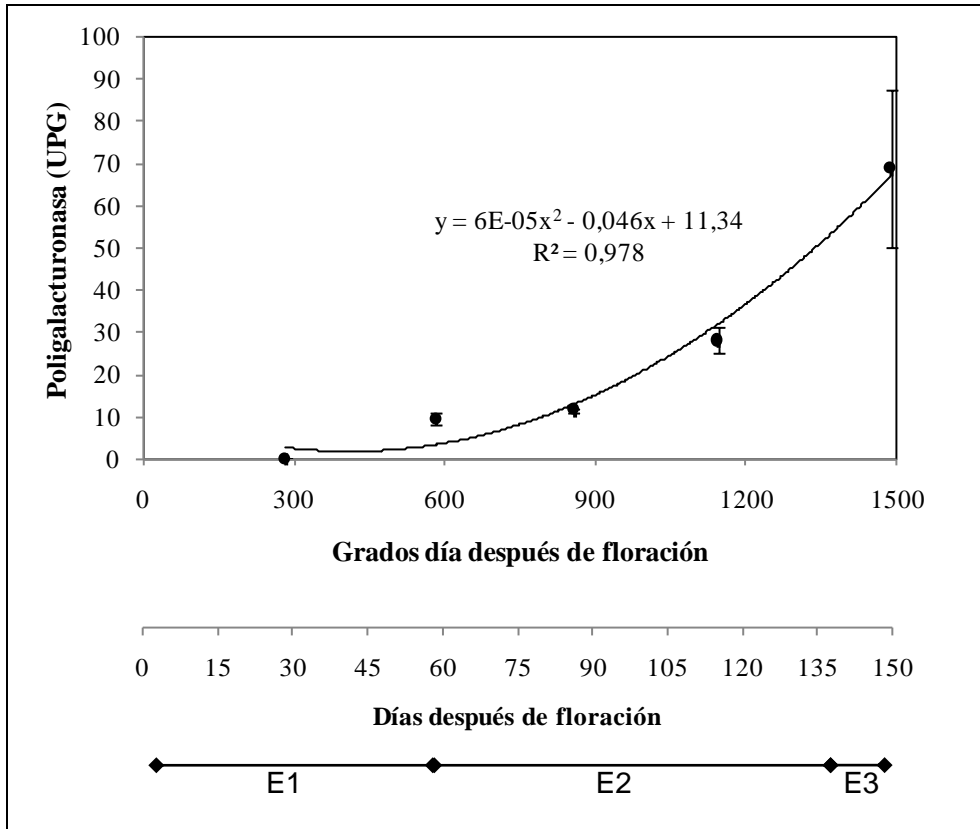
### **1.8.13 Actividad poligalacturonasa**

Se observó actividad de la enzima poligalacturonasa desde los 582,06 GDC con  $9,42 \pm 1,37$  UPG, dicha actividad fue aumentando con el desarrollo de los frutos de champa siguiendo un polinomio de segundo grado, de tal manera que en la cosecha presentó la mayor actividad con  $68,83 \pm 18,65$  UPG (Figura 1-12). Estos resultados concuerdan con los encontrados en uchuva por Majumder y Mazumdar (2002) pues en el primero de seis estados de desarrollo no hubo presencia de PG y posteriormente la actividad de esta enzima aumentó progresivamente y de forma representativa hasta el estado seis.

Bowers (1992) y García y Peña (1995) mencionan que las endo- y exo-PG hidrolizan enlaces glucosídicos de los poligalacturónidos desesterificados, produciendo una amplia variedad de azúcares y ácidos orgánicos. Por tanto, el incremento de la actividad PG en los estados dos y tres de desarrollo de los frutos de champa sería posiblemente la explicación del aumento de los SST y de la ATT en dichos estados. Un aumento del contenido SST paralelo al incremento de la actividad PG se pudo observar durante el desarrollo de frutos de uchuva (Majumder y Mazumdar, 2002). Estos mismos autores reportan una correlación de 0,977 entre la PG y la producción de etileno e indican que estos procesos están sincronizados, sin embargo, en frutos de champa este proceso no se puede generalizar debido a que no hubo presencia de etileno en los primeros estados de desarrollo del fruto.

Por otro lado, el aumento de la PG también puede estar asociado con la pérdida de firmeza de los frutos de champa a partir de los 856,9 GDC, pues la poligalacturonasa es una de las enzimas con mayor implicación en el ablandamiento de los frutos, tal como ocurre en frutos de tomate (Sirit y Bennett, 1998). Además, es posible que la PG también esté relacionada con el rápido crecimiento observado en el E2 de los frutos de champa, pues esta enzima está implicada en la expansión celular y otros procesos relacionados (Sirit et al., 1996).

**Figura 1-12:** Actividad poligalacturonasa durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico.



Las barras verticales indican el error estándar (n=3). Estados de desarrollo: E1. División celular, E2. Elongación celular, E3. Maduración.

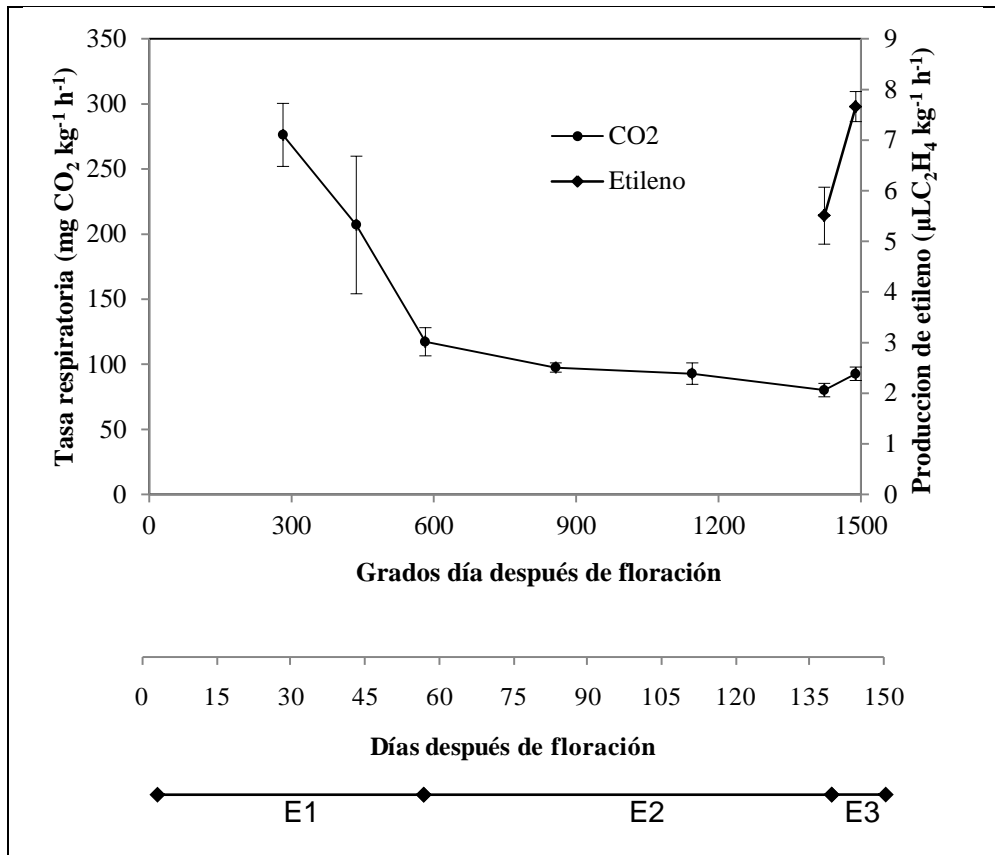
En maracuyá Menéndez et al. (2006) determinaron que la PG aumentó considerablemente y alcanzó su valor máximo en la semana 9 después de anthesis, luego disminuyó y después de la semana 11 volvió a aumentar, coincidiendo con la maduración del fruto, al respecto, en varios cultivares de fresa se reporta aumento de la actividad PG en función del desarrollo de los frutos (Villareal et al., 2008).

### 1.8.14 Tasa respiratoria y producción de etileno

La tasa respiratoria disminuyó continuamente hasta los 1422,8 GDC (138 ddf) donde presentó su valor más bajo correspondiente a  $80,14 \pm 5,12 \text{ mgCO}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  que indica la madurez fisiológica, no obstante, la disminución fue más drástica desde la formación del fruto a los 582,1 GDC. En la cosecha la respiración se incrementó a  $92,69 \pm 5,13 \text{ mgCO}_2$

$\text{Kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ . Respecto a la producción de etileno, se detectó la presencia de esta hormona a partir de los 1422,8 GDC y aumentó hasta la cosecha con un valor de  $7,66 \pm 0,29 \mu\text{LC}_2\text{H}_4 \text{Kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  (Figura 2-13).

**Figura 1-13:** Comportamiento de la tasa respiratoria y la producción de etileno durante el crecimiento y desarrollo de frutos de champa en tiempo fisiológico.



Las barras verticales indican el error estándar ( $n=3$ ). Estados de desarrollo: E1. División celular, E2. Elongación celular, E3. Maduración.

De acuerdo con Galho et al. (2007), desde el punto de vista fisiológico, la respiración es el proceso por el cual los compuestos altamente energéticos (ATP) y reductores ( $\text{NADH}_2$ ) son formados a partir de carbohidratos y otros sustratos. Esos compuestos (ATP y  $\text{NADH}_2$ ) son utilizados esencialmente en la síntesis de nuevas sustancias. De este modo, la respiración puede ser vista como acoplada a la síntesis de nuevos tejidos (respiración de crecimiento) y al mantenimiento estructural (respiración de mantenimiento) por medio del “turnover” de ATP y  $\text{NADH}_2$ , necesario para el crecimiento vegetal, en este caso para el crecimiento del fruto de champa.

Una alta tasa respiratoria en frutos jóvenes se presenta por el activo crecimiento de los mismos en fases tempranas (Gillaspy et al., 1993). Una reducción en la tasa de respiración también fue encontrada durante el desarrollo de frutos de guabiroba (Silva et al., 2009), arazá (Hernández et al., 2007), aunque las tasas respiratoria de frutos de champa fueron superiores a los frutos de guabiroba e inferiores a los de arazá. Galho et al. (2007) reportan en guayaba valores similares de respiración a los de frutos de champa, pero con una marcada diferencia en el comportamiento de la curva, pues presenta un comportamiento cuadrático con un aumento representativo hacia la mitad del desarrollo.

Wachoawicz y Carvalho (2002) mencionan que en la segunda fase de crecimiento se presenta disminución de la intensidad respiratoria, lo cual concuerda con lo que se encontró en los frutos de champa en esta misma etapa. Galvis y Hernández (1993) afirman que la intensidad respiratoria es un buen índice fisiológico para determinar el momento de cosecha del fruto de arazá. Cuando la tasa de respiración alcanza su nivel mínimo, los frutos se encuentran en completo desarrollo, en este orden de ideas, el fruto de champa alcanzó la madurez fisiológica a los 1422,84GDC (138ddf), pues en este punto presentó la menor tasa respiratoria y ya se encuentra fisiológicamente listo para ser cosechado, no obstante, el color de la epidermis aún es completamente verde. El resultado encontrado para etileno concuerda con lo reportado por Majumder y Mazumdar (2002) quienes no encontraron presencia de etileno en el primero de seis estados de crecimiento del fruto de uchuva, que según estos autores se debe posiblemente a que las bajas cantidades de etileno que se producen en los primeros estados de crecimiento son apenas difundidas por los tejidos del fruto y no alcanzan a salir al exterior del fruto para que puedan ser detectadas por el cromatógrafo de gases. Además, se ha encontrado que la epidermis de frutos jóvenes presenta alta permeabilidad a este gas, pero la gran cantidad de ceras sobre la superficie del fruto hace que la permeabilidad cutánea sea reducida (Tadesse et al., 2002). En este mismo sentido, Otero-Sánchez et al. (2006) observaron que en frutos de ilama (*Annona diversifolia* Saff.), la producción de etileno solo se detectó hasta el momento de la cosecha (99 ddf).



### **1.8.15 Análisis de correlaciones**

Se observó que a medida que aumentó la masa seca total de los frutos de champa también lo hicieron las masas fresca total, de pulpa y semilla, las masas seca de pulpa y semilla, los diámetros polar y ecuatorial, el volumen, la actividad PG. También se encontró correlación positiva con los SST, la ATT y el ácido cítrico, por el contrario, hubo correlación negativa con la RM, el pH y los ácidos succínico, málico y oxálico (Tabla 1-4).

Como la tasa respiratoria disminuyó durante la precosecha hasta la madurez fisiológica, fue inversamente proporcional con todos los parámetros de crecimiento, pero esto no indica que a mayor respiración el crecimiento se vea reducido, sino que hay mayor respiración en E1 para producir la energía necesaria que se utiliza en la división celular que predomina en esta etapa de desarrollo (Gillaspy et al., 1993). Como los azúcares y ácidos son sustratos respiratorios (Kays, 2004), la tasa respiratoria presentó correlación negativa con los SST la ATT y el ácido cítrico, al igual que con la actividad poligalacturonasa, pero la correlación fue positiva con los ácidos succínico, málico y oxálico (Tabla 1-4).

Aunque todos los ácidos orgánicos deben aumentar la ATT, se encontró que es el ácido cítrico es el que más se relaciona de manera positiva con la ATT, los demás se correlacionan negativamente, sin embargo, esto se debe a que algunos ácidos son preferencialmente respirados, o se debe posiblemente a la dinámica de transformación de unos ácidos en azúcares o en otros, tal como lo reporta Kays (2004), al respecto, a medida que se aumentó la biosíntesis de ácido cítrico se disminuyó la concentración de ácido succínico, málico y oxálico. También se destaca la correlación inversa entre la ATT y el pH, RM, tasa respiratoria y firmeza (Tabla 1-4), la relación inversa entre pH y ATT fue mencionada por Pantástico (1981).

Tal como se mencionó en el apartado 1.8.7, la firmeza tuvo un incremento representativo en los primeros estados de desarrollo y después disminuyó drásticamente, esto generó que las correlaciones existentes con las demás variables no fueron tan altas, sin embargo, se observó correlación negativa con la PG, los SST y los parámetros de crecimiento, mientras que la correlación fue positiva con el pH y los ácidos orgánicos,

pero con el ácido cítrico fue muy baja. Estas correlaciones permiten pensar que la enzima PG puede estar implicada en la pérdida de firmeza, pues esta enzima degrada la pectina (Morais et al., 2008) de las paredes celulares y la lamela media, además, la degradación de la pectina y otros polisacáridos de la pared celular o que cumplen función de reserva pueden aumentar la concentración de los SST (Menéndez et al., 2006).

Conforme aumentaron los SST se observó también aumento de la ATT, esto se debe a que parte de los SST están compuestos por ácidos, además, en los frutos de champa la alta ATT presentada afecta considerablemente los SST, también hubo correlación positiva con todos los parámetros de crecimiento. Por el contrario, se presentó disminución del pH, ácido succínico, málico y oxálico (Tabla 1-4).

El pH mostró alta correlación con casi todas las variables medidas, se destaca una relación inversamente proporcional con las variables de crecimiento, esta relación se debe al aumento de la ATT durante el desarrollo de los frutos, pero generalmente el pH aumenta (Kays, 1997), asimismo, la relación con el ácido cítrico y la PG también fue inversa, indicando posiblemente que a menor pH esta enzima aumenta su actividad. La relación con la RM fue positiva al igual que con los ácidos succínico, málico y oxálico (Tabla 1-4).

**Tabla 1-4:** Correlaciones de Pearson para las variables evaluadas durante la precosecha del fruto de champa.

	MFT	MST	MFP	MSP	MFS	MSS	DE	DP	VOL	SST	ATT	RM	pH	CO <sub>2</sub>	AS	AC	AM	AO	PG
F	-0,79*	-0,65*	-0,75*	0,54*	-0,86**	-0,82**	-0,57*	-0,58*	-0,79*	-0,85*	-0,62*	-0,04ns	0,75*	0,07ns	0,76**	0,13ns	0,64*	0,72*	-0,84**
MFT	1	0,98**	0,99**	0,94**	0,99**	0,99**	0,95**	0,96**	0,99**	0,91**	0,91**	0,58*	-0,98**	-0,67*	0,80*	0,33ns	-0,97**	-0,99**	0,99**
MST		1	0,99**	0,99**	0,93**	0,97**	0,99**	0,99**	0,97**	0,87*	0,95**	-0,73*	-0,98**	-0,79*	-0,79*	0,51*	-0,99**	-0,99**	0,96**
MFP			1	0,95**	0,98**	0,99**	0,97**	0,97**	0,99**	0,90**	0,93**	-0,63*	-0,98**	-0,71*	-0,80*	0,4ns	0,98**	-0,99**	0,99**
MSP				1	0,88**	0,92**	0,99**	0,99**	0,93**	0,82*	0,95**	-0,82*	-0,99**	-0,87**	-0,74*	0,61*	-0,99**	-0,96**	0,91**
MFS					1	0,99**	0,90**	0,91**	0,99**	0,89**	0,85**	-0,48ns	-0,94**	-0,57*	-0,78*	0,2ns	-0,93**	0,97**	0,99**
MSS						1	0,93**	0,94**	0,99**	0,93**	0,92**	-0,54ns	-0,98**	-0,63*	0,84*	0,34ns	-0,96**	-0,98**	0,99**
DE							1	0,99**	0,95**	0,81*	0,93**	-0,79*	-0,95**	-0,86*	-0,72*	0,53ns	-0,99**	-0,98**	0,93**
DP								1	0,96**	0,80*	0,92**	-0,79*	-0,95**	-0,85*	-0,70*	0,50ns	-0,99**	-0,98**	0,93**
VOL									1	0,88**	0,89**	-0,58ns	-0,96**	-0,67*	-0,77*	0,30ns	-0,96**	-0,99**	0,99**
SST										1	0,93**	-0,36ns	-0,95**	-0,44ns	-0,98**	0,42ns	-0,88**	-0,87*	0,93**
ATT											1	-0,67*	-0,97**	-0,73*	-0,90**	0,68*	-0,96**	-0,92**	0,90**
RM												1	0,60*	0,99**	0,30ns	-0,73*	0,73*	0,66*	-0,51*
pH													1	0,68*	0,89*	-0,50*	0,98**	0,97**	-0,97**
CO <sub>2</sub>														1	0,37ns	-0,69*	0,80*	0,74*	-0,60*
AS															1	-0,51*	0,80*	0,77*	-0,83**
AC																1	-0,54*	-0,39ns	0,30ns
AM																	1	0,98**	-0,95**
AO																		1	-0,98**

F: firmeza; MFT: masa fresca total; MST: masa seca total; MFP: masa fresca pulpa; MSP: masa seca pulpa; MFS: masa fresca semilla; MSS: masa seca semilla; DE: diámetro ecuatorial; DP: diámetro polar; VOL: volumen; SST: sólidos solubles totales; ATT: acidez total titulable; RM: relación de madurez; AS: ác. Succínico; AC: ác. Cítrico; AM: ác. Málico; AO: ác. Oxálico; PG: poligalacturonasa.\*significancia al 1%; \* significancia al 5%; ns: sin diferencias estadísticas.



## **2. Estudio del comportamiento del fruto de champa durante la poscosecha**

### **2.1 Resumen**

La champa es un fruto con un exquisito sabor y aroma agradables pero tiene poca duración en poscosecha, en condiciones normales, la poscosecha no supera los cuatro días y se desconoce gran parte de la fisiología del fruto durante esta etapa. El objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento del fruto de champa durante la poscosecha. Se recolectaron frutos directamente del árbol que estuvieran 100% amarillos, luego fueron almacenados a 22°C, humedad relativa del 80% y fotoperiodo de 12h. La medición de las variables se hizo durante cuatro días y se utilizaron cuatro repeticiones. Se encontró que los frutos presentaron un comportamiento climatérico con un aumento drástico de la respiración en el segundo día después de la cosecha (ddc) acompañado de un aumento en la producción de etileno. La firmeza disminuyó de forma lineal y al final alcanzó valores de  $1,5 \pm 0,14$  N, la pérdida de peso ascendió linealmente y en el día 4 fue de  $7,88 \pm 0,45\%$ . Los sólidos solubles totales aumentaron hasta el climaterio y después disminuyeron. La RM y el pH disminuyeron durante la poscosecha de forma cuadrática y la ATT aumentó con esta misma tendencia. Respecto al color, la luminosidad y el valor de "b" disminuyeron en función del tiempo pero el valor de "a" se incrementó, esto indica pérdida del color verde, del brillo y del color amarillo intenso y característico presente en el momento de la cosecha. La actividad poligalacturonasa aumentó hasta el tercer día y posteriormente disminuyó, es posible que la actividad de esta enzima esté relacionada con la pérdida de firmeza. El ácido cítrico fue el predominante en la poscosecha y aumentó continuamente, al final, el ácido málico y el oxálico disminuyeron y el succínico tuvo un leve incremento. Se concluye que el fruto de champa es altamente perecedero.

## 2.2 Introducción

Los frutos de champa se caracterizan por ser altamente perecederos y presentar una vida útil muy corta (Álvarez et al., 2009a y b), esto limita su comercialización en fresco y la transformación a pulpa para la elaboración de los respectivos derivados (López y Rodríguez, 1995). Al respecto, Morais et al. (2008) menciona que la firmeza es considerada uno de los principales atributos de calidad y con frecuencia limita la vida útil en poscosecha. En muchos casos, los cambios observados en la firmeza durante la maduración se deben principalmente a la hidrólisis de la pectina por acción de la PG (Morais et al., 2008). Alteraciones en la turgencia de la célula y la degradación de las reservas de almidón también conducen a la pérdida de firmeza de los frutos (Kays, 2004).

Es importante determinar los cambios bioquímicos y fisiológicos que se producen en los frutos durante la poscosecha, porque dichos cambios se reflejarán en las características físicas y de calidad durante la comercialización. Una vez se recolectan los frutos, el metabolismo cambia, se interrumpe el suministro de agua y nutrientes, se detiene el proceso de fotosíntesis, se altera la atmósfera interna de los tejidos y también la composición de la atmósfera que rodea al fruto, debido a su propia respiración Kays (2004).

En mirtáceas como el arazá, la corta vida en poscosecha es un problema que afecta la comercialización y puede tener diferentes causas, las principales relacionadas con la alta tasa de respiración y producción de etileno, la alta deshidratación, resequedad, el rápido ablandamiento y la susceptibilidad al daño mecánico (Hernández et al., 2007; Hernández et al., 2009; Carrillo et al., 2011), estas causas también podrían estar implicadas en la alta perecibilidad del fruto de champa. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue realizar el estudio del comportamiento del fruto de champa durante la poscosecha y a temperatura ambiente, con frutos maduros provenientes del municipio de Miraflores Boyacá.

Con el estudio del comportamiento del fruto de champa durante la poscosecha, se generan conocimientos que contribuyen a establecer la vida útil del fruto, su uso

potencial en la industria y algunas causas de su alta perecibilidad y rápido ablandamiento. Además, uno de los aportes más importantes de este trabajo es el relacionado con el patrón de respiración, esto debido a que el comportamiento climatérico tiene implicaciones fisiológicas y prácticas en la cosecha y poscosecha de los frutos (Kader, 2002), este conocimiento será de utilidad para determinar el punto óptimo de cosecha, con una cosecha oportuna posiblemente se podrá alargar la vida poscosecha del fruto, se mantendrá la calidad por más tiempo y se disminuirán considerablemente las pérdidas de fruto.

## **2.3 Maduración de frutos**

La maduración es una etapa intermedia entre la fase final del desarrollo y la senescencia del fruto (Rodríguez, 2005). En esta etapa tienen lugar diversos procesos fisiológicos que incluyen la producción de compuestos aromáticos y nutrientes, cambios en el color, en la producción de etileno y otros volátiles, en la tasa de respiración, se aumenta la permeabilidad de los tejidos, se presentan transformaciones químicas que afectan compuestos fenólicos, pigmentos y pectinas, entre otros, y se aumenta el ablandamiento de la pulpa hasta una textura comestible (Giovannoni, 2004), sin embargo, todos estos procesos continúan y finalmente se llega a un estado de desorganización y muerte de las células (Wills et al., 1998).

## **2.4 Poscosecha de frutos**

La poscosecha se refiere a todos los procesos que se llevan a cabo en el material vegetal (planta o parte de la planta) después de que ha sido cosechado (Kader, 2002) hasta que es consumido o termina su proceso de senescencia. Durante la poscosecha se presentan diferentes cambios fisicoquímicos y fisiológicos que conducen al deterioro de los frutos, los principales cambios están asociados con la respiración, la producción de etileno, la transpiración y los cambios composicionales (Kader 2002).

### **2.4.1 Respiración**

Cuando hay alta intensidad se acelera la senescencia, a la vez se reduce el valor energético de los frutos para los consumidores, hay pérdida de la calidad del sabor y se

evidencia disminución en la materia seca vendible en corto tiempo. La tasa de deterioro es generalmente proporcional a la tasa de respiración. Los frutos son clasificados de acuerdo a su patrón de respiración y producción de etileno en frutos climatéricos y no climatéricos. Los frutos climatéricos muestran un marcado incremento en la producción de CO<sub>2</sub> y etileno durante la maduración, mientras que los frutos no climatéricos no muestran cambios y su producción de CO<sub>2</sub> y etileno generalmente son bajos (Barry y Giovannoni 2007; Kader, 2002; Kays, 1997). No obstante, la aplicación exógena de etileno a éstos últimos puede aumentar la respiración y por ende la maduración (Barry et al., 2007; Bapat et al., 2010).

### **2.4.2 Etileno**

Es la hormona responsable de activar y coordinar los eventos durante la maduración de frutos climatéricos. Estudios en la expresión de genes han demostrado que la maduración es un evento programado que implica la expresión controlada de genes específicos, algunos de los cuales son dependientes del etileno (Giovannoni, 2001). El etileno es sintetizado a partir del aminoácido metionina en tres pasos: (1) conversión de metionina a S-adenosil-L-metionina (SAM) catalizada por la enzima SAM sintetasa, (2) formación del ácido 1-aminociclopropaano-1-carboxílico (ACC) a partir de SAM vía actividad ACC sintasa (ACS), y (3) la conversión de ACC a etileno, reacción catalizada mediante la enzima ACC oxidasa (ACO). La formación de ACC también permite la producción de 5'-metilthioadenosina (MTA), la cual es reciclada vía ciclo de la metionina o ciclo de Yang para producir una nueva molécula de metionina. El incremento en la respiración provee el ATP requerido para el ciclo de la metionina y puede permitir altas tasas de producción de etileno sin altos niveles de metionina intracelular (Barry y Giovannoni, 2007).

### **2.4.3 Transpiración o pérdida de agua**

Es la principal causa de deterioro porque implica la pérdida cuantitativa directa de peso comercial y también en pérdida de la apariencia, calidad textural y nutricional (Kader, 2002).



#### **2.4.4 Cambios composicionales**

Se presentan diferentes cambios durante el desarrollo y la maduración de frutos en la planta, la pérdida de clorofila; desarrollo de carotenoides (colores amarillo, rojo y naranja) y antocianinas (color rojo y azul); cambios en compuestos fenólicos que resultan en el pardeamiento de tejidos, o pueden contribuir a la capacidad antioxidante de los frutos; en carbohidratos se presenta conversión de almidón a azúcar o viceversa, o la conversión de almidón y azúcares a CO<sub>2</sub> y agua a través de la respiración; degradación de pectinas y otros polisacáridos que conduce al ablandamiento de los frutos; cambios en ácidos orgánicos, proteínas, aminoácidos y lípidos que pueden determinar el sabor de los frutos; pérdida en el contenido de vitaminas, y producción de compuestos volátiles asociados con el sabor y aroma de los frutos (Kader, 2002).

### **2.5 Materiales y métodos**

#### **2.5.1 Ubicación**

Los frutos para esta fase de la investigación fueron recolectados en la finca “El Mango” de la vereda Ayatá en el municipio de Miraflores Boyacá. La fase de laboratorio se realizó en los laboratorios de Fisiología Vegetal y Poscosecha de la Facultad de Agronomía, en los laboratorios del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA), en el laboratorio de Frutas Tropicales de la Facultad de Química de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá y en el laboratorio del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi sede Bogotá.

Los frutos fueron recolectados directamente del árbol con la epidermis completamente amarilla, es decir, en madurez de consumo, sanos y con tamaño homogéneo. Posteriormente, los frutos fueron llevados al laboratorio y se almacenaron en cámaras de almacenamiento que permitieron simular las condiciones ambientales del municipio de Miraflores de la siguiente manera: temperatura promedio de 22°C, humedad relativa del 80% y fotoperiodo de 12h luz. Debido a que los frutos son altamente perecederos solo fue posible realizar mediciones durante cuatro días después de la cosecha, ya que estos presentaron pudrición, ablandamiento, ataque de hongos y oxidación de tejidos (Álvarez et al., 2009b).

## 2.5.2 Sistema de variables

### Variable Independiente

Tiempo (días después de la cosecha; dcc)

### Variabes Dependientes

Diariamente se midieron las siguientes variables:

- **Pérdida de peso:** a una muestra de aproximadamente 100g de frutos se le realizó medición de la masa fresca en balanza de precisión con aproximación de 0,001 g.
- **Color de la epidermis:** mediante colorímetro digital marca Minolta se determinaron los parámetros del sistema CIELab “L”, “a” y “b” a cuatro frutos, cada repetición estuvo compuesta por un fruto y a cada fruto se le hicieron tres lecturas en el diámetro ecuatorial. L indica la luminosidad, donde 0 es negro y 100 blanco; valores de “a” <0 indican tendencia hacia el verde y >0 hacia el rojo; “b” tiene el mismo rango pero valores <0 indican tendencia hacia el azul y >0 hacia el amarillo.
- **Firmeza del fruto (N):** a dos frutos de cada una de las cuatro repeticiones se les midió la firmeza en la parte ecuatorial del fruto con un penetrómetro digital PCE-PTR200 con aproximación 0,05 N.
- **Cambios bioquímicos:** para la medición del pH, sólidos solubles totales, acidez total titulable, relación de madurez, ácidos orgánicos y actividad poligalacturonasa se utilizó una muestra de aproximadamente 1 kg de frutos, los procedimientos empleados fueron los mismos que se describieron en el capítulo 1.
- **Determinación de la tasa de respiración ( $\text{mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) y producción de Etileno ( $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ):** a cuatro repeticiones de aproximadamente 50g se les determinó el  $\text{CO}_2$  y el etileno durante todo el almacenamiento con la metodología descrita en el capítulo anterior.

## 2.5.3 Análisis estadístico

Para todas las variables medidas se utilizaron cuatro repeticiones, se realizó un análisis descriptivo en el cual se determinó el promedio y el error estándar. Del mismo modo, se ajustaron modelos estadísticos al comportamiento de los parámetros medidos, y se realizó la prueba de correlaciones de Pearson entre variables con el software SAS v. 8.1e (Cary, N.C).

## 2.6 Resultados y discusión

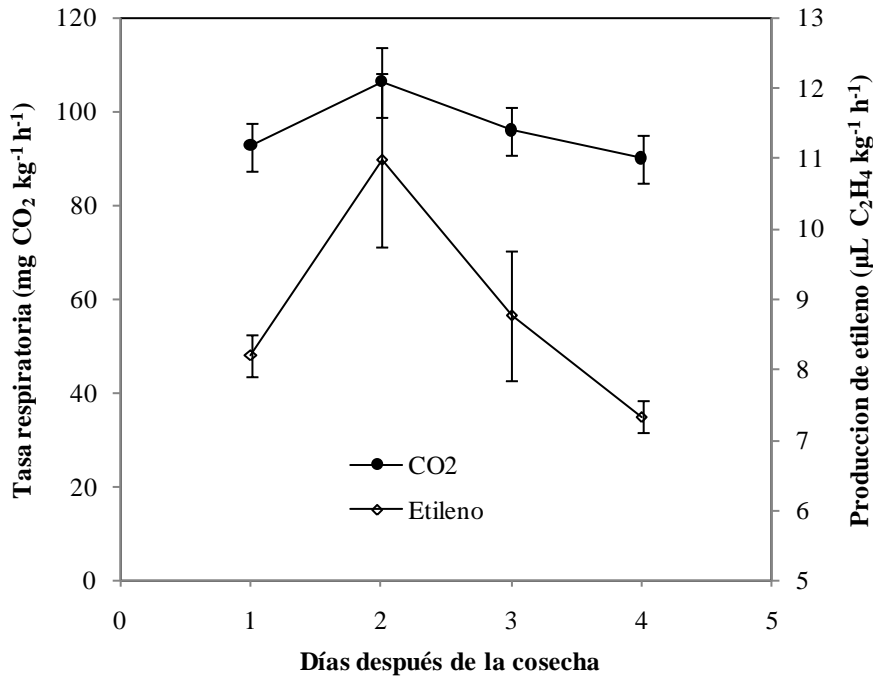
### 2.6.1 Tasa respiración y producción de etileno

Se encontró que la tasa respiratoria de los frutos de champa tuvo un pico al segundo día después de la cosecha con una producción de  $106,43 \pm 5,16 \text{ mgCO}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , posteriormente, la respiración de los frutos disminuyó. En el día dos después de cosecha también se presentó un aumento en la producción de etileno con  $10,98 \pm 1,23 \text{ } \mu\text{LC}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , y de igual manera, la emisión de etileno disminuyó en los días posteriores (Figura 2-1). Lo anterior permite afirmar que los frutos de champa presentan un patrón típico como el que se describe para frutos climatéricos (Barry y Giovannoni, 2007; Kader, 2002).

El punto climatérico encontrado concuerda con el reportado por Álvarez et al. (2009b) para esta misma especie, determinada mediante respirómetro y reportando una tasa respiratoria considerablemente menor. Una discrepancia entre dos métodos de medida de la respiración fue encontrada en frutos de uchuva, donde Villamizar (1993) indicó que este fruto era no climatérico por el método volumétrico, mientras que Novoa et al. (2006) determinaron mediante cromatografía de gases que la uchuva evidentemente pertenece al grupo de los frutos climatéricos.

La respiración climatérica está presente también en otras especies de la familia Myrtaceae como la feijoa la guayaba y el arazá. Sin embargo, la respiración de los frutos de champa fue superior a los de feijoa y menor a los de guayaba y arazá (Valderrama et al. 2005; Mercado-silva et al., 1998; Hernández et al., 2007). Rodríguez et al. (2006b) reportan valores muy similares en los cv Quimba y 8-4 de feijoa a los de los frutos de champa y también presentan comportamiento climatérico. A pesar de esto, el fruto de champa presenta mayor percibibilidad que la feijoa (Rodríguez et al., 2006b), y similar al fruto de arazá (Hernández et al., 2007; Hernández et al., 2009; Carrillo et al., 2011). Estos mismos autores mencionan que la corta vida en poscosecha del arazá se debe a la alta tasa de respiración y producción de etileno, severa deshidratación, resequedad, ablandamiento y susceptibilidad al daño mecánico, bajo contenido de materia seca y ausencia de tejidos de soporte, lo cual, también aplica para la corta vida poscosecha de los frutos de champa, junto con una epidermis muy delgada que no ofrece suficiente protección.

**Figura 2-1:** Tasa respiratoria y producción de etileno de frutos de champa durante la poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n=3).



De acuerdo a la producción de etileno, los frutos de champa pueden ser clasificados como altos productores de esta hormona, junto con frutos como el aguacate, la feijoa, la papaya y duraznos, entre otros (Kader, 2002). La producción de etileno generada por los frutos de champa se convierte en un criterio técnico que sugiere evitar la mezcla de estos frutos con productos agrícolas sensibles al etileno, con el fin de evitar que aceleren su maduración y entren en senescencia de manera rápida cuando estén almacenados con frutos de champa. Lo anterior conduce a una pregunta para nuevas investigaciones sobre el nivel de sensibilidad al etileno y precisar si esa sería una de las causas de su alta perecibilidad. Al respecto, según la clasificación propuesta por Kader (2002) la champa es una fruta altamente percedera. Hernández et al. (2007) y Mercado-Silva et al. (1998) observaron para arazá y guayaba respectivamente valores superiores de etileno durante la poscosecha.

La champa por ser un fruto climatérico presenta los dos sistemas que se reportan de biosíntesis del etileno durante el desarrollo del fruto, estos son: sistema 1 que

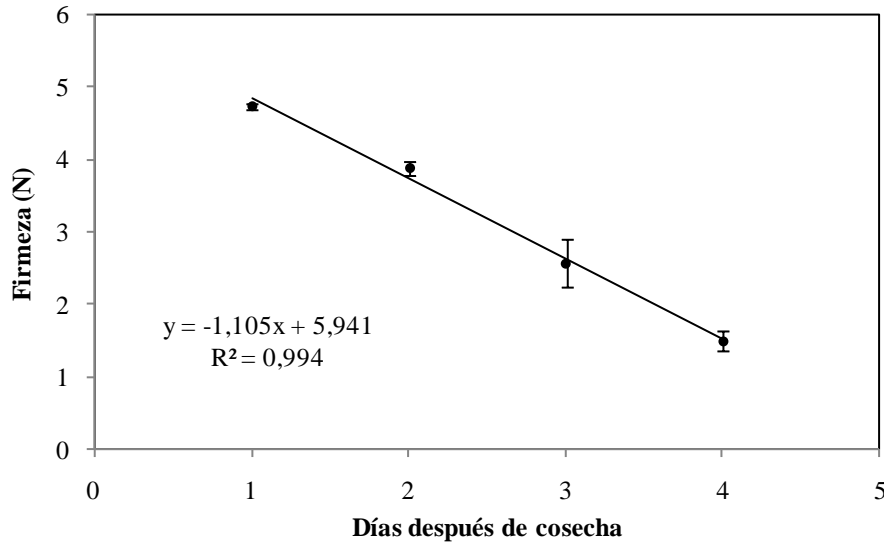
corresponde a una baja producción de etileno en el periodo preclimatérico y durante respuestas a estrés. El sistema 2 que se refiere a una masiva producción autocatalítica de etileno, llamada "síntesis autocatalítica" y es específica para frutos climatéricos durante la maduración (Bapat et al., 2010; Barry et al., 2007). El sistema 2 en los frutos de champa probablemente es el encargado de generar una serie de cambios complejos en el color, sabor y textura de los frutos con la síntesis de nuevas proteínas y mRNA requerido por los frutos para los procesos de maduración (Verma y Joshi, 2000). Parte de los cambios mencionados son analizados más adelante.

### **2.6.2 Firmeza**

Se observó una rápida pérdida de firmeza de los frutos de champa de forma lineal a medida que transcurrió el tiempo en poscosecha, la velocidad de ablandamiento fue de  $1,105 \text{ N d}^{-1}$ , por lo que en el día 4 los frutos presentaron una firmeza de  $1,5 \pm 0,14 \text{ N}$  (Figura 2-2), este valor es un tanto superior al reportado para esta misma especie por Álvarez et al. (2009b) con 1N en el día 4 ddc. La carga que puede soportar un fruto equivale al 70% de su resistencia (Márquez et al., 2007), esto indicaría que los frutos de champa prácticamente no permiten ser empacados al granel. Valores muy superiores de firmeza fueron encontrados en frutos de guayaba (Mercado-Silva et al., 1998), y en arazá (Carrillo et al., 2011; Hernández et al., 2009).

De acuerdo con Bourne (1979), los frutos pueden ser clasificados en dos categorías de acuerdo a su comportamiento durante el ablandamiento y propiedades texturales. Un grupo incluye a aquellos frutos que se ablandan drásticamente durante la maduración, los cuales adquieren una textura blanda, mientras el otro grupo comprende frutos que se ablandan moderadamente y muestran una textura crujiente y fracturable. Jiménez-Bermúdez et al. (2002) mencionan que la fresa, el tomate y el aguacate pertenecen al primer grupo, al que también pertenecería el fruto de champa por su rápido ablandamiento. El rápido ablandamiento durante la maduración es una de las principales causas de la corta vida poscosecha de los frutos, por tanto, cualquier mejora en el ablandamiento de los frutos puede tener una significativa importancia comercial (Jiménez-Bermúdez et al., 2002).

**Figura 2-2:** Firmeza de frutos de champa durante la poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n=4).



Álvarez et al. (2009a y b), ponen de manifiesto que la baja firmeza presentada en los frutos de champa durante la maduración y poscosecha es un indicativo de su alta perecibilidad y es uno de los principales limitantes para su manejo durante esta etapa, lo cual limita su comercialización en fresco y la transformación a pulpa para la elaboración de los respectivos derivados (López y Rodríguez, 1995). Al respecto, Morais et al. (2008) mencionan que la firmeza es considerada uno de los principales atributos de calidad y con frecuencia limita la vida útil en poscosecha. Asimismo, en papaya, el ablandamiento de la pulpa es la principal causa del deterioro y de las pérdidas en poscosecha (Fabi et al., 2009).

La reducción en la firmeza observada es principalmente una consecuencia de las modificaciones en el metabolismo de carbohidratos de la pared celular y de su estructura. La hidrólisis de la lamela media y de la pared celular es el principal proceso responsable de la pérdida de firmeza en los frutos (Morais et al., 2008). En muchos casos, los cambios observados en la firmeza durante la maduración se deben principalmente a la hidrólisis de la pectina por acción de la PG (Morais et al., 2008), además, Gayosso-García et al. (2010) reportan que la enzima PME separa los grupos metil ester de la pectina y la hace más susceptible para la degradación por la enzima PG,

pero también se modifica el pH de la pared celular promoviendo la acción de otras enzimas (Chisari et al., 2009) que promueven el ablandamiento de los frutos. No obstante, hay evidencia que otros mecanismos están también implicados en el ablandamiento de los frutos (Redgwell y Fischer, 2002). Alteraciones en la turgencia de la célula y la degradación de las reservas de almidón también conducen a la pérdida de firmeza de los frutos (Kays, 2004). En concordancia, Álvarez et al. (2009b), encontraron correlación significativa e inversa entre la pérdida de peso con la firmeza. Frutos de tomate maduros mostraron una disminución en la turgencia celular que estuvo asociada con la pérdida de firmeza durante la maduración (Shackel et al., 1991), además, Vicente et al. (2007) mencionan que esta reducción no es consecuencia de la pérdida de integridad de la membrana.

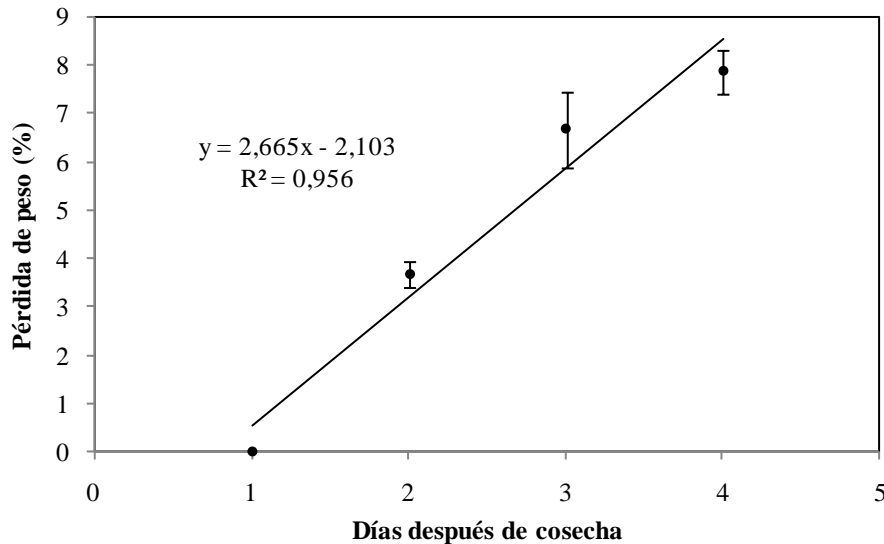
### **2.6.3 Pérdida de peso**

La pérdida de peso de los frutos de champa fue lineal durante el almacenamiento, en cada día transcurrido los frutos perdieron 2,66% del peso, al final la pérdida alcanzó un  $7,88 \pm 0,45\%$  (Figura 2-3), esta tasa de pérdida fue levemente superior a la encontrada por Álvarez et al. (2009b). En arazá se reportan pérdidas de peso superiores al 30% (Hernández et al., 2009), en feijoa las pérdidas están alrededor del 17% (Rodríguez et al., 2006b) similar a lo encontrado en pera (Lombardi et al., 2000).

La pérdida de peso en los frutos de champa durante la poscosecha, se debe a la pérdida de sustratos, ocasionada por la respiración y a la pérdida de agua por transpiración (Kader, 2002). Por tanto, según Osterloh et al. (1996), la disminución de su peso es la suma de las pérdidas por transpiración y respiración; en frutos que respiran mucho se libera mayor cantidad de vapor de agua a la atmósfera. La pérdida de agua ocasiona daños de tipo oxidativo por causa de la desecación y, por otra parte, se pierden constituyentes antioxidantes (Rodríguez et al., 2006b). Teniendo en cuenta que las pérdidas de masa superiores al 5% causan deterioro en la calidad del producto y, por consiguiente reducción en el precio (Pantástico, 1981), el fruto de champa se debe comercializar a más tardar a los dos ddc o someterlo a tratamientos poscosecha que mantenga por más tiempo la calidad (Álvarez et al., 2009b). En concordancia, Burg (2004) reporta que en manzanas y naranjas se toleran pérdidas de peso máximo del 5%

antes de que el producto se vuelva no comerciable, sin embargo, este mismo autor reporta que dependiendo de la especie, el producto pierde su frescura cuando transpiran más del 3 al 10% de su peso fresco.

**Figura 2-3:** Pérdida de peso de frutos de champa durante la poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n=4).

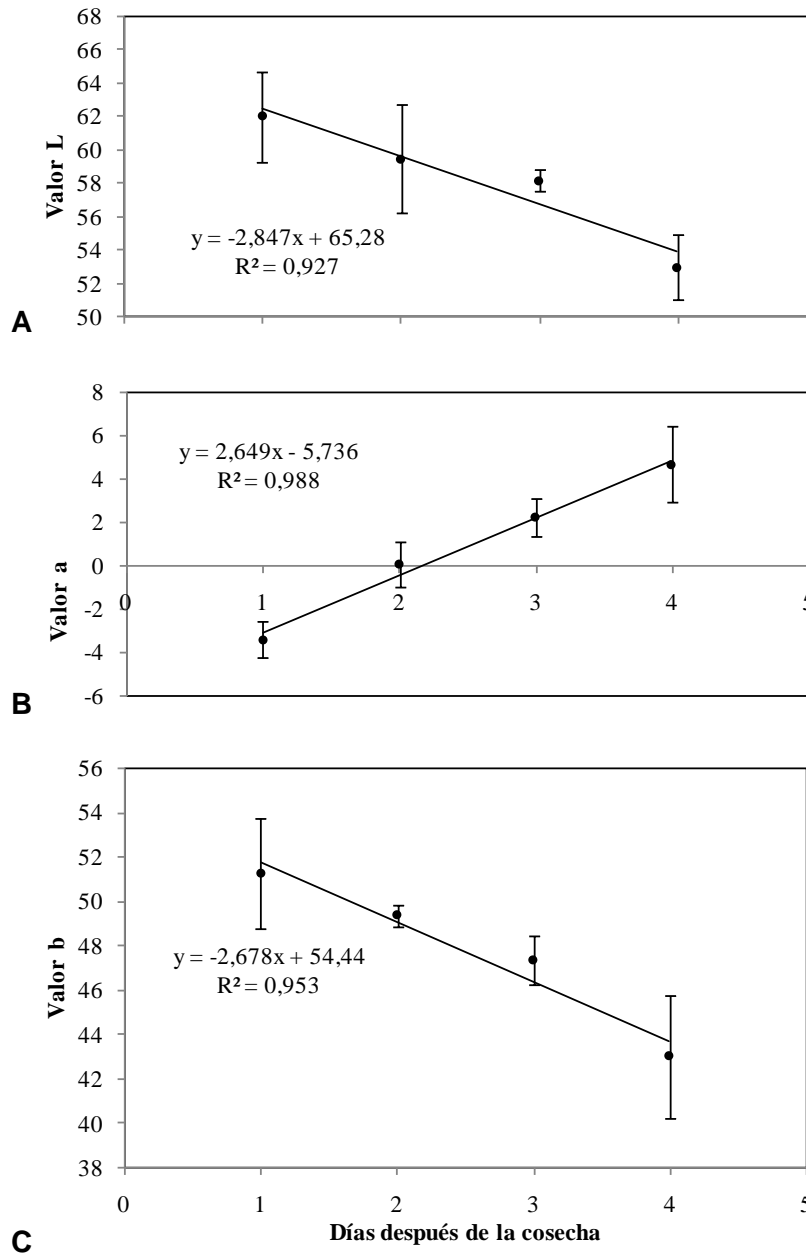


#### 2.6.4 Color de la epidermis

La luminosidad disminuyó linealmente durante la poscosecha en forma similar al valor de "b", "L" pasó de  $62,03 \pm 2,7$  en el día 1 a  $52,97 \pm 1,95$  en el día 4, mientras que "b" cambió de  $51,26 \pm 2,26$  a  $43,01 \pm 2,78$ , por su parte, el valor de "a" aumentó linealmente de  $-3,43 \pm 0,84$  a  $4,68 \pm 1,76$  (Figura 2-4). De acuerdo con Jiménez-Aparicio y Gutiérrez-López (2001), la composición del color en un alimento, en este caso el fruto de champa, está dada por el aporte de L y por los valores de cromaticidad. Durante el almacenamiento de fresa también se observó disminución de la luminosidad, además, los valores observados estuvieron por debajo de 37 (Terrazzan et al., 2006). Los resultados encontrados para mango por Jha et al. (2006) indican que el valor de luminosidad de la epidermis disminuye durante el crecimiento del fruto y aumenta durante la maduración. Estos frutos cambian de color verde oscuro en los estados iniciales de desarrollo a color amarillo claro cuando inician la maduración, muy similar a lo que ocurre en los frutos de champa.



**Figura 2-4:** Comportamiento del color de frutos de champa durante la poscosecha. A. Valor de “L”; B. Valor de “a” y C. Valor de “b”. Las barras verticales indican el error estándar (n=4).



Estos cambios en la coloración del fruto se deben a la degradación de la clorofila (Valpuesta et al., 1996) y a la aparición de otros pigmentos (Kays, 1997). La coloración amarilla en algunos casos se presenta con el fin de evitar la fotoinhibición (Matile et al., 1999). La degradación de la clorofila comienza con la disociación del residuo de fitol y del

anillo de porfirina de la molécula de clorofila, reacción que es catalizada por la enzima clorofilasa (Kariola et al., 2005), la degradación de la clorofila permite también que se desenmascaren pigmentos típicos de la coloración de los frutos, como es el caso de los carotenoides y otros pigmentos que se han formado durante el desarrollo del fruto (Aked, 2000; Ferrer et al., 2005). En diferentes variedades de guayaba se observó degradación de clorofilas durante la maduración (Mercado-Silva et al., 1998).

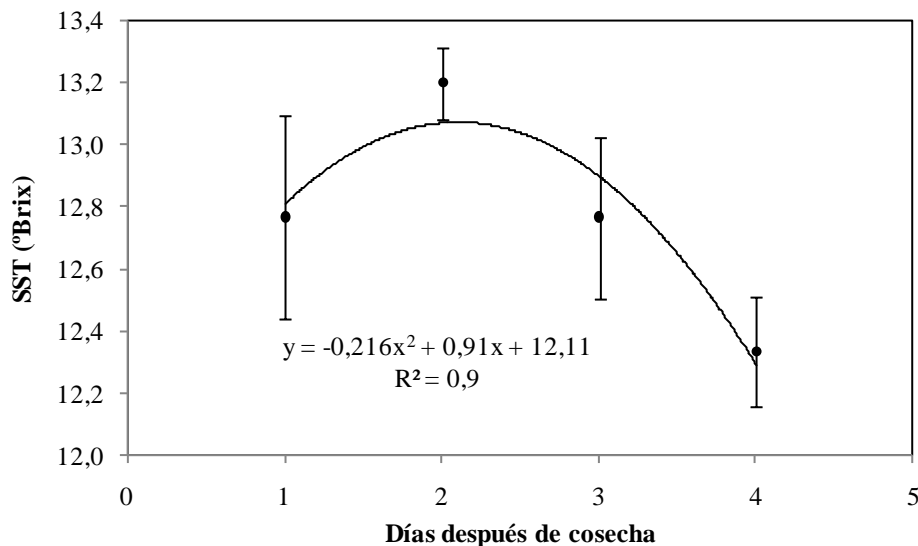
Balaguera et al. (2009) mencionan que en la fase de maduración de los frutos de champa se observó el cambio en la coloración de la corteza, que fue pasando gradualmente de verde oscuro a amarillo, al respecto, López y Rodríguez (1995) mencionan que cuando el fruto obtiene esta coloración está listo para ser consumido.

### **2.6.5 Sólidos solubles totales**

Los SST tuvieron un comportamiento cuadrático en la poscosecha de los frutos de champa, se observó un aumento del día 1 al 2 y luego una disminución hasta el día 4. El máximo valor encontrado fue de  $13,2 \pm 0,11$  °Brix (Figura 2-5). De la cosecha al climaterio, el contenido de SST aumentó debido posiblemente a la hidrólisis de diversos polisacáridos estructurales tales como almidón, pectinas y otros oligosacáridos de la pared celular, hasta sus componentes monoméricos básicos, los que al solubilizarse en la fase acuosa pasaron a formar parte del jugo (Menéndez et al., 2006). Después del climaterio, los SST disminuyeron posiblemente porque los azúcares y ácidos principalmente, fueron utilizados como sustrato respiratorio para generar el ATP necesario para el resto de la vida de los frutos. Al respecto, Rodríguez et al. (2006b) reportan un ascenso en los SST en feijoa hasta un día después del climaterio y luego un descenso que puede estar asociada con las altas tasas respiratorias. En guayaba sobremadura, los SST también disminuyeron (Mercado et al., 1998) al igual que en mango (Jha et al., 2006).

La disminución de los SST en los frutos de champa al final de la poscosecha puede estar asociada con la pérdida del sabor, tal como ocurre en frutos de feijoa (Klein y Thorp, 1987; Gallego et al., 2003).

**Figura 2-5:** Sólidos solubles totales (SST) de frutos de champa durante la poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n=4).

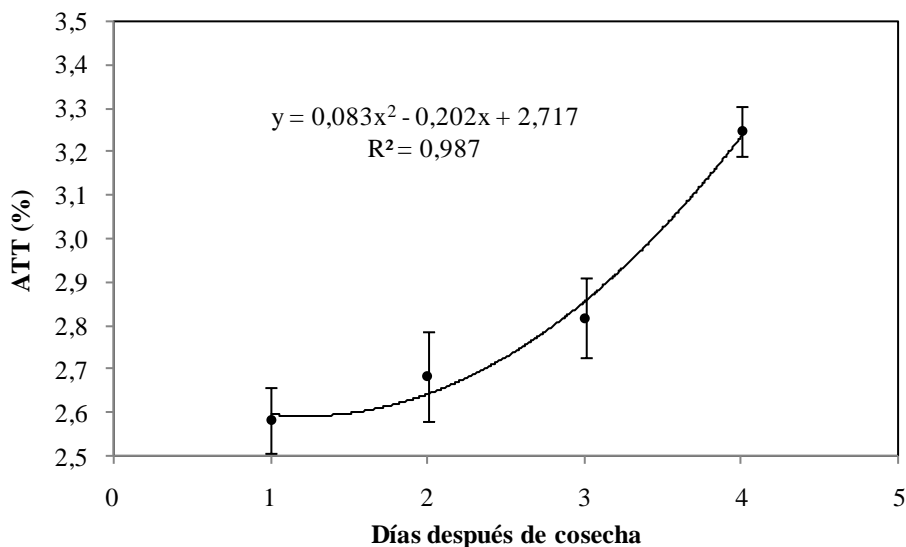


### 2.6.6 Acidez total titulable

Durante la poscosecha la ATT de los frutos de champa aumentó siguiendo un polinomio de segundo grado, en el día 4 presentó el valor máximo con  $3,25 \pm 0,05\%$  (Figura 2-6). Este resultado concuerda con el reportado por Álvarez et al. (2009b) para estos mismos frutos. Los ácidos orgánicos son sustratos importantes para la respiración del fruto, varios de estos ácidos son componentes esenciales en el ciclo respiratorio de los ácidos tricarboxílicos (Kays, 2004). Por lo cual, se esperaría que la ATT disminuyera durante la poscosecha de los frutos de champa. Sin embargo, el comportamiento observado podría estar asociado con las reservas que el fruto de champa posee de almidón y polisacáridos, las que serían suficientes para cubrir la mayor parte de los requerimientos energéticos de las reacciones ocurridas en el climaterio y además podrían dar origen a ácidos grasos (Kays, 2004), lo anterior sumado a un posible aumento de los ácidos pécticos por destrucción de las paredes celulares (Wills et al., 1998), que podrían contribuir al aumento de la ATT observado durante el climaterio. El aumento de la ATT también es reportado en banano (Zhang et al., 2005; Ciro et al., 2005), este aumento se debe a la acumulación de ácido málico, el cual puede causar una disminución de pH (Palmer, 1971). Por el contrario, en feijoa la ATT disminuyó durante la poscosecha (Rodríguez et al., 2006b; Valderrama et al., 2005). Aparte de su importancia bioquímica,

los ácidos orgánicos contribuyen en gran parte al sabor, en una relación típica entre azúcares y ácidos en las diferentes especies de frutales (Wills et al., 1998).

**Figura 2-6:** Acidez total titulable (ATT) de frutos de champa durante la poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n=4).



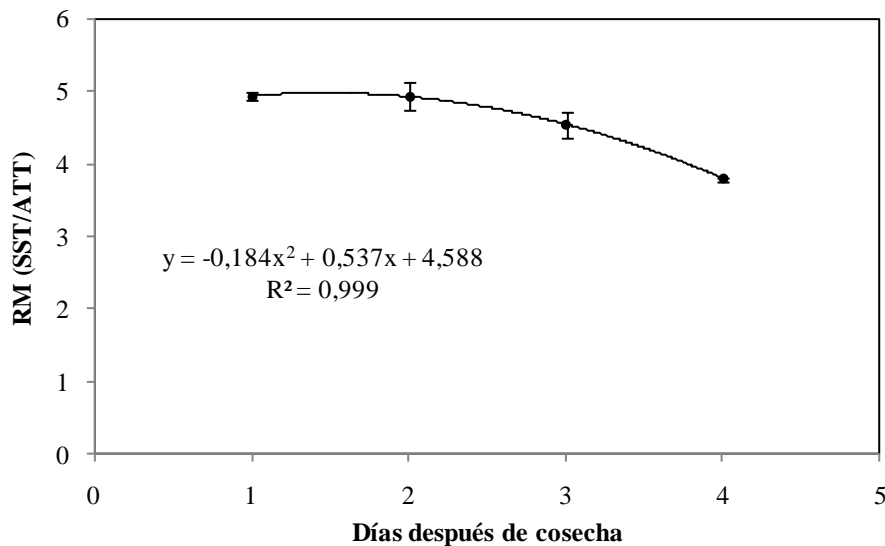
En concordancia, Hernández (2001) comenta que los frutos de algunas mirtáceas con patrón respiratorio climatérico desdoblan de manera rápida sus reservas (ácidos orgánicos) durante el máximo respiratorio, como respuesta al incremento del metabolismo y, en consecuencia, aumentan los sólidos solubles totales y la acidez titulable. Sin embargo, en champa solo se evidencia aumento de la ATT con una disminución de los SST, esto podría indicar que los ácidos presentes en los frutos de champa se pueden estar originando a partir de azúcares, al respecto Kays (1997) menciona que los precursores inmediatos de los ácidos orgánicos son otros ácidos o también los azúcares.

### 2.6.7 Relación de madurez

Los frutos de champa disminuyeron la RM durante la poscosecha, este comportamiento se ajustó a un modelo cuadrático. Al inició la RM fue de  $4,94 \pm 0,05$  y en el día 4 de  $3,8 \pm 0,03$  (Figura 2-7). La RM de los frutos de champa disminuyó durante la poscosecha debido al continuo ascenso de la ATT y a la disminución de los SST después del

climaterio. Resultados similares se reportaron para este mismo fruto en estudios realizados por Álvarez et al. (2009b), pero con la diferencia que se presentó un aumento hasta el día dos, mientras que en el presente estudio del día uno al día dos la RM permaneció casi constante, de acuerdo con este índice sirve para medir la calidad organoléptica de los frutos (Rodríguez et al., 2006b), los frutos de champa permanecerían óptimos para el consumo hasta el día dos, pues los frutos tropicales, como lo afirma Pantástico (1981) en su óptima sazón, muestran la mayor cantidad de carbohidratos y, a su vez, presentan la mínima concentración de acidez. Al respecto, frutos de curuba con una alta relación SST/ATT tienden a ser más agradables (Tellez et al., 2007).

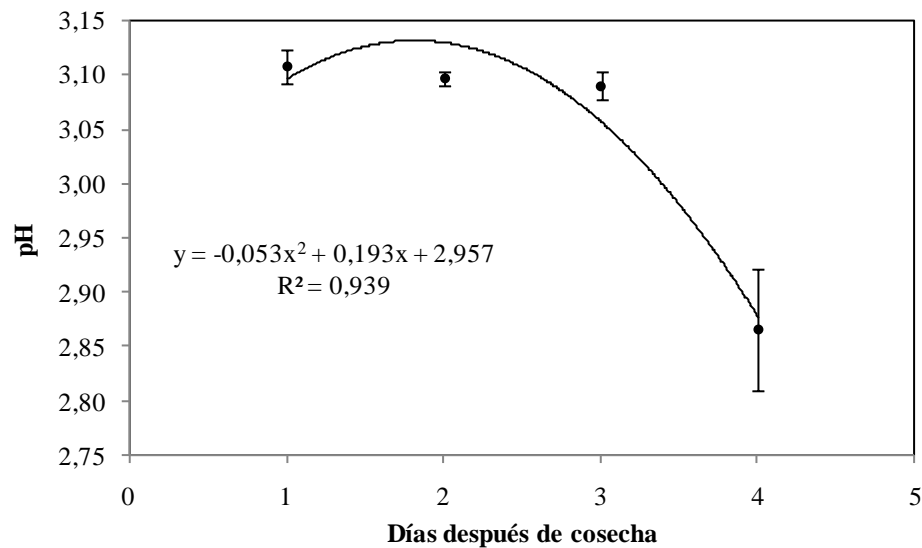
**Figura 2-7:** Relación de madurez (RM) de frutos de champa durante la poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n=4).



### 2.6.8 pH

Un polinomio de segundo grado explicó el comportamiento del pH de los frutos en poscosecha, en los primeros 3 días el pH permaneció casi constante pero en el día 4 se observó el valor más bajo con  $2,87 \pm 0,05$  (Figura 2-8).

**Figura 2-8:** Comportamiento del pH de frutos de champa durante la poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n=4).



Según Rodríguez et al. (2006b), el valor del pH es importante cuando el fruto va a ser industrializado porque está relacionado con los costos de transformación del producto. En guayaba se ha encontrado que frutos con un nivel de pH alrededor de 3,4 y menores valores de acidez implican mayor economía en el proceso, porque hay que adicionar menos ácidos para la corrección del pH (Rezende et al., 1984). El valor de pH para los frutos de champa es superior a los reportados para *Campomanesia phae* (pH=2,91) por Vallilo et al. (2005). Estos autores también mencionan que a mayor acidez existe una mayor posibilidad de industrialización de los frutos en forma de dulces. Consecuentemente, Andrade et al. (1993) afirman que para la elaboración de jugos, un alto nivel de acidez provoca una elevada dilución del producto y por consiguiente un aumento en el rendimiento final. López y Rodríguez (1995), mencionan que uno de los usos más comunes de los frutos de champa es la elaboración de jugos caseros, no obstante, Balaguera et al. (2009) afirman que este uso se debe a su exquisito sabor, mas no a su eficiencia en el rendimiento de la pulpa, pero los resultados que se muestran en la figura 3.6 ponen de manifiesto que industrialmente la champa también tendría una gran aceptación por su alta acidez.

Pantástico (1981), describió que un aumento del pH ocurre debido a la reducción de la ATT confirmando de manera general, sin embargo, esta relación entre pH y ATT no

siempre puede ser directa, teniendo en cuenta que el pH interactúa con otros factores en el fruto como el tipo de tejido (Kays, 2004), sales, temperatura y potencial redox (Bari et al., 2005), entre otros.

Durante la poscosecha de feijoa, Rodríguez et al. (2006b) encontraron valores de pH superiores a 2 pero menores a 3,5, con tendencia al aumento en la etapa final del almacenamiento, contrario a lo observado en los frutos de champa. En frutos de persimón (*Diospyros kaki* Thunb. cv. Rojo Brillante) se reportan valores de pH superiores a 6 (Salvador et al., 2007).

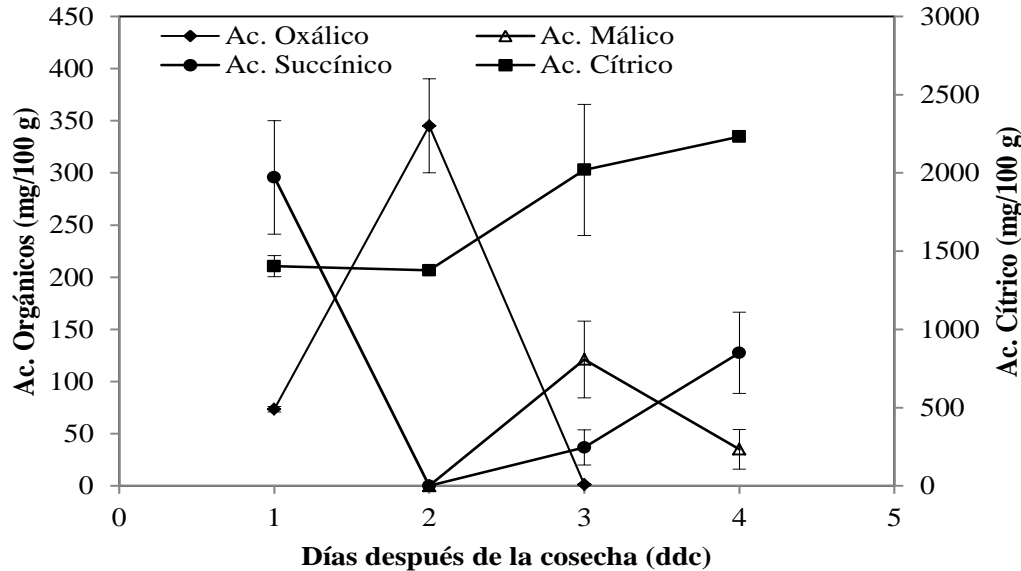
### 2.6.9 Ácidos orgánicos

Se encontró que el ácido predominante durante la poscosecha fue el ácido cítrico, el cual presentó un continuo ascenso a medida que aumentó el almacenamiento, en el día 1 ddc la concentración fue de  $1404,1 \pm 67,87$  mg/100g de fruto y el valor máximo encontrado en el día 4 ddc fue de  $2232,5 \pm 35$  mg/100g de fruto. Por su parte, el ácido oxálico aumentó considerablemente del 1 ddc ( $73,6 \pm 2,6$  mg/100g de fruto) al 2 ddc ( $345,1 \pm 45,1$  mg/100g de fruto) y luego disminuyó de forma drástica en el día 3 ddc ( $1,3 \pm 0,3$  mg/100g de fruto) y en el día 4 ddc ya no se detectó. Respecto al ácido málico, se detectó únicamente en los días 3 y 4 ddc pasando de  $121,3 \pm 36,8$  mg/100g de fruto a  $35,1 \pm 18,9$  mg/100g de fruto respectivamente. Por último, el ácido succínico tuvo un comportamiento irregular, la mayor concentración se observó en el día 1 ddc ( $295,7 \pm 54,4$  mg/100g de fruto), en el día 2 ddc no hubo presencia de este ácido, en el día 3 ddc la concentración fue de  $36,8 \pm 16,8$  mg/100g de fruto y luego disminuyó de forma representativa hasta la cosecha (Figura 2-9). No se detectó ácido tartárico, el cual está presente en muchos frutos, siendo el predominante en *Vitis vinífera* L. (Rizzon y Ambrosi, 2007), pero tampoco se reporta para frutos de arazá (Hernández et al., 2007; Hernández et al., 2009; Carrillo et al., 2011) y agraz (*Vaccinium meridionale*).

En concordancia con lo encontrado para champa, en guayaba el ácido predominante también es el cítrico (Cavalini et al., 2006; Mercado-Silva et al., 1998), al igual que en Guabiroba (Silva et al., 2009), pero difiere de arazá porque en este caso el ácido predominante es el málico (Hernández et al., 2007; Hernández et al., 2009; Carrillo et al.,

2011). Además, el contenido de ácido cítrico encontrado en los frutos de champa es superior al reportado en frutos de agraz por Ávila et al. (2007), uchuva (Novoa et al., 2006) y mucho mayor al encontrado en diferentes cultivares de fresa (Sturm et al., 2003).

**Figura 2-9:** Comportamiento de los ácidos orgánicos de frutos de champa durante la poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n=3).



El contenido de ácidos orgánicos es determinado por el balance de la síntesis y la degradación de los mismos (Tang et al., 2010). Kays (2004) afirma que los precursores inmediatos de los ácidos orgánicos son otros ácidos orgánicos y también los azúcares. De acuerdo con lo anterior, es posible que la síntesis de ácido cítrico desde el día 2 ddc se dé a partir del ácido oxálico y desde el día 3 ddc dependa también del ácido málico. Al respecto, en melón se encontró una correlación positiva entre la actividad de la enzima málica y la concentración de ácido cítrico (Tang et al., 2010), esto indicaría que en los frutos de champa, la disminución del ácido málico y el incremento en el ácido cítrico puede ser debido a un aumento de la enzima málica. En frutos de níspero, Chen et al. (2009) encontraron que dicha enzima cumple una importante función en la disminución del ácido málico, pero no se correlacionó con el ácido cítrico en piña (Saradhulhat y Paull, 2007). El ácido cítrico es sintetizado por la condensación del ácido oxaloacético mediante la enzima CS, esta enzima cataliza el primer paso en el ciclo del ácido cítrico,



sin embargo, la enzima PEPC también puede tener una importante función en la biosíntesis de este ácido (Chen et al., 2009).

El ácido málico es uno de los ácidos más difundidos en la naturaleza, siendo el predominante en gran número de vegetales, es considerado un ácido débil y poco resistente a la respiración oxidativa (Rizzon y Ambrosi, 2007), esto puede en parte explicar la baja o nula concentración de este ácido en la poscosecha de los frutos de champa. En esta etapa, la degradación del ácido málico es más importante que la síntesis, lo que determina la reducción del contenido de este ácido, que además, es más rápida cuanto mayor es la temperatura (Rizzon y Sganzerla, 2007). En frutos de níspero, la concentración de ácido málico decreció linealmente con el incremento en la actividad de la enzima málica (NADP-ME) y fue directamente a proporcional con la enzima NAD-malato deshidrogenasa (NAD-MDH) (Chen et al., 2009), es posible que en los frutos de champa estas enzimas estén regulando la síntesis y degradación del ácido málico. De otra parte, en el fruto una parte del ácido málico proviene de la oxidación de la glucosa en la respiración (Rizzon y Sganzerla, 2007).

Durante la poscosecha de frutos de arazá se encontró que el ácido málico y el cítrico disminuyeron levemente, mientras que el succínico aumentó (Carrillo et al., 2011), lo cual coincide parcialmente con lo encontrado en los frutos de champa, Hernández et al. (2009) también encontró disminución del ácido málico. El aumento en la acidez del fruto de champa, dependiente en gran parte por el aumento del ácido cítrico es un proceso que ha sido reportado en otras mirtáceas como la guayaba (Ali y Lazan, 1997). El contenido de ácido succínico en general fue superior al reportado para varios cultivares de níspero (Hasegawa et al., 2010). Respecto al ácido oxálico, los frutos de champa presentaron contenidos superiores a los encontrados en uchuva, al parecer en este fruto dicho ácido aumenta durante el almacenamiento (Novoa et al., 2006). La cantidad de ácido succínico encontrado en champa es superior al reportado en fresa, pero al igual que en esta especie, se observó aumento durante el almacenamiento (Holcroft y Kader, 1999) posiblemente por inhibición de la enzima succinato deshidrogenasa (Frenkel y Patterson, 1973). La ausencia de ácido succínico en el día 2 ddc puede ser debida a que este ácido puede ser sintetizado y degradado rápidamente a otros ácidos o puede

presentarse bloqueo parcial del ciclo de Krebs, tal como lo explica Tovar et al. (2001) en mango.

Los ácidos orgánicos en los frutos de champa al igual que en los demás frutos pueden tener diversas funciones, Osterloh et al. (1996) menciona los siguientes: (a) participan directamente en la respiración aeróbica y anaeróbica sobre el ciclo de ácidos tricarboxílicos, (b) en muchos frutos forma el segundo depósito de energía más importante (después de los carbohidratos) y (c) es la base e intermedio de los productos para toda la síntesis en el metabolismo primario y secundario del fruto. Adicionalmente, los ácidos orgánicos proveen iones hidrogeno que modifican el pH (Gayosso-García et al., 2010), de tal manera que mayor contenido de ácidos el pH será menor.

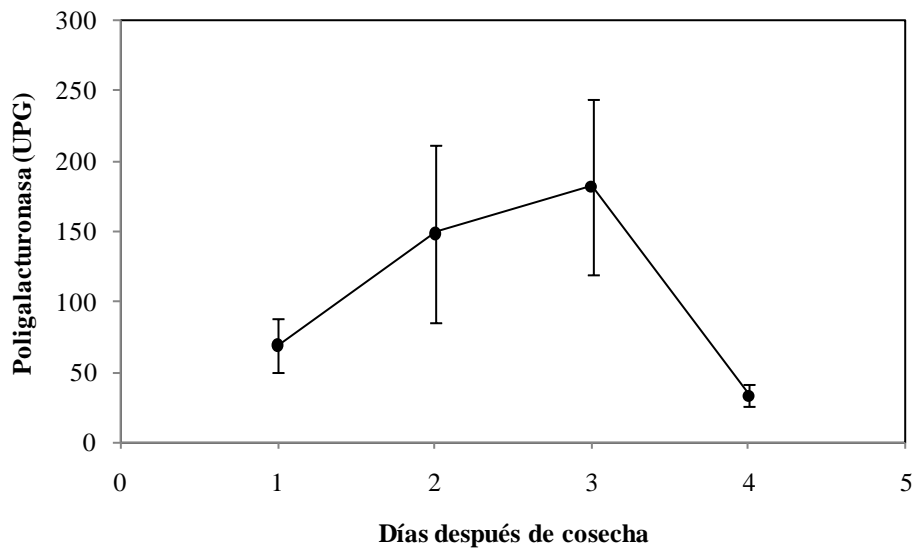
### **2.6.10 Actividad poligalacturonasa**

Se observó un incremento de la actividad poligalacturonasa desde el primer día después de la cosecha hasta el día 3, en este día presentó el valor más alto con  $181,92 \pm 62,92$  UPG, para el cuarto día la actividad disminuyó (Figura 2-10). Un comportamiento similar en la actividad PG fue observado en zapote (*Manilkara zapota*), donde se presentó un aumento a los 8 ddc y luego disminuyó gradualmente (Morais et al., 2008). La actividad PG encontrada en mango por Prasanna et al. (2006) también concuerda con lo observado en los frutos de champa, al igual que la reportada para guayaba (Espinal, 2010). Este último autor encontró valores de la actividad PG superiores a los encontrados en este estudio para champa, con valores que oscilaron entre 100 y 500 UPG.

PG cataliza la ruptura hidrolítica de los enlaces de galacturónidos en la matriz de pectina (Villavicencio et al., 2004). Los sustratos para la PG en las paredes celulares son principalmente homogalacturonanos desesterificados (Carpita y Gibeaut, 1993), por tanto, la acción de la PG requiere pectinas desmetilesterificadas previamente por la enzima PME (Wakabayashi et al., 2000; Brummell y Harpster, 2001). El resultado final de la acción de la PG es la pérdida de la integridad celular y el incremento de la concentración de polisacáridos solubles (Bartley y Knee, 1982). Así, PG y PME afectan la integridad de la lamela media de las paredes celulares, la cual controla la adhesión célula a célula (Brummell y Harpster, 2001), es por esto, que la PG está implicada en la dehiscencia de los frutos (Sanders et al., 2001), y en muchas situaciones, en el

ablandamiento de los mismos (Rodríguez et al., 2006c; Abu-Sarra y Abu-Goukh, 1992; Fabi et al., 2009).

**Figura 2-10:** Actividad poligalacturonasa de frutos de champa durante la poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n=3).



En muchos casos, la pérdida de firmeza durante la maduración se deben principalmente a la degradación de la pectina por acción de la PG (Morais et al., 2008). A pesar de esto, en tomate, la inhibición de esta enzima tuvo muy poco efecto en la pérdida de firmeza (Giovannoni, 2001). En zapote, tampoco es el principal factor que causa ablandamiento (Morais et al., 2008; Miranda et al., 2001). Por el contrario, en guayaba se encontró alta correlación entre la actividad PG y la pérdida de firmeza (PG guayaba), al igual que en mango (Abu-Sarra y Abu-Goukh, 1992), pitahaya (Rodríguez et al., 2006c) y papaya (Fabi et al., 2009). En frutos de persimon, Salvador et al. (2007) encontraron que durante la maduración la actividad de PG permaneció constante, lo que indica que esta enzima no afectó el proceso inicial de ablandamiento del fruto pero cumple una importante función en el deterioro que ocurre durante el último estado de madurez comercial, generando de esta manera el ablandamiento en fases más avanzadas del desarrollo de varios frutos (Bonghi et al., 1996; Choi et al., 2002).

Se han realizado varias investigaciones sobre el comportamiento que presenta la PG en la maduración y su relación con el ablandamiento de diferentes frutos como tomate (Warrilow y Jones, 1994), fresa (Villareal et al., 2008), kiwi (Bonghi et al., 1996), banano (Payasi y Sanwal, 2003), guayaba (Abu-Bark et al., 2003), mango (Prasanna et al., 2006) y pitahaya (Rodríguez et al., 2006c). Al parecer, en estos estudios, se observa que la mayor actividad PG coincide con el máximo climaterio. Los resultados en los frutos de champa difieren en este aspecto, pues la máxima actividad PG se encontró en el posclimaterio, al igual que lo reportado para mango por Prasanna et al. (2006). Además, parece se ha observado que el etileno tiene cierta influencia en la actividad de esta enzima (Majumder y Mazumdar, 2002), en concordancia, Mondal et al. (2008) observaron que en guayaba el climaterio generó pérdida de firmeza debido a la activación de las enzimas PG y PME por parte del etileno.

### **2.6.11 Análisis de correlaciones**

En general, se observó poca correlación entre las variables evaluadas, esto debido posiblemente a que el climaterio y la transición entre maduración y senescencia causan cambios en el comportamiento inicial en un gran número de las variables, tal como se observó a lo largo de este capítulo. Uno de los cambios más evidentes durante la poscosecha es la pérdida de peso, la cual aumentó continuamente y presentó correlación positiva con la ATT, el valor “a” y el ácido cítrico, mientras que hubo correlación negativa con la firmeza, la RM, el pH, la luminosidad, el valor de “b” y el ácido oxálico, con las demás variables la correlación fue muy baja y no fue significativa (Tabla 2-1).

El fruto de champa presentó un comportamiento climatérico, indicando que la producción de etileno y de CO<sub>2</sub> genera la activación de enzimas y la energía necesaria para que el fruto adquiriera la madurez organoléptica y posteriormente entre en proceso de senescencia (Kays, 2004), sin embargo, estas dos variables tuvieron baja correlación con la mayoría de las variables, excepto entre sí mismas y con los SST (Tabla 2-1), pero esto se debe a que la respiración y el etileno presentan un pico de máxima producción y luego disminuyen.

Como la ATT aumentó durante la poscosecha, presentó correlación negativa con el pH, la firmeza, la luminosidad, el valor de “b” y el ácido oxálico, y fue directamente

proporcional con la pérdida de peso el valor de "a" y el contenido de ácido cítrico, lo cual confirma que éste ácido es el predominante en los frutos de champa y es que determina en mayor grado la ATT. El ácido succínico mostró correlación positiva con el ácido oxálico, entre los demás ácidos no hubo correlación significativa (Tabla 2-1). Balaguera et al. (2009b) durante la poscosecha de frutos de champa encontraron correlación positiva entre la ATT y la pérdida de peso, entre los SST, la RM y el pH e inversa entre la ATT, la RM, los SST, el pH y la firmeza, lo cual concuerda casi en su totalidad con lo que se reporta en el presente estudio.



**Tabla 2-1:** Correlaciones de Pearson para las variables evaluadas durante la poscosecha del fruto de champa. \*significancia al 1%; \* significancia al 5%; ns: sin diferencias estadísticas.

	SST	ATT	RM	pH	PP	L	a	b	PG	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	AO	AC	AM	AS
F	0,22ns	-0,88**	0,85**	0,70*	-0,94**	0,77*	-0,91**	0,92**	0,10ns	0,47ns	0,20ns	0,70*	-0,85*	0,53*	0,23ns
SST	1	-0,23ns	0,49ns	0,35ns	-0,04ns	0,01ns	-0,01ns	0,19ns	0,77*	0,43ns	0,60*	-0,25ns	-0,14ns	-0,19ns	-0,40ns
ATT		1	-0,96**	-0,83*	0,77*	-0,74*	0,81*	-0,74*	-0,31ns	-0,26ns	-0,14ns	-0,64*	0,70*	0,65*	-0,17ns
RM			1	0,81*	-0,71*	0,67*	-0,73*	0,72*	0,50ns	0,33ns	0,29ns	0,53ns	-0,65*	-0,62*	0,08ns
pH				1	-0,63*	0,48ns	-0,63*	0,48ns	0,32ns	0,37ns	0,34ns	0,34ns	-0,62*	-0,72*	-0,18ns
PP					1	-0,70*	0,90*	-0,82*	0,09ns	-0,32ns	-0,11ns	-0,83*	0,75*	0,48ns	-0,38ns
L						1	-0,78*	0,85*	0,25ns	0,003ns	-0,34ns	0,75*	-0,49ns	-0,53*	0,11ns
a							1	-0,80*	-0,04ns	-0,29ns	0,04ns	-0,73*	0,75*	0,69*	-0,19ns
b								1	0,09ns	0,42ns	0,06s	0,67*	-0,77*	-0,33ns	0,20ns
PG									1	-0,08ns	0,06ns	-0,11ns	0,12ns	-0,38ns	-0,42ns
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>										1	0,81*	-0,21ns	-0,65*	-0,21ns	-0,34ns
CO <sub>2</sub>											1	-0,34ns	-0,33ns	-0,07ns	-0,25ns
AO												1	-0,40ns	-0,30ns	0,64*
AC													1	0,30ns	-0,17ns
AM														1	0,38ns
AS															1

F: firmeza; SST: sólidos solubles totales; ATT: acidez total titulable; RM: relación de madurez; PP: pérdida de peso; L: luminosidad; a: valor de “a”; b: valor de “b”; PG: poligalacturonasa; AS: ác. Succínico; AC: ác. Cítrico; AM: ác. Málico; AO: ác. Oxálico.





## **3. Determinación del punto óptimo de cosecha del fruto de champa**

### **3.1 Resumen**

Se desconoce el punto óptimo de cosecha de los frutos de champa, esto genera que se cosechen frutos en diferentes estados de madurez y se disminuya la calidad del producto. Con el objetivo de determinar el punto óptimo de cosecha del fruto de champa, se evaluaron seis tratamientos correspondientes a diferentes estados de madurez del fruto con base en el color de la epidermis así: 100% verdes pero con madurez fisiológica, 25% amarillo (A) 75%verde (V), 50%A-50%V, 75%A-25%V, 100%A y testigo (frutos recolectados del suelo), cada tratamiento con tres repeticiones. Cada unidad experimental estuvo compuesta por 1300 g aproximadamente. Los frutos se almacenaron a 22°C, humedad relativa del 80% y fotoperiodo de 12h luz. Las evaluaciones se hicieron cada tercer día. Los frutos pueden ser cosechados 100% V con madurez fisiológica y tienen una duración de 7,6 días, cosechar frutos más maduros reduce significativamente la vida útil, el testigo se conservó en condiciones comerciales aproximadamente dos días. Respecto a la evaluación sensorial, se encontró que en el primer día los frutos más maduros tuvieron mayor aceptación, los frutos 100%V continuaron madurando durante la poscosecha pero algunas características sensoriales como la apariencia, el color y la textura tuvieron puntajes inferiores a los demás tratamientos en la madurez organoléptica, a pesar de esto alcanzaron dicha madurez. Estos mismos frutos se conservaron más firmes durante el almacenamiento y hasta el día siete presentaron la menor pérdida de peso, pero su coloración no es la óptima. Los sólidos solubles totales en todos los tratamientos aumentaron en los primeros días y luego disminuyeron. La acidez total titulable en general fue superior en los frutos 100%V y la RM fue menor al igual que el pH. En general, se observó que al cosechar los frutos 100% V se prolonga la vida poscosecha del fruto, pero no se expresan totalmente las características

organolépticas, los demás tratamientos maduran normalmente pero la duración poscosecha es inferior.

## 3.2 Introducción

Según Villachica (1996) y Rodríguez y López (1995), los frutos de champa generalmente no son cosechados sino recolectados del suelo, ya que a medida que se acercan al punto de maduración se desprenden del árbol y caen al suelo. Esta situación hace que los frutos pierdan su calidad rápidamente y que su comercialización se vea limitada. Además, no se ha determinado el punto óptimo de cosecha por desconocimiento de los cambios fisicoquímicos del fruto durante su crecimiento y desarrollo, así como la duración de éstos. Cuando se recolectan los frutos se encuentran en diferentes estados de madurez y muchos son desechados porque no cumplen con las características organolépticas exigidas por el consumidor o comercializador, causando pérdidas económicas al productor.

La importancia de cosechar los frutos en el momento oportuno radica en que la madurez de cosecha es el factor más importante que determina el comportamiento poscosecha y la calidad final, asimismo, está relacionada con los prerrequisitos de utilización por parte de los consumidores y comercializadores (Santamaría et al., 2009; Rodríguez, 2005). Para muchos productos agrícolas, la cosecha es manual, por lo que el recolector debe tener la capacidad de decidir el momento en que un producto ha alcanzado la madurez de cosecha (Kader, 2002). Al respecto, los frutos de champa por su naturaleza climatérica pueden ser cosechados desde la madurez fisiológica y continuarán madurando durante la poscosecha, sin embargo, se desconoce el comportamiento poscosecha de frutos de champa recolectados en diferentes estados de madurez.

Existen diferentes índices de madurez que se utilizan para decidir cuándo un producto dado puede ser cosechado para proveer cierta calidad en la comercialización y para asegurar la aceptabilidad por parte de los consumidores (Verma y Joschi, 2000), siendo el color de la epidermis uno de los más adecuados (Kader, 2002), pero debe acompañarse de otros índices para realizar una determinación más objetiva. De esta manera, el objetivo propuesto fue determinar el punto óptimo de cosecha de los frutos de champa en el municipio de Miraflores Boyacá. Con la determinación del punto óptimo de

cosecha se busca tener un criterio técnico para la programación de cosechas, las cuales deben garantizar la recolección del fruto directamente del árbol y con la madurez adecuada que favorezca a productores, industrializadores, comercializadores y consumidores.

### **3.3 Tipos de madurez en productos agrícolas**

Santamaría et al. (2009) mencionan que el estado de madurez en la cosecha muestra una marcada influencia en el comportamiento poscosecha del fruto durante la comercialización. La madurez de cosecha es uno de los factores más importante que determinan la vida de almacenamiento y la calidad final del órgano o del fruto y está relacionada con los prerrequisitos de utilización por parte de los consumidores (Rodríguez, 2005). La madurez fisiológica hace referencia a la etapa del desarrollo en la cual el fruto puede continuar su ontogenia si es separado de la planta al ser cosechados los frutos en la madurez fisiológica aun cuando no son aptos para el consumo, estos pueden alcanzar las características organolépticas deseables para el consumidor (Kader, 2002). En frutos climatéricos la cosecha se puede hacer a partir de la madurez fisiológica, mientras que en frutos no climatéricos la cosecha coincide con la madurez de consumo, debido a que en estos últimos prácticamente se desarrollan en forma simultánea la madurez fisiológica y la de consumo (Wills et al., 1998).

La madurez de consumo se refiere a las cualidades que hacen comestibles los frutos y varía de acuerdo con los gustos particulares de los consumidores (Calderón, 1989). Según Rodríguez (2005), cosechar con la madurez apropiada implica el manejo de índices de madurez los cuales indican que el fruto alcanzará una mínima aceptabilidad organoléptica para el consumidor.

### **3.4 Punto óptimo de cosecha**

De acuerdo con Kader (2002), el primer paso en la vida poscosecha de los productos es el momento de la cosecha. Para muchos productos agrícolas, la cosecha es manual, por lo que el recolector debe tener la capacidad de decidir el momento en que un producto ha alcanzado la madurez de cosecha. La madurez de productos agrícolas perecederos tiene una importante relación con la vida en almacenamiento y la calidad poscosecha, la cual se puede afectar por la manipulación, transporte y comercialización.

Según Altube et al. (2001), los frutos presentan cambios fisicoquímicos y organolépticos en el transcurso de pocos días durante su maduración, por esto el momento adecuado de la cosecha es importante para garantizar la máxima calidad del producto. Del mismo modo, los frutos climatéricos continúan madurando después de la cosecha lo que permite su recolección anticipada. Algunas características del fruto se asocian a la maduración y se utilizan para establecer los índices de cosecha. Así, el estado de madurez en el momento de la cosecha, representa uno de los factores decisivos en la calidad de los mismos y para su período de conservación (Delwiche, 1987).

### **3.5 Índices de madurez**

Los índices de madurez son importantes para decidir cuándo un producto dado puede ser cosechado para proveer cierta calidad en la comercialización y para asegurar la aceptabilidad por parte de los consumidores. La decisión sobre el momento óptimo de cosecha para un fruto dado debe ser tomada para proveer un margen de seguridad para la comercialización y para suplirle al consumidor un fruto de buena aceptabilidad. Las personas encargadas de la cosecha pueden cosechar los frutos en un estado de madurez inadecuado, lo cual puede generar desordenes fisiológicos en la poscosecha que indican mala calidad. El tamaño del fruto también puede ser sacrificado por realizar la cosecha muy temprano (Verma y Joschi, 2000).

Existen diferentes índices que pueden contribuir a establecer un criterio objetivo para realizar la cosecha, estos son: tiempo cronológico, tiempo fisiológico, tamaño, morfología del fruto, contenido de sólidos solubles, acidez, firmeza, relación azúcar/ácidos, contenido de almidón, astringencia, respiración y etileno, entre otros (Kader, 2002; Kays, 2004). El color de la epidermis es uno de los más adecuados (Kader, 2002), ya que es fácil de utilizar, no es destructivo, y es de bajo costo.

### **3.6 Color**

El color es considerado una propiedad física fundamental de los productos agrícolas, pues ha sido ampliamente demostrado que se correlaciona bien con otros indicadores físicos, químicos y sensoriales de la calidad de los productos (Mendoza et al., 2006).

Además, el color tiene una función muy importante en la evaluación de la calidad externa en alimentos para la industria y para la investigación en ingeniería de alimentos (Abdullah et al., 2001).

Los cambios en el color que acompañan la maduración en muchos frutos son ampliamente utilizados como índice de madurez. La determinación objetiva del color requiere de equipos especializados, el ojo humano es incapaz de dar una evaluación precisa de los colores y no puede dar diferencias sensibles entre distintos colores. Muestras de color pueden ser usadas para determinar el color interno o externo de los frutos (Kader, 2002).

Al respecto, Casierra-Posada et al. (2004) determinaron el punto óptimo de cosecha de dos variedades de lulo con base en el color del fruto fue en los grados de maduración tres (50% verde y 50% amarillo) y cuatro (25% verde y 75% amarillo). En arazá, el momento recomendado para la recolección es cuando se inicia el cambio de coloración de verde a amarillo (Hernández et al., 2007). También se han realizado estudios de poscosecha teniendo en cuenta el grado de madurez con base en el color en frutos de mora (Sora et al., 2006), uchuva (Novoa et al., 2006), pitahaya (Rodríguez et al., 2005), guayaba (Azzolini et al., 2004) y tomate (Casierra-Posada y Aguilar-Avendaño, 2008).

## **3.7 Materiales y métodos**

### **3.7.1 Ubicación**

Los frutos para esta fase de la investigación fueron recolectados en la finca “El Mango” de la vereda Ayatá en el municipio de Miraflores Boyacá. La fase de laboratorio se realizó en los laboratorios de Fisiología Vegetal y Poscosecha de la Facultad de Agronomía sede Bogotá y en los laboratorios del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA).

### **3.7.2 Diseño experimental**

Se utilizó un diseño completamente al azar con seis tratamientos, que correspondieron a diferentes estados de madurez con base en el color de la corteza (Tabla 3-1), cada tratamiento tuvo tres repeticiones, para un total de 15 unidades experimentales (UE). Cada UE estuvo compuesta por 1300 g aproximadamente.

**Tabla 3-1:** Descripción de los tratamientos para determinar el punto óptimo de cosecha.

Tratamiento	Color amarillo (%)	Color verde (%)
T1	0	100
T2	25	75
T3	50	50
T4	75	25
T5	100	0
T6	Testigo: frutos maduros recolectados del suelo	

### 3.7.3 Procedimiento

Los frutos fueron recolectados directamente del árbol de acuerdo con los tratamientos planteados, utilizando unidades completamente sanas y con tamaño homogéneo. Las características de los frutos de cada uno de los tratamientos se muestran en la tabla 3-2.

Los frutos fueron llevados al laboratorio y se almacenaron en cámaras de almacenamiento que permitieron simular las condiciones ambientales aproximadas del municipio de Miraflores de la siguiente manera: temperatura promedio de 22°C, humedad relativa del 80% y fotoperiodo de 12h luz.

### 3.7.4 Sistema de variables

#### Variable Independiente

Tiempo (días después de la cosecha)







#### Variables Dependientes

Cada tercer día se midieron las siguientes variables:

- **Evaluación sensorial:** se adaptó la metodología utilizada por Sora *et al.* (2006). Se hizo un análisis cuantitativo descriptivo, teniendo en cuenta aspectos como la apariencia, el color, aroma, sabor y textura de los frutos, en el que el valor de: 1 a 2 equivale a muy malo; 3 a 4, malo; 5 a 6, regular; 7 a 8, bueno y 9 a 10 excelente, de acuerdo con el formato presentado en el anexo F. Para la sesión de análisis sensorial se tomaron de cada unidad experimental 3 frutos representativos de una muestra de 200 g de fruta. después, a las muestras se le asignaron tres dígitos compuestos de letras y números aleatorios y se colocaron en platos de plástico desechable para ser

entregados a 3 panelistas entrenados, junto con el formato de evaluación del anexo F.

**Tabla 3-2:** Descripción de los frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis

Tratamientos	Color epidermis			$\Delta^*$ color	Color pulpa			$\Delta$ color	MF	DE	DP	V
	L	a	b		L	a	b					
T1 	66,9	-17,6	39,8		66,9	1,1	23,6		20,7	35,7	27,5	24,5
T2 	76,9	-12,0	48,8	12,1	76,9	5,6	25,2	11,0	23,2	37,3	29,1	27,3
T3 	72,6	-8,6	44,9	5,8	72,6	4,3	29,8	6,4	24,3	39,3	28,9	28,0
T4 	70,3	-7,9	50,4	9,1	70,3	5,4	34,8	5,5	24,2	38,3	29,0	28,5
T5 	76,2	-3,4	51,3	4,8	76,2	4,8	33,8	5,9	23,4	36,3	28,7	27,7
T6 	64,1	-4,6	46,8	5,3	64,1	3,6	23,1	16,2	23,3	37,1	29,2	27,9

\*Corresponde a la diferencia de color con el tratamiento anterior, si la diferencia  $>4$ , el color se percibe como diferente; MF, masa fresca; DE: diámetro ecuatorial; DP: diámetro polar; V: volumen.

- **Duración de poscosecha (días):** se tomaron diez frutos por unidad experimental, a estos frutos se les determinó el número de días que permanecieron aptos para el consumo mediante el análisis sensorial enunciado anteriormente.

- **Pérdida de peso (%):** a una muestra de aproximadamente 100g de frutos se le realizó medición de la masa fresca en una balanza de precisión con aproximación de 0,001 g.
- **Color de la epidermis:** mediante colorímetro digital marca Minolta CR 300 se determinaron los parámetros del sistema CIELab “L”, “a” y “b”, cada repetición estuvo compuesta por un fruto y a cada fruto se le hicieron tres lecturas en la zona ecuatorial. “L” indica la luminosidad, donde 0 es negro y 100 blanco; “a” comprende desde -90 a 90, valores <0 indican tendencia hacia el verde y >0 hacia el rojo; “b” tiene el mismo rango pero valores <0 indican tendencia hacia el azul y >0 hacia el amarillo. Adicionalmente, se calculó la diferencia de color entre estados de madurez consecutivos, siguiendo la metodología utilizada por Mendoza et al. (2006).
- **Firmeza del fruto (N):** a dos frutos se les midió la firmeza en la parte ecuatorial del fruto con un penetrómetro digital PCE-PTR200 con aproximación 0,05 N.
- **Cambios bioquímicos:** para la medición del pH, sólidos solubles totales, acidez total titulable, relación de madurez, se utilizó una muestra de aproximadamente 1 kg de frutos, los procedimientos empleados fueron los mismos que se describieron en el capítulo 1.

### 3.7.5 Sistema de variables

Con los datos obtenidos se realizó una prueba de normalidad con el test de Shapiro-Wilk y la prueba de homogeneidad de varianzas mediante el test de Levene, los datos que cumplieron con los supuestos anteriores fueron sometidos a un análisis de varianza (Anova), las demás variables fueron previamente transformadas mediante  $\sqrt{x}$ , estas fueron, pH en los días 1 y 3 ddc y firmeza a los días 2 y 3 ddc. También se llevó a cabo la prueba de comparación múltiple de Tukey (5%) para determinar el punto óptimo de cosecha, utilizando el software SAS v. 8.1e (Cary, N.C).

## 3.8 Resultados y discusión

### 3.8.1 Duración poscosecha

De acuerdo con la tabla 3-3, se observa que el estado de madurez tiene un efecto diferencial ( $p \leq 0,01$ ) sobre la duración del fruto en poscosecha. Se encontró que a mayor madurez, la vida útil del fruto es menor. Los frutos recolectados directamente del suelo



(forma tradicional de cosecha) tienen muy poca duración con cerca de dos días, tiempo que es estadísticamente igual con el presentado en los frutos 100% amarillos pero recolectados del árbol, poniendo en evidencia que la corta vida poscosecha de los frutos es más un problema que tendría un mayor componente genético que de manejo. No obstante, los frutos pueden ser recolectados 100% verdes pero con madurez fisiológica y esto les permite prolongar significativamente la vida útil hasta por casi ocho días, tiempo que da una mayor oportunidad de mercadeo o de industrialización y en consecuencia se podría dar un uso más eficiente a este fruto y posiblemente se podrán disminuir las pérdidas poscosecha que según López y Rodríguez, (1995), ascienden hasta el 97% en la región de Lengupá Boyacá.

**Tabla 3-3:** Duración poscosecha de los frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis.

Tratamiento		Duración
Color amarillo (%)	Color verde (%)	poscosecha (días)
0	100	7,6 a
25	75	5,1 b
50	50	3,7 c
75	25	3,3 c
100	0	2,5 d
Testigo		1,9 d

Promedios seguidos de letras distintas presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).

La champa es un fruto climatérico, tal como se determinó en el capítulo anterior, esto debido a que presenta un aumento en la tasa respiratoria y en la producción de etileno (Kader, 2002), lo cual le permite ser cosechado a partir de la madurez fisiológica y continuar con el proceso de maduración y adquirir la madurez de consumo, tal como ocurrió con los frutos cosechados 100% verdes y como se ha reportado para guayaba (Azzolini et al., 2004). Sin embargo, cosechar los frutos con la madurez mencionada trae ciertos inconvenientes, pero tal vez el más importante es la disminución de la productividad, esto debido a que en el momento de la cosecha aún no han ganado la totalidad de agua y fotoasimilados que si poseen los frutos que son cosechados en estados más avanzados de maduración, la decisión en este caso dependería de la relación beneficio/costo, dependiendo del destino del producto. De esta manera, se recomienda tener en cuenta factores como la relación oferta demanda, disponibilidad de

mano de obra y cuartos de almacenamiento, entre otros, para determinar en qué estado de madurez es más aconsejable realizar la cosecha de los frutos de champa.

Casierra-Posada y Aguilar-Avenidaño (2008) en tomate y Casierra-Posada et al. (2004) en lulo reportan resultados muy similares a los encontrados en champa y mencionan que esto es lógico, dado que los frutos cosechados en estados más inmaduros demoran más tiempo en alcanzar la madurez de consumo que aquellos que se habían cosechado en estados más cercanos a la madurez de consumo. Pero aunque parezca lógico, los frutos de champa solo se cosechan en madurez de consumo por desconocimiento de la fisiología del fruto, más exactamente de la condición climática. Otra ventaja que pueden presentar los frutos de champa por ser frutos climatéricos, es que al ser recolectados 100% verdes se les puede acelerar su madurez mediante tratamientos con etileno exógeno (Kader, 2002). En guayaba, también se encontró que los frutos cosechados verdes tuvieron mayor duración que aquellos cosechados maduros (Azzolini et al., 2004).

### **3.8.2 Evaluación sensorial**

Al primer día después de la cosecha la apariencia y el color de los frutos de champa fueron estadísticamente igual, los valores obtenidos indican que estas características son excelentes. El olor, la textura y el sabor presentaron diferencias estadísticas significativas, la tendencia observada indicó que entre más maduros los frutos las características mencionadas tuvieron un puntaje más alto, con excepción del testigo que presentó valores intermedios (Tabla 3-4).

En el día 3 después de cosecha todas las características evaluadas fueron estadísticamente significativas. Los frutos del testigo y de 100% amarillo dejaron de ser aptos para el consumo o procesamiento, con puntajes inferiores a 5, como se muestra en la tabla 4.4, la epidermis se cubrió de estructuras fungosas, el olor y el sabor indicaron que la pulpa estaba totalmente fermentada y la textura se había perdido. Los frutos con color 25%amarillo-75%verde y color 50%amarillo-50%verde alcanzaron la madurez organoléptica deseada por el consumidor y presentaron los valores más altos en la evaluación sensorial.

**Tabla 3-4:** Evaluación sensorial de frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis para determinar el punto óptimo de cosecha.

Tiempo (ddc)	Tratamientos		Apariencia	Color	Olor	Textura	Sabor
	Amarillo (%)	Verde (%)					
1	0	100	8,3a	8,7a	6,0b	6,3b	4,3c
	25	75	8,7a	8,7a	7,3ab	7,3ab	6,7b
	50	50	8,3a	8,7a	8,7a	8,3a	7,7ab
	75	25	8,7a	8,7a	8,7a	8,7a	8,7a
	100	0	8,7a	8,7a	8,7a	8,7a	8,7a
	Testigo		8,3a	8,7a	7,7ab	7,7ab	8,3a
3	0	100	8,3a	8,7a	8,7a	7,3ab	7,3ab
	25	75	8,3a	8,7a	8,7a	8,3a	8,0a
	50	50	8,7a	8,7a	8,7a	8,3a	8,7a
	75	25	8,0a	8,0a	5,0b	6,0bc	5,7b
	100	0	4,3b	4,7b	4,0bc	4,3c	3,3c
	Testigo		3,0b	2,7b	3,0c	1,7d	1,3c
5	0	100	7,7a	8,3a	8,3a	8,0a	7,7a
	25	75	4,3b	4,3b	4,0b	4,7b	4,7b
	50	50	1,3b	1,3b	1,3b	1,3b	1,3b
	75	25	1,3b	1,3b	1,3b	1,3b	1,3b
	100	0	-	-	-	-	-
	Testigo		-	-	-	-	-
7	0	100	7,3a	7,0a	8,0a	7,7a	7,3a
	25	75	1,3b	1,3b	1,3b	1,7b	1,3b
	50	50	-	-	-	-	-
	75	25	-	-	-	-	-
	100	0	-	-	-	-	-
	Testigo		-	-	-	-	-
9	0	100	1,7	2,3	2,0	2,7	2,7
	25	75	-	-	-	-	-
	50	50	-	-	-	-	-
	75	25	-	-	-	-	-
	100	0	-	-	-	-	-
	Testigo		-	-	-	-	-

Promedios seguidos de letras diferentes en la misma columna presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Los frutos 100% verdes aumentaron los puntajes de las características sensoriales pero algunos todavía fueron bajos (textura y sabor), por su parte, los frutos 75% amarillos-25%verdes presentaron buena apariencia y color, pero el olor, la textura y el sabor, indicaron el inicio de la senescencia con presencia de fermentación (Tabla 3-4; anexo E).

Para el día 5 ddc se presentaron diferencias estadísticas en todas las características sensoriales. Los frutos del testigo y 100% amarillos fueron evaluados hasta el 3 ddc debido a su alto grado de descomposición (anexo G). De los frutos restantes, los correspondientes a 50% amarillo-50%verdes y 75% amarillo-25%verde mostraron valores de 1,3 en todas las características, es decir, que ya se encontraban en estado de descomposición, los frutos 25% amarillo-75%verde obtuvieron puntajes entre 4 y 5, esto indica que posiblemente su consumo en fresco sería bastante limitado, debido a que se inició la colonización de hongos patógenos y de procesos de fermentación. Los frutos 100% verdes alcanzaron la madurez organoléptica, pues presentaron los valores más altos de textura y sabor durante todo la poscosecha de este tratamiento, sin embargo, los valores de estas características fueron menores a los obtenidos en los demás tratamientos en plena maduración y los puntajes de apariencia, color y olor empezaron a disminuir, lo cual evidencia, que los frutos cosechados 100% verdes no alcanzan la misma madurez que los frutos cosechados en estados más avanzados de maduración, pero presentan características organolépticas adecuadas para el consumo (Tabla 3-4). Al respecto, Casierra-Posada y Aguilar-Avenidaño (2008) y Caliman et al. (2003) mencionan que frutos de tomate cosechados en estado verde pueden comprometer la calidad final del producto. Por tanto, los frutos de champa al igual que se reporta para tomate, deben cosecharse con un grado de madurez que permita un almacenamiento prolongado sin que se vean alteradas las características fisicoquímicas de los frutos (González, 2001).

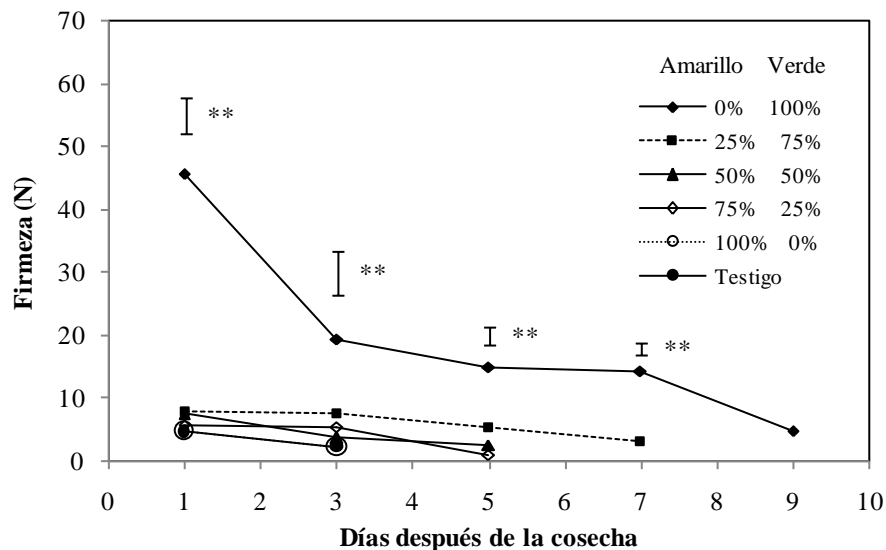
A los 7 ddc se presentaron diferencias estadísticas significativas en todos los parámetros sensoriales, solo permanecieron los frutos 100%verdes y 25% amarillos-75%verdes; los frutos de este último tratamiento presentaron puntajes inferiores a 2, que indican el alto grado de descomposición e inaceptabilidad para el consumo, los frutos 100%verdes disminuyeron levemente la calidad sensorial con puntajes entre 7 y 8 pero se destaca la pérdida del color y del sabor. Para el 9 ddc, los frutos 100%verdes presentaron puntajes

muy bajos que muestran el alto grado de deterioro de dichos frutos y la pérdida total de la calidad para ser consumidos (Tabla 3-4).

### 3.8.3 Firmeza

Durante la pérdida de firmeza en la poscosecha de los frutos de champa se presentaron diferencias estadísticas en todos los puntos de muestreo ( $p \leq 0,01$ ). Los frutos cosechados 100 % verdes mantuvieron la firmeza por más tiempo, seguidos por los frutos 75% verdes, mientras que los frutos cosechados 100% y el testigo presentaron los resultados menos favorables (Figura 3-1). Al final de la maduración, en cualquiera de los tratamientos se observa la baja firmeza que caracteriza a los frutos de champa y que genera dificultad en la manipulación poscosecha.

**Figura 3-1:** Comportamiento de la firmeza de frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis para determinar el punto óptimo de cosecha.



La barra representa el valor estadístico de diferencia mínima significativa (LSD) para comparar los promedios, de acuerdo con la prueba de Tukey. Si las diferencias entre dos promedios en cada punto de muestreo son mayores al LSD, entonces habrá diferencia a un  $\alpha$  de 0,05. \* diferencias estadísticas al 5%, \*\* diferencias estadísticas al 5%, ns no hay diferencias.

Lima et al. (2009) plantean que la principal implicación práctica de la pérdida de firmeza es que dificultan las operaciones de manipulación, distribución y comercialización de los

frutos. En mango, algunos estudios están siendo encaminados a la proposición de modelos matemáticos de predicción de la firmeza durante el desarrollo del fruto, con el fin de utilizar procedimientos seguros para la determinación del punto óptimo de cosecha, que no impliquen la destrucción de los frutos (Jha et al., 2006). Este sería un tema de investigación que podría ser llevado a cabo en frutos de champa debido a la alta pérdida de firmeza durante la maduración. Por el momento, recolectar los frutos 100% verdes pero con madurez fisiológica garantiza que el ablandamiento de los frutos sea mucho menor que en los frutos más maduros, esto permite una mayor resistencia de los frutos durante las diferentes operaciones de poscosecha, por ejemplo, en el empaque se podrían colocar mayor cantidad de capas de frutos, siendo los daños menos severos que en frutos cosechados en estados de madurez más avanzados. Los frutos 75%verdes-25%amarillos también presentan un comportamiento favorable respecto a la firmeza con algunas ventajas sobre los frutos maduros, sin embargo, la firmeza que presentan es significativamente menor que en los frutos 100% verdes.

En frutos de lulo variedad Quitoense, Casierra-Posada et al. (2004) encontraron efecto diferencial del estado de madurez sobre la firmeza de los frutos en la poscosecha, se hizo evidente que frutos 100% verdes y 75%verdes-25%amarillos almacenados a temperatura ambiente, presentaron mayor consistencia que frutos cosechados con maduración más avanzada, resultado que coincide con lo observado en los frutos de champa. En frutos de guayaba, Azzolini et al. (2004) encontraron que la firmeza es más alta en los frutos cosechados en estados menos avanzados de maduración, pero difiere de lo encontrado en champa en que al final del almacenamiento la firmeza fue similar en todos los estados de maduración.

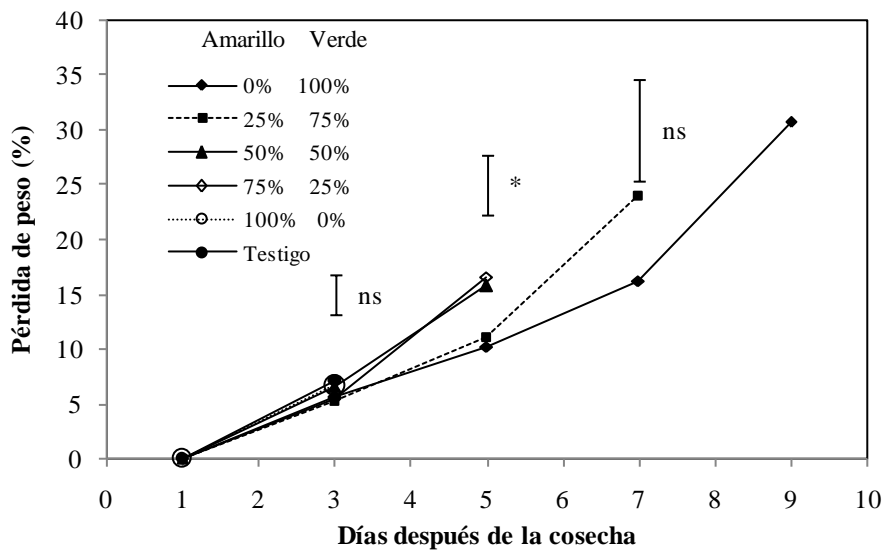
Al parecer, las enzimas hidrolasas encargadas del ablandamiento de los frutos por degradación de paredes celulares y de las reservas de almidón (Kays, 2004) actúan de forma más lenta durante la maduración de los frutos de champa cosechados en estados tempranos de maduración, esta sería la posible explicación de la menor pérdida de firmeza en los frutos cosechados 100% verdes y 75%verdes-25%amarillos. Además, es probable que la presión de turgencia también haya tenido efecto representativo, pues hasta el día 5 ddc, los frutos con mayor madurez también presentaron los porcentajes más altos de pérdida de peso (Figura 3-2), resultado que concuerda con lo reportado en

estudios anteriores (Shackel et al., 1991; Vicente et al., 2007). Casierra-Posada y Aguilar-Avedaño (2008) en frutos de tomate cosechado 100% verdes esperaban que se presentara menor firmeza que en frutos cosechados más maduros, debido a que los frutos verdes presentaron mayor pérdida de peso, tal como se encontró en los frutos de champa.

### 3.8.4 Pérdida de peso

Se presentaron diferencias estadísticas ( $p \leq 0,05$ ) únicamente a los 5 ddc, no obstante, los frutos verdes perdieron menos peso hasta el día 7 ddc, en el día 9 mostraron una pérdida de peso del 30,82% (Figura 3-2). Un comportamiento similar fue encontrado en frutos de guayaba, pero con la diferencia de que la pérdida de masa fue menor del 3,5% en los frutos que tuvieron mayor duración en el almacenamiento (Azzolini et al., 2004).

**Figura 3-2:** Comportamiento de la pérdida de peso de frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis para determinar el punto óptimo de cosecha.



La barra representa el valor estadístico de diferencia mínima significativa (LSD) para comparar los promedios, de acuerdo con la prueba de Tukey. Si las diferencias entre dos promedios en cada punto de muestreo son mayores al LSD, entonces habrá diferencia a un  $\alpha$  de 0,05. \* diferencias estadísticas al 5%, \*\* diferencias estadísticas al 5%, ns no hay diferencias.

De acuerdo con Muy-Rangel et al. (2003) el estado hídrico presente en las células vegetales es uno de los factores principales que determinan la calidad y la vida de anaquel de los productos perecederos. Del mismo modo, Kader (2002), comenta que la pérdida de agua es la causa principal del deterioro del fruto porque resulta en pérdida directa del peso fresco, de la apariencia y frescura (marchitamiento y arrugamiento), calidad de textura (ablandamiento, flacidez, pérdida de lo crujido y jugosidad) y calidad nutritiva, además, se acorta la vida de anaquel porque se aceleran los procesos de maduración y senescencia debido a una mayor producción de etileno y ácido abscísico (Burg, 2004). Posiblemente esto fue lo que se observó en los frutos cosechados en estados avanzados de maduración, ya que presentaron alta pérdida de peso en un corto tiempo. Pero aunque los frutos cosechados 100%verdes y 75%verdes-25%amarillos presentaron mayor vida poscosecha, también generaron mayor pérdida de peso, lo cual se debe a que estuvieron expuestos al ambiente por más tiempo, aunque se debe tener en cuenta, la pérdida de peso fue menor en estos frutos hasta cuando aún estaban presentes las muestras de los tratamientos (5ddc).

La mayor pérdida de peso en los frutos más maduros hasta el día 5 ddc se debe probablemente a que presentan una mayor desintegración celular, con paredes y membranas celulares débiles que permiten la salida de agua por transpiración a mayor velocidad, a esto se le suma, que ya han alcanzado el climaterio, y por ende, las tasas respiratorias presentadas se han encargado de utilizar en mayor grado las reservas presentes en el fruto, como ácidos y azúcares principalmente (Kays, 1997). Sin embargo, se piensa que la principal causa de pérdida de peso en los frutos de champa es la transpiración, esto debido a que según Winter et al. (1992) menciona que los frutos, en general, pierden tres a cinco veces más por transpiración que por respiración. Los frutos verdes por su parte, perdieron menor peso en los primeros días, debido muy posiblemente a que presentaron menor deterioro en sus tejidos por encontrarse en estados menos avanzado de maduración, además, el sistema dermal compuesto por coberturas externas protectoras como la cutícula, células epidermales, estomas, lenticelas y tricomas, que regulan la pérdida de agua en los frutos (Kader, 2002) parece ser más eficiente en los frutos verdes. En concordancia, Sora et al. (2006) reportan mayores pérdidas de peso en frutos de mora cosechados en estados más avanzados de maduración.



Casierra-Posada et al. (2004) en lulo y Casierra-Posada y Aguilar-Avenidaño (2008) en tomate, evaluaron el efecto del grado de maduración en la cosecha sobre el comportamiento poscosecha de estas especies utilizando tratamientos similares a los evaluados en champa. Estos autores encontraron que los frutos que se habían cosechado en estados de maduración más tempranos perdieron más peso que los frutos cosechados en estados más cercanos a la madurez de consumo, dado que aquellos frutos estuvieron expuestos por un tiempo más prolongado a las condiciones de almacenamientos que los frutos últimamente mencionados, resultado que concuerda con lo encontrado en los frutos de champa. Estos resultados se deben a que los frutos que fueron cosechados en estados menos avanzados de maduración alcanzaron su madurez en un mayor número de días, por tanto, el mayor periodo de exposición a la oferta ambiental sufrida por los frutos cosechados 100% verdes les causó una mayor pérdida de humedad y, consecuentemente de peso (Casierra-Posada y Aguilar-Avenidaño, 2008; Casierra-Posada et al., 2004).

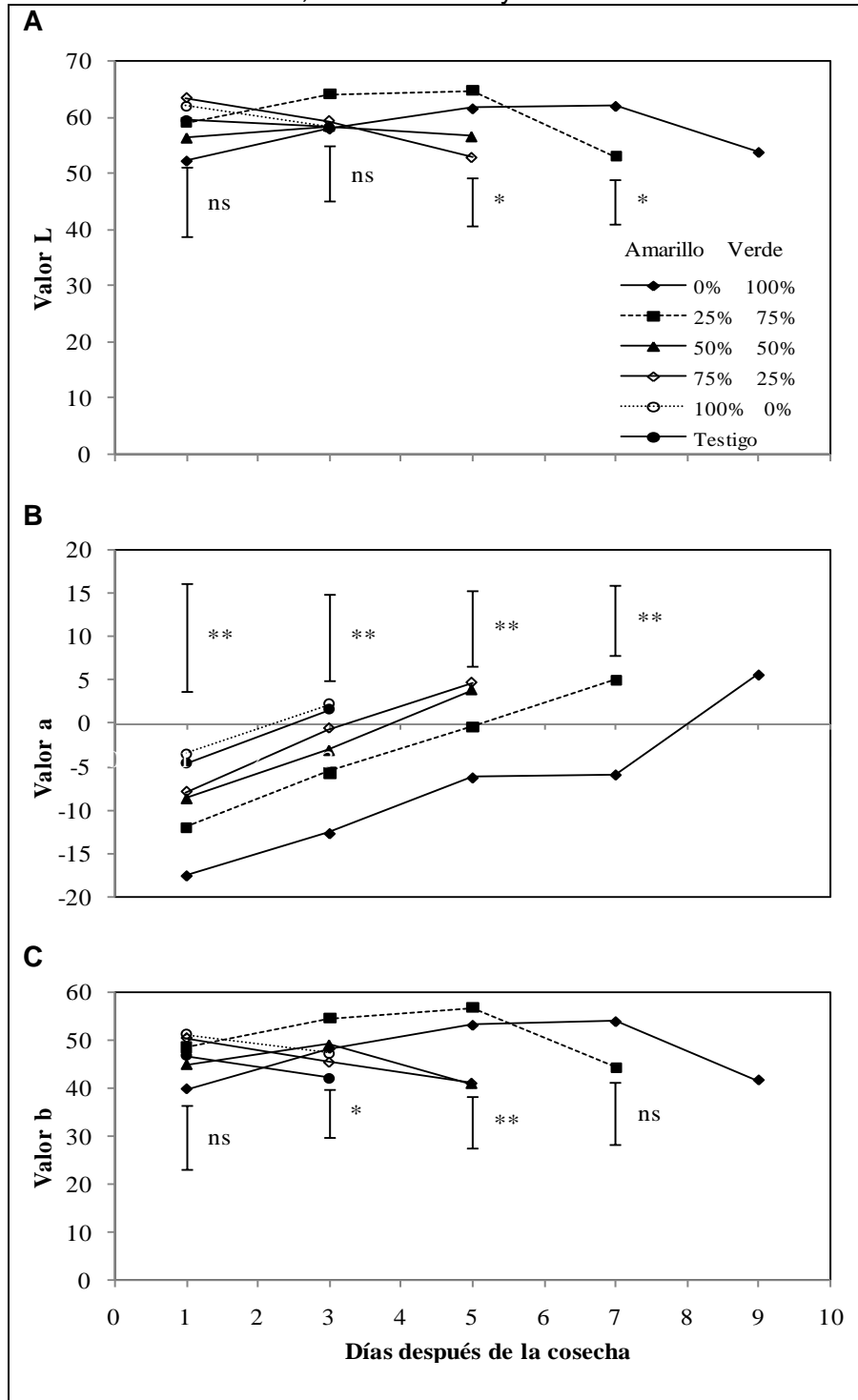
### **3.8.5 Color de la epidermis**

En la luminosidad se presentaron diferencias estadísticas en el día 5 y 7 ( $p \leq 0,05$ ), se observó que la luminosidad aumentó en los frutos que fueron cambiando de color verde a amarillo, ya obtenido este último color, la luminosidad disminuyó, por tanto, en los frutos 100% verdes y 75% verde 25% amarillo la disminución en la luminosidad fue más tardía (Figura 3-3A). En el valor de "a" se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0,01$ ) en todos los muestreos. A medida que el valor de "a" se hace menos negativo y aumenta por encima de cero indica que los frutos están perdiendo el color verde, se observa claramente que los frutos con mayor porcentaje de verde en la epidermis presentan valores más bajos de "a" y tardan más tiempo en aumentar este valor (Figura 3-3B). Respecto al valor de "b" se evidenciaron diferencias estadísticas a los 5 y 7 ddc ( $p \leq 0,05$ ), valores positivos indican presencia de color amarillo y negativos color azul, razón por la cual, todos los valores fueron positivos, sin embargo, se encontró que en los frutos más maduros disminuyó el valor de "b", en los frutos 75% verde 25% amarillo y 100% verdes aumentó dicho valor hasta el día 5 y 7 respectivamente, momento en el que alcanzaron totalmente el color amarillo, y posteriormente, el valor de "b" decreció (Figura 3-3C).

En forma análoga con los resultados encontrados en los frutos de champa, Santamaría et al. (2009) también encontraron que frutos de papaya cosechados en un estado de madurez más avanzado presentan un mayor y más rápido aumento en el valor de "a", pero con la diferencia de que muestran aumento en los valores de "b" en todos los estados, siendo menor el aumento en los frutos más inmaduros. El cambio en el color es un índice de madurez ampliamente utilizado en frutos (Kader, 2002). La intensidad y la uniformidad del color afectan la calidad del fruto, pues en muchos frutos se observa pérdida de clorofila, síntesis de nuevos pigmentos tales como carotenoides y el desenmascaramiento de otros pigmentos previamente formados durante el desarrollo del fruto (Aked, 2000; Ferrer et al., 2005). En este sentido, en este trabajo se observó que los frutos 100% verdes necesitaron un mayor tiempo en la poscosecha para generar la degradación de la clorofila y sintetizar o mostrar los pigmentos que generan el color amarillo, además, se observó que la coloración obtenida en el almacenamiento no es igual que la que pueden adquirir los frutos directamente en el árbol, pues en la madurez de consumo (7 ddc para este tratamiento) la luminosidad fue menor y se presentó una mayor coloración verde aunque la tonalidad del amarillo fue alta.

Silva et al. (2009) mencionan que la disminución del color verde de los vegetales está asociada con la degradación de la clorofila. Durante la maduración de los frutos, los cloroplastos y sus membranas tilacoidales se desintegran, proceso que genera rápida pérdida de clorofila y del color verde de los tejidos. Además, varios factores pueden actuar aisladamente o en conjunto, como por ejemplo el pH, influenciado por la acumulación de ácidos orgánicos en la vacuola, sistemas oxidativos y clorofilas (Chitarra y Chitarra, 2006). Por lo anterior, se podría pensar que en los frutos 100% verdes, la acción de las clorofilasas es menor durante la maduración, y por tanto, la pérdida de color verde no es tan notoria como en aquellos frutos cosechados en estados más avanzados de madurez, tal vez porque la síntesis y acción de etileno es más baja en frutos cosechados en estados de madurez tempranos. En los demás tratamientos, el cambio en el color aparentemente fue normal.

**Figura 3-3:** Comportamiento del color de frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis para determinar el punto óptimo de cosecha. A. Valor de “L”; B. valor de “a” y C. Valor de “b”.



La barra representa el valor estadístico de diferencia mínima significativa (LSD) para comparar los promedios, de acuerdo con la prueba de Tukey. Si las diferencias entre dos promedios en cada punto de muestreo son mayores al LSD, entonces habrá diferencia a un  $\alpha$  de 0,05. \* diferencias estadísticas al 5%, \*\* diferencias estadísticas al 5%, ns no hay diferencias.

La disminución del valor “b”, como se mencionó en el capítulo anterior, indica el inicio de la pérdida de color amarillo para dar lugar a tonalidades café amarillentas propias de la senescencia, lo que se reflejó en que los frutos con mayor avance en el proceso de maduración, presentaron esta disminución mucho más rápido, se observó además, que este proceso también va acompañado de pérdida de luminosidad.

Un incremento en el valor de “L” también fue observado al inicio de la maduración de frutos de papaya, acompañado de un aumento en los valores de “b” (color amarillo) pero sin cambiar los valores de “a” que aun indicaban presencia de color verde (Santamaría et al., 2009).

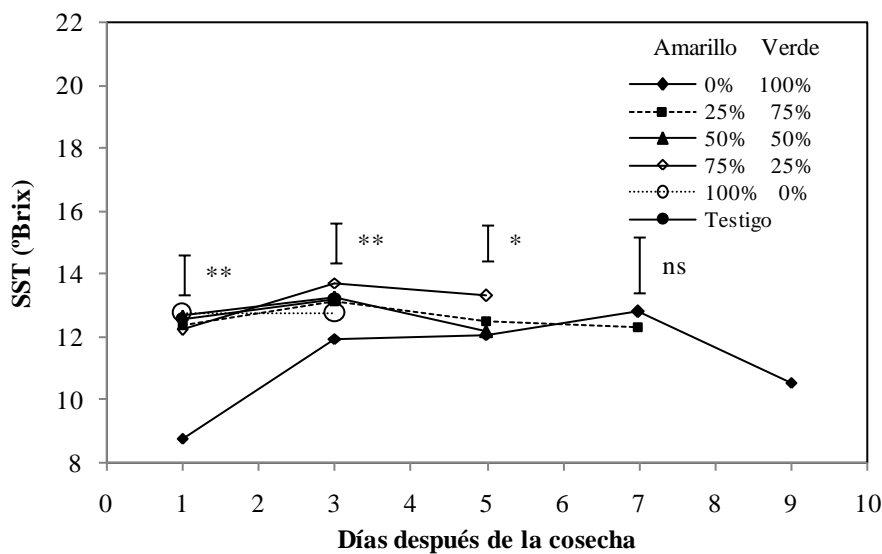
### **3.8.6 Sólidos solubles totales**

Se presentaron diferencias estadísticas a los 1, 3 ( $p \leq 0,01$ ) y 5 ddc ( $p \leq 0,05$ ), los frutos con una madurez más avanzada en el momento de iniciar el experimento presentaron mayor cantidad de SST, los frutos 100% verdes presentaron los menores valores de SST durante casi todo el almacenamiento, también se observó que hubo aumento de los SST en los primeros días y luego se presentó disminución (Figura 3-4), el contenido máximo de SST se obtuvo en el climaterio, tal como se evidenció en el capítulo 3. Los azúcares son compuestos importantes utilizados como sustrato en el proceso de la respiración y como esqueletos de carbono para síntesis de nuevos metabolitos y otros procesos en la maduración (Kays 2004).

El aumento de los SST en el preclimaterio se debe posiblemente a la hidrólisis del almidón y de los polisacáridos de la pared celular que dan origen a azúcares solubles (Chitarra y Chitarra, 2005; Menéndez et al., 200a). Mientras que la disminución de los SST se podría atribuir al proceso de respiración (Rodríguez et al., 2006b). Esta situación se observó claramente en los frutos 100% verdes aunque en un mayor tiempo, los frutos continuaron su proceso de maduración en la poscosecha y alcanzaron valores de SST similares a los de frutos cosechados en madurez organoléptica, lo cual confirma lo encontrado en el capítulo 2, donde se encontró que los frutos de champa tienen un comportamiento climatérico. Lo anterior implica que los frutos pueden ser cosechados 100% verdes, siempre y cuando hayan alcanzado la madurez fisiológica, esto les permite tener una mayor duración en poscosecha y una mayor probabilidad de ser consumidos o

procesados, disminuyendo las pérdidas durante la poscosecha. Los demás tratamientos permiten una óptima acumulación de los SST pero su duración es inversamente proporcional a su madurez. Anzzolini et al. (2004) reportan resultados similares en guayaba, donde frutos maduros presentaron mayor aumento de los SST que frutos con menor grado de madurez.

**Figura 3-4:** Comportamiento de los sólidos solubles totales (SST) de frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis para determinar el punto óptimo de cosecha.



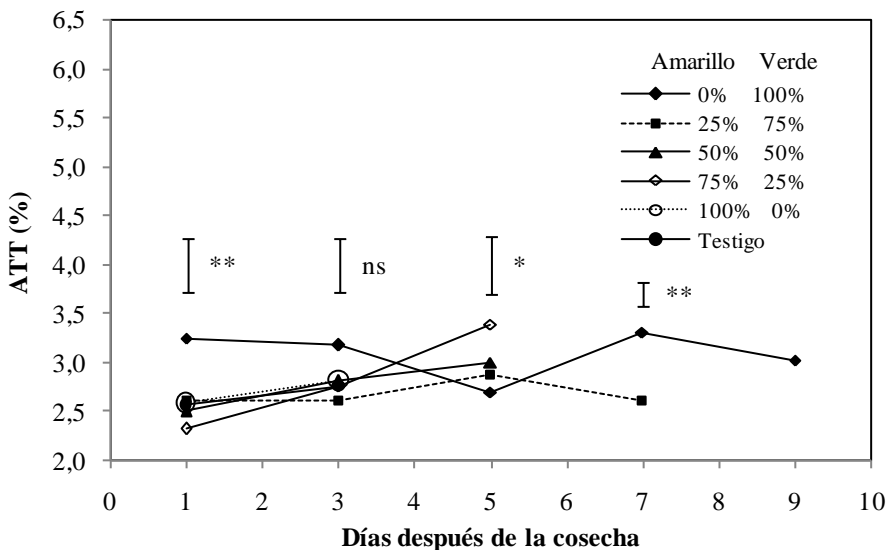
La barra representa el valor estadístico de diferencia mínima significativa (LSD) para comparar los promedios, de acuerdo con la prueba de Tukey. Si las diferencias entre dos promedios en cada punto de muestreo son mayores al LSD, entonces habrá diferencia a un  $\alpha$  de 0,05. \* diferencias estadísticas al 5%, \*\* diferencias estadísticas al 5%, ns no hay diferencias.

Por el contrario, Novoa et al. (2006) encontraron que el grado de madurez en frutos de uchuva no afectó significativamente los SST. Mientras que en mora, frutos más maduros presentaron mayor contenido de SST que aquellos que se cosecharon con menor madurez (Sora et al., 2006), semejante con lo observado en los frutos de champa en el primer día después de la cosecha (Figura 3-4).

### 3.8.7 Acidez total titulable

Hubo diferencias estadísticas en todos los puntos de muestreo, excepto, en el 3 ddc, los frutos con mayor porcentaje de color amarillo aumentaron la ATT en el almacenamiento, pero, los frutos 100% verdes presentaron la menor ATT en el día 3, en los demás días obtuvieron la mayor ATT (Figura 3-5), en frutos de pitahaya también se determinó que los frutos verdes presentaron mayores valores de ATT que los frutos maduros durante el almacenamiento (Rodríguez et al., 2005). Lo anterior indica que frutos inmaduros tienen un mejor comportamiento en poscosecha, pues presentan mayor cantidad de ácidos orgánicos para ser utilizados como sustrato respiratorio, que coincide con una mayor expectativa de vida útil.

**Figura 3-5:** Comportamiento de la acidez total titulable (ATT) de frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis para determinar el punto óptimo de cosecha.



La barra representa el valor estadístico de diferencia mínima significativa (LSD) para comparar los promedios, de acuerdo con la prueba de Tukey. Si las diferencias entre dos promedios en cada punto de muestreo son mayores al LSD, entonces habrá diferencia a un  $\alpha$  de 0,05. \* diferencias estadísticas al 5%, \*\* diferencias estadísticas al 5%, ns no hay diferencias.

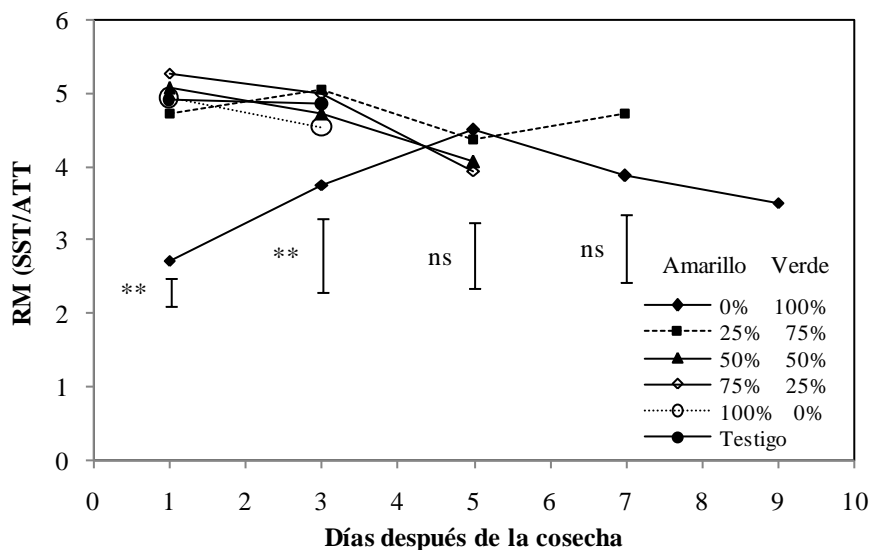
En concordancia con lo que se encontró para champa, en frutos de guayaba, el estado de madurez afectó diferencialmente la ATT, siendo mayor en los frutos que se cosecharon más inmaduros, adicionalmente, también se observó incremento en la ATT al

inicio de la poscosecha (Azzolini et al., 2004). En mora, los frutos que fueron cosechados en menor grado de madurez presentaron mayor ATT (Sora et al., 2006). Novoa et al. (2006) determinaron que frutos de uchuva cosechados en menor grado de madurez (verde amarillo) presentaron mayor ATT durante el almacenamiento, comparados con aquellos frutos que se cosecharon en estados más avanzados de maduración (amarillos), tal como se observó en los frutos de champa.

### 3.8.8 Relación de madurez

Se presentaron diferencias estadísticas en los días 1 y 3 ( $p \leq 0,01$ ), se observó que a mayor madurez la RM fue menor, sin embargo, en los frutos 100% verdes la RM aumentó hasta el 5 ddc y luego descendió (Figura 3-6).

**Figura 3-6:** Comportamiento de la relación de madurez (RM) de frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis para determinar el punto óptimo de cosecha.



La barra representa el valor estadístico de diferencia mínima significativa (LSD) para comparar los promedios, de acuerdo con la prueba de Tukey. Si las diferencias entre dos promedios en cada punto de muestreo son mayores al LSD, entonces habrá diferencia a un  $\alpha$  de 0,05. \* diferencias estadísticas al 5%, \*\* diferencias estadísticas al 5%, ns no hay diferencias.

Como se mencionó en el capítulo anterior, los frutos de champa presentan una mejor calidad organoléptica cuando presentan una mayor RM, por tanto, los frutos más maduros deben ser consumidos casi de inmediato, lo que implica que estos frutos tengan

menor oportunidad para ser comercializados o industrializados. Por su parte, los frutos 100% verdes y aquellos 75% verdes-25% amarillos permiten mayor tiempo en almacenamiento conservando aún la RM favorable para el consumidor con valores cercanos a cinco, sin embargo, desde los 7 ddc la RM encontrada en los frutos cosechados 100% verdes fue inferior a los demás tratamientos, incluso en los muestreos anteriores, esto de cierta manera indica pérdida de la calidad organoléptica, aunque los frutos presentaron una apariencia favorable, esto concuerda con los resultados encontrados en tomate cosechado en diferentes estados de madurez, donde los frutos en el estado 1 (100%verdes) presentaron la menor RM respecto a frutos cosechados en estados más avanzados de maduración (Casierra-Posada y Aguilar-Avenidaño, 2008). En frutos de uchuva, el grado de madurez también afectó de forma diferente la RM (Novoa *et al.*, 2006), siendo mayor en los frutos más maduros, tal como ocurrió en el presente estudio, con la diferencia de que en uchuva la RM aumentó durante la poscosecha, resultados similares fueron obtenidos en frutos de pitahaya cosechados en dos estados de madurez (Rodríguez *et al.*, 2005).

### 3.8.9 pH

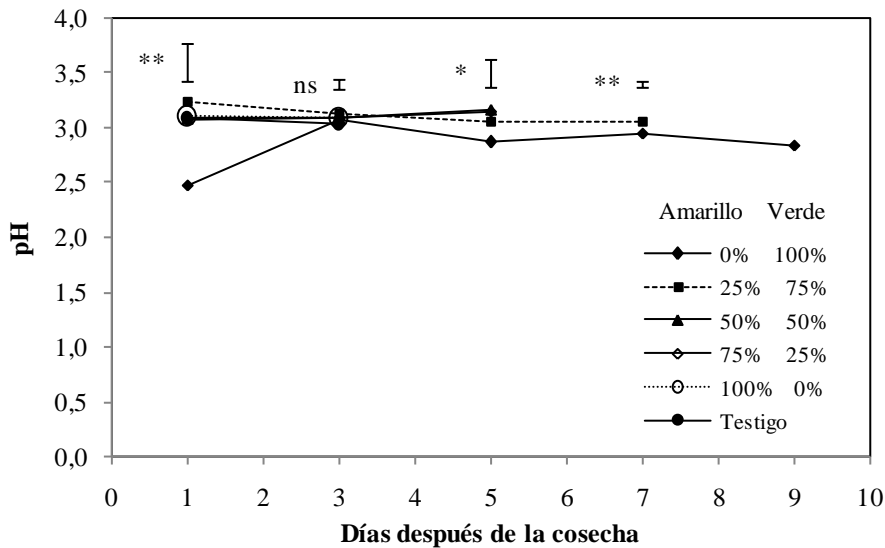
El pH disminuyó en la poscosecha, hubo diferencias estadísticas en el 1, 3 y 7 ddc, desde el 5 ddc los frutos 100% verdes presentaron menor valor de pH (Figura 3-7). Como era de esperarse, el pH tuvo un comportamiento inverso con la ATT, esto indica que los frutos que se cosecharon más inmaduros conservaron durante todo el almacenamiento una mayor acidez, que entre otras cosas, los hace más favorables a la hora de industrializarlos (Andrade *et al.* 1993).

En frutos de uchuva cosechados en dos grados de madurez también se encontró efecto diferencial en el pH, en este caso, hasta el día 28, los frutos más maduros presentaron un pH mayor, pero al final del almacenamiento, es decir, a los 30 días, este grado de madurez generó menor pH (Novoa *et al.*, 2006). En frutos de pitahaya amarilla, recolectados en los estados de madurez 3 y 5 según la norma ICONTEC, siendo este último el más maduro, se encontró que al momento de la cosecha el pH fue menor en frutos del estado 3, lo cual coincide con lo encontrado para los frutos de champa cosechados en estado verde.



Por el contrario, en lulo se reporta que el pH no debe ser tomado como un parámetro para determinar la madurez de los frutos del lulo Thompson (1998), pues en este fruto el pH no presenta cambios durante la poscosecha (Casierra-Posada et al., 2004).

**Figura 3-7:** Comportamiento del pH de frutos de champa cosechados en diferentes grados de madurez con base en el color de la epidermis para determinar el punto óptimo de cosecha.



La barra representa el valor estadístico de diferencia mínima significativa (LSD) para comparar los promedios, de acuerdo con la prueba de Tukey. Si las diferencias entre dos promedios en cada punto de muestreo son mayores al LSD, entonces habrá diferencia a un  $\alpha$  de 0,05. \* diferencias estadísticas al 5%, \*\* diferencias estadísticas al 5%, ns no hay diferencias.

## 4. Conclusiones y recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

La duración total desde la floración hasta la cosecha del fruto fue de 1489,1 GDC en 145 días. Las masas seca y fresca de los frutos y semillas de champa tuvieron un comportamiento sigmoide simple, además dicho comportamiento se ajustó a un modelo de crecimiento tipo logístico. En la cosecha las masas fresca y seca total fueron  $26,13 \pm 1,69$ g y  $4,13 \pm 0,45$  g respectivamente.

Los diámetros ecuatorial y polar aumentaron linealmente en función de la acumulación de grados calor día de crecimiento. El diámetro ecuatorial siempre fue superior al diámetro polar, esto indica la forma característica del fruto de champa que corresponde a una baya redonda ligeramente achatada. Por su parte, el volumen del fruto aumentó de forma exponencial, con un aumento muy rápido en la última fase de desarrollo.

La firmeza de los frutos de champa aumentó desde la formación del fruto hasta los 856,9 GDC (82 ddf) y alcanzó valores que indican alta consistencia, posteriormente, la firmeza disminuyó de manera drástica y puso en evidencia el rápido ablandamiento que sufren estos frutos durante la maduración.

Los SST y la ATT aumentaron desde el segundo estado de desarrollo, mientras que el pH disminuyó, la RM decreció desde la formación del fruto y solo mostró un leve incremento cerca de la cosecha. De acuerdo con estos parámetros se puede catalogar a

la champa como un fruto altamente ácido con un representativo contenido de azúcares, lo cual describe su sabor característico.

La actividad de la enzima PG se observó desde los 582,06 GDC y aumentó durante el desarrollo del fruto de champa. La tasa respiratoria fue alta en el primer estado de desarrollo pero disminuyó continuamente y alcanzó su valor más bajo a los 1422,8 GDC (138 ddf) que indica la madurez fisiológica del fruto, en este momento también se detectó la producción de etileno. El ácido succínico presentó una concentración bastante alta al inicio del E2, sin embargo, junto con los ácidos málico y oxálico disminuyeron hasta la cosecha, se encontró que el ácido cítrico fue el predominante en la maduración de los frutos de champa

Los frutos de champa de acuerdo con el patrón de respiración presentan un comportamiento típico de los frutos climatéricos, con un pico respiratorio 2 dcc, acompañado de un aumento en la producción de etileno en este mismo día, llegando a niveles que permiten clasificarlos como altos productores de etileno.

Los frutos de champa mostraron alta pérdida de firmeza durante el almacenamiento, comportamiento que está asociado a la alta perecibilidad del fruto y el difícil manejo de este fruto en la poscosecha. También se observó una elevada tasa de pérdida de peso que pone en evidencia la alta transpiración y respiración del fruto, del mismo modo, se destaca la importancia de utilizar o comercializar el fruto en forma rápida para evitar pérdidas económicas y de calidad.

Los cambios bioquímicos tuvieron algunos comportamientos atípicos. Los SST aumentaron hasta el climaterio y después disminuyeron, la ATT aumentó considerablemente. La RM y el pH disminuyeron durante la poscosecha de forma cuadrática. La actividad poligalacturonasa aumentó hasta el tercer día y posteriormente disminuyó, es posible que la actividad de esta enzima esté relacionada con la pérdida de firmeza. El ácido cítrico fue el ácido predominante durante la maduración de los frutos de champa y ascendió continuamente durante el almacenamiento, el ácido succínico también se incrementó, mientras que los ácidos oxálico y málico disminuyeron, el contenido de los ácidos orgánicos en el fruto es bastante alto.

La luminosidad y el valor de “b” disminuyeron en función del tiempo pero el valor de “a” se incrementó, esto indica pérdida del color verde, del brillo y del color amarillo intenso y característico del fruto de champa presente en el momento de la cosecha.

La duración poscosecha de los frutos de champa depende directamente del estado de madurez en el momento de la cosecha, la relación encontrada indica que a mayor madurez, la vida útil es menor, siendo los frutos 100% verdes los de mayor duración con 7,6 días.

De acuerdo con el análisis sensorial, se ratifica la alta perecibilidad que presentan los frutos de champa, se observó que los frutos cosechados con más del 50% de color amarillo muestran características organolépticas óptimas en el día 1 ddc, los frutos cosechados 100% verdes y 25% amarillo-75% verde continúan el proceso de maduración pero las características sensoriales son inferiores.

Los frutos cosechados 100% verdes mantienen mayor firmeza y por más tiempo durante el almacenamiento y a medida que fueron cosechados con mayor maduración, la firmeza decreció.

En los frutos cosechados con mayor grado de maduración la pérdida de peso fue superior, pero al final, los frutos cosechados 100% verdes presentaron mayor pérdida de peso acumulada debido a que estuvieron más tiempo expuestos al almacenamiento.

A medida que los frutos fueron cosechados más inmaduros, tardaron más tiempo en perder la coloración verde y adquirir la tonalidad amarillenta característica de los frutos maduros, asimismo, tomaron más tiempo en disminuir la luminosidad y en mostrar tonalidades amarillentas propias de la senescencia. Se observó que en los frutos cosechados 100% verdes la coloración en la maduración no fue calificada como óptima.

Los sólidos solubles totales en todos los tratamientos aumentaron en los primeros días y luego disminuyeron. En los frutos cosechados 100% verdes la acidez total titulable en general fue superior y la RM fue menor, igual que el pH, esto indica que tardaron más tiempo en el proceso de maduración.

## **4.2 Recomendaciones**

Se recomienda realizar investigaciones donde se estudie más a fondo las causas del rápido ablandamiento de los frutos de champa, esto puede ser a nivel bioquímico, enzimático o estructural.

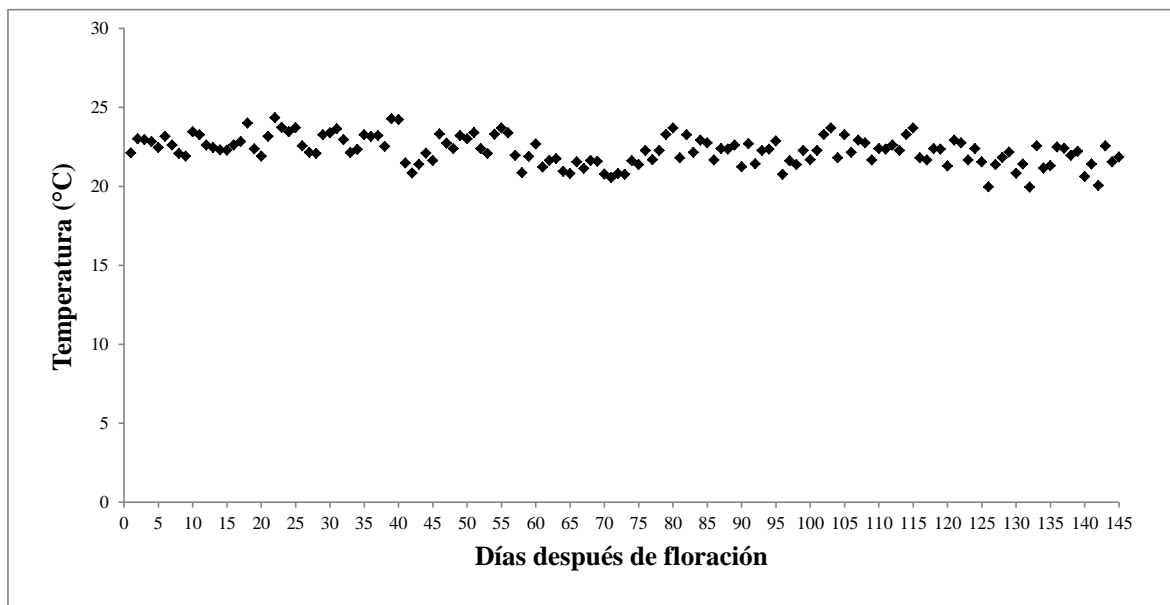
Es recomendable adelantar un gran número de investigaciones donde se apliquen tratamientos pre y poscosecha, con el fin de aumentar la vida poscosecha del fruto de champa.

Es importante avanzar en estudios relacionados con el potencial antioxidante del fruto para determinar la importancia que pueda presentar en la nutrición humana.

## A. Anexo: Ubicación del municipio de Miraflores dentro del departamento de Boyacá y el país (Wikipedia, 2009).



## B. Anexo: Comportamiento de la temperatura promedio observada durante el estudio



## **C. Anexo: Preparación de los reactivos del método de Nelson & Somogyi para la cuantificación de azúcares reductores y reactivo de Bradford para determinación de proteína (Espinal, 2010).**

Reactivo de Somogyi I: Se pesaron 2,5 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 2,5 g de tartrato de sodio y potasio sal de Rochelle  $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ , 2,0 g de  $\text{NaHCO}_3$  y 20 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , se llevaron a un volumen final de 100 mL con agua desionizada.

Reactivo de Somogyi II: Se pesaron 15 g de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ , se adicionaron 500  $\mu\text{L}$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado (96%) y se llevaron a un volumen final de 100 mL con agua desionizada.

Reactivo de Nelson: Se pesaron 5,0 g de molibdato de amonio ( $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ ), se adicionaron 80 mL de agua desionizada, 4,2 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado (96%) y se agitó hasta disolución completa, luego se adicionaron 0,6 g de  $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  disueltos en 5,0 mL de agua desionizada y se llevó a un volumen final de 100 mL con agua desionizada.

Reactivo de Bradford: A 10 mg de Azul de Comassie G-250 se le adicionaron 5 mL de etanol del 98% y se agitó hasta disolución completa, se adicionaron 10 mL de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  al 85% y se llevó a un volumen final de 100 mL con agua desionizada. Se filtró 2 veces hasta que el reactivo de Bradford quedó de color café claro.



## **D. Anexo: Días después de floración (ddf) y grados calor día de crecimiento (GDC) durante todo el estudio**

<b>ddf</b>	<b>GDC</b>
26	282,2
40	436,8
54	582,1
68	719,2
82	856,9
96	999,4
110	1144,5
124	1289,9
138	1422,8
145	1489,1

## E. Anexo: Fruto de champa en proceso de senescencia



## F. Anexo: Atributos de los factores de calidad sensorial

Marcar con X	Calificación	Descripción
<b>APARIENCIA</b>		
	Excelente	Aspecto fresco, túrgido, sin defectos, sin lesiones ni manchas o suciedad.
	Bueno	Túrgido, firme, con mínima deshidratación y pequeñas manchas en menos del 10% de la superficie.
	Regular	Deshidratación, algunas lesiones superficiales, signos de maltrato, manchas en hasta el 30% de la superficie, cicatrices, ligero ablandamiento.
	Malo	Avanzado deterioro, manchas en más del 30% del área superficial, marchitamiento avanzado, señales de maltrato, cicatrices o irregularidades, ablandamiento excesivo, exudación.
	Muy malo	Manchas generalizadas, deshidratación intensa, exudación y señales de descomposición, aspecto desagradable

<b>COLOR</b>		
	Excelente	Color intenso y homogéneo, característico del producto fresco y del estado de madurez, brillo normal.
	Bueno	Color ligeramente pálido, oscuro u opaco comparados con el color característico.
	Regular	Producto pálido, oscuro, decolorado, opaco o con colores atípicos
	Malo	Oscurecimiento, ausencia del color característico, palidez extrema.
	Muy malo	Ennegrecimiento, manchado irregular y generalizado, decoloración intensa, colores distintos a los característicos
<b>AROMA</b>		
	Excelente	Olor característico del producto fresco con fácil percepción.
	Bueno	Olor característico pero con suave pérdida de la intensidad
	Regular	Pérdida del olor característico o ligera presencia de otros aromas.
	Malo	Ausencia del aroma característico. Presencia de olores atípicos u olores desagradables.
	Muy malo	Fetidez, olor a descomposición, fermentación avanzada, olores extraños
<b>SABOR</b>		
	Excelente	Sabor característico del producto, percepción definida.

	Bueno	Ligera pérdida de la intensidad del sabor, insipidez moderada, o desviación ligera de alguno de los componentes del sabor (ej., acidez, dulzura, etc.).
	Regular	Fuerte pérdida de la intensidad del sabor, con desviaciones perceptibles del sabor característico.
	Malo	Ausencia del sabor característico. Sabores extraños o desagradables.
	Muy malo	Totalmente insípido, desagradable, repugnante, fermentación fuerte, sabor extraño intenso.
<b>TEXTURA</b>		
	Excelente	Característica del producto fresco, tejidos firmes, corte suave al masticar, jugoso, turgente o crocante según el producto. En hojas y tallos erguidos con la orientación natural típica
	Bueno	Producto ligeramente blando o ligeramente duro, suave pérdida de turgencia y consistencia. En hojas y tallos, suave desviación de su orientación natural.
	Regular	Ablandamiento o endurecimiento marcado. Pérdida de la turgencia y jugosidad. Aumento de la fibrosidad, ablandamiento acuoso.
	Malo	Dureza intensa, ablandamiento extremo, desarrollo de arenosidad, fibrosidad, consistencia no homogénea, tejidos secos.
	Muy malo	Rigidez, lignificación intensa, consistencia no homogénea extrema, tejidos acuosos o descompuestos, consistencia extraña.



## Bibliografía

- Abdullah, M.Z., L.C. Guan, K.C. Lim, A.A. Karim, 2001. The applications of computer vision system and tomographic radar imaging for assessing physical properties of food. *J. Food Eng.* 61, 125–135.
- Abu-Bark A, A.A. Abu-Goukh, A. Bashir-Hind 2003. Changes in Pectic Enzymes and Cellulose Activity During Guava Fruit Ripening. *Food Chem.* 83,213-218.
- Agustí, M., 2003. Citricultura. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Aked, J. 2000. Fruits and vegetables. In Kilcast D, Subramaniam P (Eds.) *The Stability and Shelf-life of Food*. Woodhead. Cambridge, UK. pp. 249-278.
- Ali, Z. M., H. Lazan. 1997. Guava. In S. K. Mitra (Ed.), *Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits* (pp. 145–165). Oxon, UK: CABI International.
- Almanza M. P.J., M. A. Quijano-Rico, G. Fischer, B. Chaves, H. E. Balaguera-López. 2010. Physicochemical characterization of ‘Pinot Noir’ grapevine (*Vitis vinifera* L.) fruit during its growth and development under high altitude tropical conditions, *Agronomía Colombiana* 28(2), 173-180.
- Almanza-Merchán, P., H.E. Balaguera-López. 2009. Determinación de los estadios fenológicos del fruto de *Vitis vinifera* L. bajo condiciones del altiplano tropical en Boyacá. *Rev. UDCA Actual. Divulg. Cient.* 12(1), 141-150.
- Almeida, S. P., C.E.B. Proenca, S.M., Sano, J.F. Ribeiro. 1998. Cerrado: espécies vegetais úteis. Planaltina: Embrapa/CPAC, 464 p.
- Altube, H.A., C.O. Budde, M.G. Ontivero Urquiza y R.S. Rivata. 2001. Determinación de los índices de cosecha de duraznos cvs. flordaking y san pedro 16-33. *Agric. Téc.*, 61(2), 140-150.
- Álvarez-Herrera, J.G., J.A. Galvis y H. E. Balaguera-López. 2009a. Determinación de cambios físicos y químicos durante la maduración de frutos de champa (*Campomanesia lineatifolia* R. & P.), *Agronomía Colombiana* 27(2), 253-259.

- Álvarez-Herrera, J.G., H. E. Balaguera-López y J.F. Cárdenas. 2009b. Caracterización fisiológica del fruto de champa (*Campomanesia lineatifolia* Ruiz. & Pavón), durante la poscosecha Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, 12(2), 125-134.
- Álvarez, A., S. Jorrat, M. Genta. 2005. Caracterización físico-química de jugo de limón de Tucumán, RIA, 34 (2), 49-56.
- Álvarez, A.O., Boché, S., 1999. Modelos matemáticos para describir crecimientos doble sigmoideos en frutos de un nectari'n tardío (cv. Sun Grand). Agro sur 27, 21–28.
- Andrade, J. de S.; Aragão, C.G.; Ferreira, S.A. do N. 1993. Caracterização física e química dos frutos de Araçá-Pêra (*Psidium acutangulum* D. C.). Acta Amazônica (Brasil) 23(2):213- 217.
- Andrade, J. S.; Aragão, C. G.; Chaar, J. S.; Leão, I. M. S. 1989. Caracterização do araçá-boi (*Eugenia stipitata* subsp. *sororia* McVaugh). In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 12, 1989, Rio de Janeiro. Resumos... Rio de Janeiro, SBCTA. p.87.
- AOAC. 1995. Official methods of analysis of AOAC international. Cunniff P (Ed) Association of official analytical chemists. International. Arlington, VA, EEUU. 1091 p.
- Arenas de M, L., M. Marín, D. Peña, E. Toyo, L. Sandoval. 1999. Contenido de humedad, materia seca y cenizas totales en guayabas (*Psidium guajava* L.) colectadas en granjas del Municipio Mara del estado Zulia. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 16, 1-10.
- Austin, P.T., Hall, A.J., Gandar, P.W., Warrington, I.J., Fulton, T.A., Halligan, E.A., 1999. A compartment model of the effect of early-season temperatures on potential size and growth of 'Delicious' apple fruits. Ann. Bot. 83,129–143.
- Ávila, H., J. Cuspoca, G. Fischer, G. Ligarreto, M. Quicazán. 2007. Caracterización físicoquímica y organoléptica del fruto de agraz (*Vaccinium meridionale* Sw) almacenado a 2 °C. Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín ,60(2), 4179-4193.
- Azzolini, M., A. P., Jacomino, I. Urbano, 2004. Índices para avaliar qualidade póscolheita de goiabas em diferentes estádios de maturação. Pesq. Agropec. Bras. 39(2),139 - 145.
- Barceló, C.J., G.N. Rodrigo, G.B. Sabater y R. Sánchez. 2001. Fisiología Vegetal. Ediciones Pirámide, Madrid. P. 275-306.
- Balaguera-López, H.E., J.G. Álvarez-Herrera y D.C. Bonilla. 2009. Crecimiento y desarrollo del fruto de champa (*Campomanesia lineatifolia* Ruiz & Pavón), Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica 12(2),113-123.



- Bapat, V. A., P.K. Trivedi, A. Ghosh, V. A. Sane, T. R. Ganapathi, P. Nath. 2010. Ripening of fleshy fruit: Molecular insight and the role of ethylene, *Biotechnology Advances* 28,94–107.
- Barry, C., J. Giovannoni. 2007. Ethylene and Fruit Ripening. *J. Plant Growth Regul*, 26,143–159.
- Bartley I., M. Knee. 1982. The Chemistry of Textural Changes in Fruit During Storage. *Food Chem*, 9,47-58.
- Beadle, C.L., 1993. Growth analysis. In: Hall, D.O., Scurlock, J.M.O., Bolhard-Nordenkamp, H.R., Leegood, R.C., Long, S.P. (Eds.), *Photosynthesis and Production in a Changing Environment: A Field and Laboratory Manual*. Chapman and Hall, London, pp. 36–46.
- Benincasa PMM. 1988. *Análise de crescimento de plantas (Noções básicas)*. Jaboticabal, FCAV-UNESP, SP, 41 p.
- Bonilla, A., C. Duque, C. Garzón, Y. Takaishi, K. Yamaguchi, N. Hara y Y. Fujimoto. 2005. Champanones, yellow pigments from the seeds of champa (*Campomanesia lineatifolia*). *Phytochemistry* 66, 1736-1740.
- Bonghi, C., Pagni, S., Vidrih, R., Ramina, A., Tonutti, P., 1996. Cell wall hydrolases and amylase in kiwifruit softening. *Postharvest Biol. Technol.* 9, 19-29.
- Bowers, J. 1992. *Food theory and applications*. Macmillan Pub. Int. Ed. Nueva York, EEUU. 952 p.
- Brummell, D.A. 2006. Cell wall disassembly in ripening fruit. *Funct Plant Biol* 33, 103-119
- Brummell, D.A., M.H. Harpster. 2001. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Mol Biol* 47, 311–340.
- Bulk, R.E., El-F. Babiker, El-T. Abdullahi. 1997. Changes in chemical composition of guava fruits during development and ripening. *Food Chem.* 59(3), 395-399.
- Calderón, A.E. 1989. *Fruticultura general*. 3ra ed. Editorial Limusa. México. P. 173-189.
- Caliman, F.R.B., D.J.H. Silva, M.A.N. Sedyama. 2003. Tomate para mesa: colheita, classificação e embalagem. *Informe Agropecuário*, 24,128-126.
- Candir, E.E., A. E. Ozdemir, M. Kaplankiran, C. Toplu. 2009. Physico-chemical changes during growth of persimmon fruits in the East Mediterranean climate region, *Scientia Horticulturae* 121,42–48.

- Cañizares A., D. Laverde, R. Puesme. Crecimiento y desarrollo del fruto de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Santa Bárbara, Estado Monagas, Venezuela. Revista UDO Agrícola 3(1), 34-38.
- Carpita, N.C., D.M. Gibeaut. 1993. Structural models of primary cell walls in flowering plants: consistency of molecular structure with the physical properties of the walls during growth. Plant J. 3, 1-30.
- Carranza, C., O. Lancho, D. Miranda, B. Chaves. 2009. Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. Agron. Colomb. 27(1), 41-48.
- Carrillo, M.P., Hernández, M. S., Barrera, J., Martínez, O., Fernández-Trujillo, J. P. 1-Methylcyclopropene delays arazá ripening and improves postharvest fruit quality, LWT - Food Science and Technology 44,250-255.
- Carvalho, J.E.U., N.V.M. Leão y C.H. Muller. 1997. Sensibilidade de sementes de gabiroba (*Campomanesia lineatifolia* Ruiz et Pav. - Myrtaceae) ao dessecamento e à baixa temperatura. En: X Congresso Brasileiro de Sementes, Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes. Foz de Iguazú, Brasil. Abrates7(1/2), 252.
- Casierra, F. y M.C. Cardozo. 2009. Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Quindío) cultivado a campo abierto. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 62(1), 4815-4822.
- Casierra-Posada, F., R. Salamanca. 2008. Influencia del ácido giberélico y del nitrato de calcio sobre la duración poscosecha de frutos de fresa (*Fragaria* sp.). Rev. Colomb. Cienc. Hort. 2(1), 33-42.
- Casierra-Posada, F., Ó.E. Aguilar-Avenidaño. 2008. Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez Agronomía Colombiana, 26(2), 300-307.
- Casierra-Posada, F., M.C. Cardozo y J.F. Cárdenas-Hernández. 2007. Análisis del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero. Agronomía Colombiana 25(2), 299-305.
- Casierra-Posada, F., E. J. García y P. Lüdders. 2004. Determinación del punto óptimo de cosecha en el lulo (*Solanum quitoense* Lam. var. quitoense y septentrionale). Agronomía Colombiana, 22 (1), 32-39.
- Castro, R.D., K.J. Bradford, H.W.M. Hilhorst. 2004. Desenvolvimento de sementes e conteúdo de água. In: Ferreira, A.G., F. Borghetti, (Ed.) Germinação: do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed, 51-67.

- Castro neto, M. T. de, D. H. Reinhardt. 2003. Relações entre parâmetros de crescimento do fruto de manga cv. Haden. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, 25(1), 35-37.
- Cavalini, F., A.P. Jacomino, M. A. Lochoski, R.A. Kluge, E. M. Ortega. 2006. Maturity indexes for 'Kumagai' and 'Paluma' guavas, Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, 28(2), 176-179.
- Chan Jr., H.T., E. Chenchin, P. Vonnahme, 1973. Nonvolatile acids in pineapple juice. J. Agric. Food Chem. 21, 208–211.
- Chen, F.X., X.H. Liu, L.S. Chen. 2009. Developmental changes in pulp organic acid concentration and activities of acid-metabolising enzymes during the fruit development of two loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) cultivars differing in fruit acidity, Food Chem. 114, 657–664.
- Clavijo, J. 1989. Análisis de crecimiento en malezas. Revista Comalfi. Vol. XVI. Bogotá, pp. 12 - 16.
- Clifton-Brown, J.C., B. Neilson, I. Lewandowski, M.B. Jones. 2000. The modelled productivity of *Miscanthus x giganteus* (Greef et Deu) in Ireland. Industrial Crops and Products 12, 97-109.
- Chisari, M., A.C. Silveira, R. Barbagallo, G. Spagna, F. Artes, 2009. Ripening stage influenced the expression of polyphenol oxidase, peroxidase, pectin methylesterase and polygalacturonase in two melon cultivars. Int. J. Food Sci. and Tech., 44, 940-946.
- Chitarra, M.I.F., y A.B. Chitarra. 2005. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. Lavras: ESAL-FAEPE, 785 p.
- Chitarra, M. I. F. Processamento mínimo de frutas e hortaliças. Viçosa: Centro de produções técnicas, 1998. 88 p.
- Choi, C., P.A. Wiersma, P. Toivonen, F. Kappel. 2002. Fruit growth, firmness and cell wall hydrolytic enzyme activity during development of sweet cherry fruit treated with gibberellic acid ( $GA_3$ ). J. Hortic. Sci. Biotechnol. 77, 615–621.
- Ciro, H.J., M.L. Montoya, L.J. Millán. 2005. Caracterización de propiedades mecánicas del banano (Cavendish Valery). Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 58(2), 2975-2988.
- Coombe, B. 1976. The Development of fleshy fruits. Ann. Rev. Plant. Physiol. 27, 507-528.
- Czarnowski, M. y W. Starzecki. 1992. Spectral properties and  $CO_2$  exchange of tomato fruits. Photosynthetica 27, 513-519.

- Delwiche, M.J. 1987. Grader performance using a peach ground color maturity chart. HortScience 22,87-89.
- Días, D.C.F. Maturação de sementes. 2001. Revista SEED News, Pelotas, 5(6), 22-25.
- Espinal, M. 2010. Capacidad antioxidante y ablandamiento de la guayaba palmira ICA I (*Psidium guajava*), Tesis maestría en Ciencias Química, Universidad Nacional de Colombia, 141p.
- Esposti, M.D., D. Lópes de Siqueira, P. Cecón. 2008. crecimiento de frutos da tangerineira 'poncã' (*Citrus reticulata* Blanco), Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, 30(3), 657-661.
- Fabi, J.P., B.R. Cordenunsi, G.B. Seymour, F.M. Lajolo, J.R. Oliveira. 2009. Molecular cloning and characterization of a ripening-induced polygalacturonase related to papaya fruit softening. Plant Physiology and Biochemistry. 47, 1075-1081.
- Ferrer A, S. Remón, A. Negueruela, R. Oria. 2005. Changes during ripening of the very late season Spanish peach cultivar Calanda Feasibility of using CIELAB coordinates as maturity indices. Sci. Hort. 105, 435-446.
- Fischer, G. y O. Martínez. 1999. Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en relación con la coloración del fruto. Agron. Colomb. 16 (1-3), 35-39.
- Fleisher, D.H. y D.Timlina. 2006. Modeling expansion of individual leaves in the potato canopy. Agricultural and Forest Meteorology 139, 84-93.
- Frenkel, C., M.E. Patterson. 1973. Effect of carbon dioxide on activity of succinic dehydrogenase in 'Bartlett' pears during cold storage. HortScience 8, 395-396.
- Galho, A.S., N.F. Lopes, M.A. Bacarin, M. D. Lima. 2007. composição química e respiração de crescimento em frutos de *Psidium Cattleianum* sabine durante o ciclo de desenvolvimento. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, 29(1), 061-066.
- Gallego, S.P., C.E. Riaño y L. Orozco. 2003. Determinación del comportamiento químico y fisiológico de Feijoa sellowiana en almacenamiento. Revista Cenicafe 54(1), 50-62.
- Galvis, J.A., M.S. Hernández, 1993. Análisis del crecimiento y determinación del momento oportuno de cosecha del fruto de arazá' (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) Colombia Amazónica 6, 107-121.
- Gamarra, G. y M. Medina. 1997. Growth of the yellow passion fruits. Fruits. 52,16-26.

- García-Martínez, J.L. y P. Hedden. 1997. Gibberellins and fruit development. pp. 263-285. En: Tomas-Barberan, F.A. y R.J. Robins. (eds.). *Phytochemistry of fruit and vegetables*. Oxford Sci. Publications, Heidelberg.
- García, H.E., Peña, V.C. 1995. La pared celular: componente fundamental de las células vegetales. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 75 pp.
- Garcés, E., 1987. Estudio anatómico y de los procesos de crecimiento del fruto de guayabo (Anatomical study of guava fruit growth). *Agronomía Colombiana* 4, 23–30.
- Garzón, C. y F. Barreto. 2002. *Campomanesia lineatifolia* Ruiz & Pav. en Colombia. En: Libro de Resúmenes del Octavo Congreso Latinoamericano y Segundo Congreso Colombiano de Botánica. *Etnobotánica y Botánica económica*. p. 315.
- Gayosso-García, L., E.M. Yahia, M.A. Martínez-Téllez, G.A. González-Aguilar. 2010. Effect of Maturity Stage of Papaya Maradol on Physiological and Biochemical Parameters, *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 5 (2), 194-203.
- Gemtchüjnicov, I.D. 1976. Manual de taxonomía vegetal: plantas de interesse econômico, agrícola, ornamentais e medicinais. São Paulo: Ceres, 368p.
- Gillaspy, G., H. Ben-David y W. Gruissem. 1993. Fruits: a developmental perspective. *Plant Cell* 5, 1439-1451.
- Giovannoni J.J. 2004. Genetic regulation of fruit development and ripening. *Plant Cell* 16, 5170–5180
- Giovannoni, J. 2001. Molecular Biology of fruit maturation and ripening. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 52, 725–749.
- Godoy, C., G. Monterubbianesi, J. Tognetti. 2008. Analysis of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit growth with exponential mixed models, *Scientia Horticulturae* 115,368–376.
- Gómez, C; Buitrago, C; Cante, M; Huertas, B. 1999. Ecofisiología de papa (*Solanum tuberosum*) utilizada para cultivo fresco y para la industria. *Revista Comalfi*. Vol. XXVI. No. 1 – 3. Bogotá, D.C., pp. 42- 55.
- González, M. 2001. Cosecha y postcosecha. pp. 99-103. En: Escobar, H. y R. Lee (eds.). *Producción de tomate bajo invernadero*. Centro de investigaciones y asesorías agroindustriales, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
- Grange, R. 1996. Crecimiento del fruto. pp. 449-462. En: Azcón- Bieto, J. y M. Talón (eds.). *Fisiología y bioquímica vegetal*. Interamericana - McGraw-Hill, Madrid.

- Hadfield, K.A. y A.B. Bennett. 1998. Polygalacturonases: many genes in search of a function. *Plant Physiol.* 117, 337–343.
- Hasegawa, P.N., A. F. de Faria, A. Z. Mercadante, E. A. Chagas, R. PIO, F. M. Lajolo, B.R. Cordenunsi, E. Purgatto. 2010. Chemical composition of five loquat cultivars planted in Brazil. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 30(2), 552-559.
- Heredia, J., J. Siller, M. Báez, E. Araiza, T. Portillo, R. García y M. Mury. 1997. Cambios en la calidad y el contenido e carbohidratos en frutas tropicales y subtropicales a nivel de supermercado. *Proa. Interamer. Soc. trop. Hort.* 41, 104-109.
- Hernández, M. S., J. Barrera, O. Martínez, J.P. Fernández-Trujillo. 2011. Postharvest quality of arazá fruit during low temperature storage. *LWT-Food Science and Technology*, 42, 879-884.
- Hernández M.S., O. Martínez y J.P. Fernández-Trujillo. 2007. Behavior of arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) fruit quality traits during growth, development and ripening. *Scientia Horticulturae* 111, 220–227.
- Hernández, M.S., J. Barrera. 2004. Bases técnicas para el aprovechamiento agroindustrial de especies nativas de la Amazonía. Primera Edición. Ed. Guadalupe (Bogotá). 101p.
- Hernández., M.S. 2001. Conservación del fruto de arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) durante la poscosecha mediante la aplicación de diferentes técnicas. Tesis doctoral. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 219 p.
- Ho, L.C. y P. Grimby. 1990. The physiological basis for tomato quality. *Grower* 22, 33-36.
- Holcroft, D.M., A.A. Kader. 1999. Carbon dioxide-induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 17,19–32.
- Hunt, R. 2003. Growth analysis, individual plants. pp. 579-588. En: Thomas, B., D.J. Murphy y D. Murray (eds). *Encyclopaedia of applied plant sciences*. Academic Press, Londres.
- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. *Plant growth analysis for beginners*. Unwin Hyman, Boston. 112 p.
- Instituto Colombiano de Ciencia y Tecnología de Alimentos 2006. Manual de procedimientos – frutas. Universidad Nacional de Colombia, ICTA, Laboratorio de Control de Calidad, Bogotá. 21 p.

- Jha, S. N., A.R.P., Kingsly, S. Chopra. 2006. Physical and mechanical properties of mango during growth and storage for determination of maturity. *Journal of Food Engineering, Davis*, 72(1), 73-76.
- Jham, G.N., S. Fernandes, C. Garcia, 2007. Comparison of GC and HPLC for quantification of organic acids in two jaboticaba (*Myrciaria*) fruit varieties, *Quím. Nova*, 30(7),1529-1534.
- Jiménez-Bermúdez, S., J. Redondo-Nevado, J. Muñoz-Blanco, J.L. Caballero, J.M. López-Aranda, V. Valpuesta, F. Pliego-Alfaro, M. A. Quesada, J. A. Mercado. 2002. Manipulation of Strawberry Fruit Softening by Antisense Expression of a Pectate Lyase Gene, *Plant Physiology*, 128, 751–759.
- Jiménez-Aparicio, A., G. Gutiérrez-López. 2001. Color. En Alvarado, J.D., J.M. Aguilera. (Eds.) *Métodos para determinar propiedades físicas en industria de alimentos*. Acribia. Zaragoza. España, pp. 325-346.
- Jesus, N., A.B. Martins y J.C. Barbosa. 2008. Desenvolvimento de frutos de Longan (*Dimocarpus longan* Lour) na região de Jaboticabal-SP. *Rev. Bras. Frutic.* 30(1),159-164.
- Kader, A. A. 2002. *Postharvest technology of horticultural crops*, University of California (System). Division of Agriculture and Natural Resources. Tercera edición, ANR Publications, 535 p.
- Kariola, T., G. Brader, J. Li y T. Palva. 2005. Chlorophyllase 1, a damage control enzyme, affects the balance between defense pathways in Plants. *Plant Cell* 17, 282-294.
- Kays, S. 2004. *Postharvest biology*. Exon Press (Athens, Georgia). 568 p.
- Kays, S. 1997. *Postharvest physiology of perishable plant products*. 1st edition. Exon Press, Athens, GA. pp. 263-278.
- Kelebek, H. 2010. Sugars, organic acids, phenolic compositions and antioxidant activity of Grapefruit (*Citrus paradisi*) cultivars grown in Turkey, *Industrial Crops and Products* 32,269–274
- Klein, J.D. y T.G. Thorp. 1987. Feijoa: post-harvest handling and storage of fruit. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 15, 217-221.
- Kojima, K. 2005. Phytohormones in shoots and fruits of tomato; Apoplast solution and seedless fruit. *JARQ* 39(2), 77-81.
- Laguado, N., E. Pérez, C. Alvarado y M. Marín. 1999. Características fisicoquímicas y fisiológicas de frutos de guayaba de los tipos Criolla Roja y San Miguel procedentes de dos plantaciones comerciales. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 16,382-397.

- Legrand, C. D., R.M. Klein, 1977. Mirtáceas: Campomanesia, In: Reiz, P.R. Flora ilustrada catarinense. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, p. 573-623.
- Lima, M.A., A.L. da Silva, S. S. Nunes. 2009. Evolução de indicadores do ponto de colheita em manga 'tommy atkins' durante o crescimento e a maturação, nas condições do vale do são francisco, Brasil, Ciênc. agrotec., Lavras, 33(2), 432-439.
- López, M.A., B. Cháves, V.J. Flórez, M.R. Salazar. 2010. Modelo de aparición de nudos en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) cv. Delphi cultivado en sustratos, Agronomía Colombiana 28(1), 47-54.
- López, 2010. Comunicación personal, productora experta en el cultivo de champa, Miraflores Boyacá.
- López, M. y Rodríguez, J. 1995. Diagnóstico del mercadeo de la champa en el Municipio de Miraflores Boyacá. Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo en Mercadeo. Instituto de Educación Abierta y a distancia. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. 86 p.
- Lindsay, R.C. 1976. Other desirable constituents of food. Em Fenema OR (Ed.) Principles of Food Science. Part I: Food Chemistry. Decker. Nueva York, EEUU. Pp. 465-513.
- Lombardi, S.R.B.; Moraes, D.M. de; Camelatto, D. 2000. Avaliação do crescimento e da maturação pós-colheita de pêras da cultivar Shinsseiki. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 35(12), 2399-2405.
- Luo, A., Yang, X., Deng, Y., Li, C., Xiang, K., Li, D., 2003. Organic acid concentrations and the relative enzymatic changes during the development of citrus fruits. Scientia Agricultura Sinica 36, 941-944.
- Majumder, K. y B.C. Mazumdar. 2002. Changes of pectic substances in developing fruits of cape-gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in relation to the enzyme activity and evolution of ethylene, Scientia Horticulturae 96, 91-101.
- Márquez, C.C.J., C.M. Otero, M. Cortés. 2007. Cambios fisiológicos, texturales, fisicoquímicos y microestructurales del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.) en poscosecha. Vitae (Colombia) 14(2),9-16.
- Matile, P., S. Hörtensteiner y H. Thomas. 1999. Chlorophyll degradation. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 50, 67-95.
- Medeiros, C.A.B., M.C.B. Raseira. 1998. A cultura do pessegueiro. Brasília: Embrapa-SPI, 350p.



- Menéndez, O., S. E. Lozano, M. Arenas, K. Bermúdez, A. Martínez y A. Jiménez. 2006. Cambios en la actividad de  $\alpha$ -amilasa, pectinmetilesterasa y poligalacturonasa durante la maduración del maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* VAR. FLAVICARPA DEGENER). *Interciencia*, 31(10), 728-733.
- Méndez, A.M., A.F. Figueiredo, J.F. Silva. 2006. Crescimento e maturação dos frutos e sementes de urucum, *Revista Brasileira de Sementes*, 28(1), 133-141.
- Mendoza, F., P. Dejmek, J.M. Aguilera. 2006. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis, *Postharvest Biology and Technology* 41, 285–295
- Mercado-Silva, E., P. Benito-Bautista, M.A. Garcia-Velasco. 1998. Fruit development, harvest index and ripening changes of guavas produced in central México. *Postharvest Biol. Technol. (Holanda)* 13,143-150.
- Minchin, P. E. H., Richardson, A. C. , Patterson, K. J. and Martin, P. J. 2003. 'Prediction of final weight for *Actinidia chinensis* 'Hort1 6A' fruit', *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 31(2), 147-157.
- Miranda, M.R.A., A.K. Benbadis, H.A.C. Filgueiras, R.E. Alves. 2001. Enzymes and pectin breakdown of sapodilla during modified atmosphere storage. *Proc. Int. Soc. Trop. Hort.* 45,18-21.
- Mondal, K.S., A.P. Singh, N. Saxena, S.P. Malhotra, K. Dhawan and R. Singh, 2008. Possible interactions of polyamines and ethylene during ripening of guava (*Psidium guajava* L.) fruits. *J. Food Biochem.*, 32: 46-59.
- Morais, P.L.D., M. R.A. Miranda, L. C.O. Lima, José D. Alves, Ricardo E. Alves and José D. Silva. 2008. Cell wall biochemistry of sapodilla (*Manilkara zapota*) submitted to 1-methylcyclopropene, *Braz. J. Plant Physiol.*, 20(2),85-94.
- Muy-Rangel, D., Siller-Cepeda, J., Díaz-Pérez, J. García-Estrada, R. y Osuna-Enciso, T. 2003. Efecto de las Condiciones de Almacenamiento y el Encerado en el Estado Hídrico y la Calidad Poscosecha en Frutos de Pepino de Mesa y Mango. Tesis de Doctorado CIAD, A.C. Unidad Culiacán.
- Nacif, S.R. 1991. Ontogenia e crescimento do fruto do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* var flavicarpa). Dissertação (Mestrado em Biologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 60p.
- Nelson, N., 1944. A photometric adaptation of Somogyi method for the determination of glucose. *J. Biol. Chem.* 153, 375–380.
- Nanos, G.D. y A.A. Kader. 1993. Low O<sub>2</sub>-induced changes in pH and energy charge in pear fruit tissue. *Postharvest Biol. Technol.* 3, 285-291.

- NeSmith S.D. 1997. Summer squash (*Cucurbita pepo* L.) leaf number as influenced by thermal time. *Scientia Horticulturae* 68, 219-225.
- Normand, F. and M. Léchaudel, 2006. Toward a better interpretation and use of thermal time models. *Acta Horticulturae* 707, 159-164.
- Novoa, R. H., M. Bojacá, J. A. Galvis y G. Fischer. La madurez del fruto y el secado del cáliz influyen en el comportamiento poscosecha de la uchuva, almacenada a 12 °C (*Physalis peruviana* L.), *Agronomía Colombiana* 24(1),77-86.
- Opara, L.U. 2000. Fruit growth measurement and analysis. *Hort.Rev.* 24, 373-431.
- Ordúz-Rodríguez, J., H. Monroy, G. Fischer, A. Herrera. 2009. Crecimiento y desarrollo del fruto de mandarina (*Citrus reticulata*) 'Arrayana' en condiciones del piedemonte del Meta, Colombia, *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas* 3(2), 149-160.
- Osorio, C., M. Alarcón, C. Moreno, A. Bonilla, J. Barrios, C. Garzón, y C. Duque. 2006. Characterization of Odor-Active Volatiles in Champa (*Campomanesia lineatifolia* R. & P.). *J. Agric. Food Chem.* 54 (2), 509–516.
- Osterloh, A., G. Ebert, W.H. Held, H. Schulz y E. Urban. 1996. Lagerung von Obst und Südfrüchten. Verlag Ulmer, Stuttgart. 253 p.
- Otero-Sánchez, M. A., R. A. E., Becerril, M. A., Castillo, A.C., Michel, T. R., Ariza, A. A., Barrios, y M. A. Rebolledo, 2006. Producción de ilama *Annona diversifolia* Saff. En el trópico seco de Guerrero. *Rev.Chapingo Serie Horticultura* 12(2),137-143.
- Palmar, J.K. 1971. The banana. In *The Biochemistry of fruits and their products*, vol 2, A. C. Hulme (ed). Academic Press, New York, pp. 239-268.
- Pantástico, E.R. 1981. Fisiología de post-recolección. Vol. 1. Ed. Limusa S.A., México. pp. 812-815.
- Parra-Coronado, A., J. E. Hernández, J. H. Camacho-Tamayo. 2006. estudio de algunas propiedades físicas y fisiológicas precosecha de la pera variedad Triunfo de Viena. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal* 28(1), 55-59.
- Paull, R., J. Deputy, N. J. Jung. 1983. Changes in organic, sugars, and headspace volatiles during fruit ripening of soursop (*Annona muricata* L.). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108(6), 931-934.
- Payasi, A., G.G. Sanwal. 2003. Pectate Lyase Activity During Ripening of Banana Fruit. *Phytochem.* 63,243-248.

- Pedroza, M.J.A., G. Corchuelo y A. Angarita. 1997. Análisis de crecimiento de *Limonium sinuatum* Mill cv. Midnight Blue propagada sexual y asexualmente a partir de yemas vegetativas y florales. Agron. Colomb. 14(1), 1-12.
- Pinzón, I., G. Fischer y G. Corredor. 2007 Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). Agronomía Colombiana 25(1), 83-95.
- Prasanna, V., T. Prabha y R. Tharahathan. 2006. Multiple forms of polygalacturonase from mango (*Mangifera indica* L. cv Alphonso) fruit. Food. Chem. 95, 30-36.
- Redgwell, R.R., M. Fischer 2002. Fruit texture, cell wall metabolism and consumer perceptions. In: Knee M (ed), Fruit Quality and its Biological Basis, pp.46-75. Sheffield Academic Press, Columbus.
- Rezende, R.V., L.O. Marteleto, A.C. Gomes, V.W. Dias y A.R. Conde. 1984. Productividade e qualidade dos frutos de dez variedades de goiaba, em visconde do Rio Branco, Minas Gerais, visando ao consumo ao natural e a industrializacao. Revista Ceres 31(177), 360-387.
- Rizzon, L. A., V. M. A. Sganzerla. Ácidos tartárico e málico no mosto de uva em Bento Gonçalves, Ciência Rural, 37(3), 911-914.
- Rodríguez, W. y V. Flórez. 2006. Comportamiento fenológico de tres variedades de rosas rojas en función de la acumulación de la temperatura. Agron. Colomb. 24(2), 247-257.
- Rodríguez, M., H.E. Arjona, H.A. Campos. 2006a. Caracterización físicoquímica del crecimiento y desarrollo de los frutos de feijoa (*Acca sellowiana* Berg) en los clones 41 (Quimba) y 8-4. Agronomía Colombiana, 24(1),54-61
- Rodríguez, M., H. Arjona, J. Galvis. 2006b. Maduración del fruto de feijoa (*Acca sellowiana* Berg) en los clones 41 (Quimba) y 8-4 a temperatura ambiente en condiciones de Bogotá. Agronomía Colombiana. 24(1),68-76.
- Rodríguez, J.P., C.E. Narváez, L.P. Restrepo. 2006. Estudio de la actividad enzimática de poligalacturonasa en la corteza de pitaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*), Acta biol.Colomb., Dec. 11(1),65-74.
- Rodríguez, D. A., M. del P. Patiño, D. Miranda, G. Fischer, J. A. Galvis. 2005. Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento en poscosecha de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.), Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín. 58(2),2837-2857.
- Rodríguez, M. 2005. Estudio del crecimiento y desarrollo y de la maduración del fruto de feijoa (*Acca sellowiana* Berg) en los clones 41 (Quimba) y 8-4, en condiciones del

municipio de La Vega (Cundinamarca). Tesis de grado. Programa de maestría, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá 97 p.

- Rogez, H., R. Buxant, E., Mignolet, J., Souza, E., Silva, Y., Larondelle, 2004. Chemical composition of the pulp of three typical Amazonian fruits: aracaboi (*Eugenia stipitata*), bacuri' (*Platonia insignis*) and cupuacu (*Theobroma grandiflorum*). *Eur. Food Res. Technol.* 218, 380–384.
- Roussos, P.A., N.K. Denaza y T. Damvakaris. 2009. Strawberry fruit quality attributes alter application of plant growth stimulating compounds. *Scientia Hort.* 119(2), 138-146.
- Sadka, A.E., O.E. Dahan, M.L. Roose, K.B. Marsh, L. Cohen, 2001. Comparative analysis of mitochondrial citrate synthase gene structure, transcript level and enzymatic activity in acidless and acid-containing Citrus varieties. *Aust. J. Plant Physiol.* 28, 383-390.
- Salazar, M.R. 2006. Un modelo simple de producción potencial de uchuva. Tesis doctoral en ciencias agrarias con énfasis en fisiología de cultivos. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D. C. 114 p.
- Salazar, D.M., P. Melgarejo, R. Martínez, J.J. Martínez, F. Hernández y M. Burguera. 2006. Phenological stages of the guava tree (*Psidium guajava* L.) *Scientia Horticulturae*, 108(2), 157-161.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 2003. Fisiología de las plantas: desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. Vol 3. Thompson Editores Spain, Paraninfo, Madrid. pp. 529-562.
- Salisbury, F.B. y C. W. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo, Editorial Iberoamérica, México. 759 p.
- Salomao, L.C., D. López, M.E. Canto. 2006. Desenvolvimento do fruto da licheira (*Litchi chinensis* Sonn.) 'bengal'1. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, 28(1), 11-13.
- Salvador, A., L. Arnal, C. Besada, V. Larrea, A. Quiles, I. Pérez-Munuera. 2007. Physiological and structural changes during ripening and deastringency treatment of persimmon fruit cv. 'Rojo Brillante, *Postharvest Biology and Technology* 46,181–188
- Sanders, L., R. Child, P. Ulvskok, M. Albrechsten y B. Borkhardt. 2001. Analysis of dehiscence zone endo-polygalacturonase in oilseed rape (*Brassica napus*) and *Arabidopsis thaliana*: evidence for roles in cell separation in dehiscence and abscission zones, and in stelar tissues during pollen tube growth. *Plant Molec. Biol.* 46, 469–479.

- Santamaría, F. B., E. Sauri, F. Espadas, R. Díaz, A. Larqué, J. M. Santamaría. 2009. Postharvest ripening and maturity indices for maradol papaya. *Interciencia*, 34(8), 583-588.
- Saradhulhat, P., R.E. Paull. 2007. Pineapple organic acid metabolism and accumulation during fruit development, *Scientia Horticulturae* 112,297–303.
- Sexton, R. y J.A. Roberts. 1982. Cell biology of abscission. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 33, 133–162.
- Shackel, K.A., C. Greve, J.M. Labavitch, and H.Ahmadi. 1991. Cell turgor changes associated with ripening in tomato pericarp tissue. *Plant Physiol* 97,814–816
- Silva, E.P., E. V. de B. Vilas Boas, L.J. Rodrigues, H. H. Siqueira. 2009. Caracterização física, química e fisiológica de gabioba (*Campomanesia pubescens*) durante o desenvolvimento. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 29(4),803-809.
- Singh, H.K.P.P, S.N. Singh y S.S. Dhatt. 1998. Studies on fruit growth and development in Kinnow. *Indian J. Hort.* 55,177-182.
- Sirit, Y., A.B. Bennett. 1998. Regulation of tomato fruit polygalacturonase mRNA accumulation by ethylene: a re-Examination, *Plant Physiol.* 116, 1145-1150.
- Sirit, Y., Downie, B., Bennett, A.B., Bradford, K.J., 1996. A novel exo-polygalacturonase is associated with radicle protrusion in tomato (*Lycopersicon esculentum*) seeds. *Plant Physiol.* 111, S-161 (Abstract no.752).
- Smith, L.G., 1988. Indices of physiological maturity and eating quality in Smooth Cayenne pineapples. 2. Indices of eating quality. *Queensland J. Agric. Anim. Sci.* 45, 219–228.
- Somogyi, M. 1952. Notes of sugar determination. *J. Biol. Chem.* 195, 19-23.
- Sora, A. D. G. Fischer, R. Flórez. 2006. Almacenamiento refrigerado de frutos de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) en empaques con atmósfera modificada, *Agronomía Colombiana* 24(2), 306-316.
- Sturm, K., D. Koron, F. Stampar. 2003. The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage. *Food Chemistry*, 83, 417-422.
- Subedi, P. P., K. B. Walsh, G. Owens. 2007. Prediction of mango eating quality at harvest using short-wave near infrared spectrometry. *Postharvest Biology and Technology*, 43(3), 326-334.

- Sweetman, C., L. Deluc, G. Cramer, C. Ford, K. Soole. 2009. Regulation of malate metabolism in grape berry and other developing fruits, *Phytochemistry*, 70 (11-12), 1329-1344.
- Tadesse, T., E.W. Hewett, M.A. Nichols, K.J. Fisher. 2002. Changes in physicochemical attributes of sweet pepper cv. Domino during fruit growth and development. *Scientia Horticulturae* 93,91-103.
- Tang, M., M. Wu. H. Yi, J. Feng. 2010. Changes in organic acids and acid metabolism enzymes in melon fruit during development, *Scientia Horticulturae* 123(3), 360-365.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 2002. *Plant physiology*, 3rd edition. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland. 792 p.
- Taylor, J.E., G.A. Tucker, Y. Lasslett, C.J.S. Smith, C.M. Arnold, C.F. Watson, W. Schuch, D. Grierson y J.A. Roberts. 1990. Polygalacturonase expression during leaf abscission of normal and transgenic plants. *Planta* 183, 133-138.
- Teisson, C., J.C. Combres. 1979. Le brunissement interne de l'ananas. III. Symptomatologie. *Fruits* 34, 315–339.
- Téllez C. P., G. Fischer, O. Quintero. 2007. Comportamiento fisiológico y fisicoquímico de frutos de curuba (*Passiflora mollissima* Bailey) encerados y almacenados a dos temperaturas. *Rev. Col. Cienc. Hort.* 1(1),67-80.
- Terrazzan, P., J. Saavedra, L. Sichmann, R. A. Kluge. 2006. Physicochemical characterization of refrigerated strawberries from conventional and organic crop systems, *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha* 8(1), 33-37.
- Thompson, D.S. 2001. Extensiometric determination of the rheological properties of the epidermis of growing tomato fruit. *J. Exp. Bot.*52, 1291–1301.
- Thompson, A.K. 1998. *Tecnología post-cosecha de frutas y hortalizas*. Convenio SENA-Reino Unido, Armenia. 262 p.
- Tovar, B., H. García, M. Mata 2001. Physiology of pre-cut mango II. Evolution of organic acids. *Food Research International* 34, 705-714.
- Trudgill, D.L., A. Honek, D. Li y N.M. Van Straalen. 2005. Thermal time – Concepts and utility. *Ann. Appl. Biol.* 146, 1-14.
- Valderrama, J.K., G. Fischer y M.S. Serrano. 2005. Fisiología poscosecha en frutos de dos cultivares de feijoa (*Acca sellowiana* O. Berg Burret) sometidos a un tratamiento cuarentenario de frío. *Agronomía Colombiana* 23(2), 276-282.

- Vallilo, M. I., M. L. Garbelotti, E. Oliveira, L. Lamardo, 2005. Características físicas e químicas dos frutos do cambucizeiro (*Campomanesia phaea*). Rev. Bras. Frutic. 27(2),241-244.
- Vallilo, M.I., J.B. Baitello, L. Lamardo, C.M. Lobanco, 2003. Composição química do fruto de *Eugenia klotzschiana* Berg. (Myrtaceae). Revista do Instituto Florestal (Brasil) 15(1),33-44.
- Valpuesta, V., M.A. Quesada y M.S. Reid. 1996. Senescencia y abscisión. pp. 479-492. En: Azcón-Bieto, J. y M. Talón (eds.). Fisiología y bioquímica vegetal. Interamericana McGraw-Hill, Bogotá.
- Varga, A. y J. Bruinsma. 1976. Roles of seeds and auxins in tomato fruit growth. Z. Pflanzenphysiol. 80, 95-104.
- Verma, L.R., V.K. Joshi. 2000. Postharvest technology of fruits and vegetables: An Overview. Indus Publishing Co., New Delhi. 1222 p.
- Villachica, H., 1996. Frutales y Hortalizas promisorios del Amazonas. Tratado de Cooperación Amazónica, Secretaría Pro Tempore, Lima, pp. 181–185.
- Villamizar, F., A. Ramírez y M. Meneses. 1993. Estudio de la caracterización física, morfológica y fisiológica poscosecha de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). Agro-Desarrollo 4(1-2), 305-319.
- Villarreal, N.M., H. G. Rosli, G. A. Martínez, P. M. Civello. 2008. Polygalacturonase activity and expression of related genes during ripening of strawberry cultivars with contrasting fruit firmness, Postharvest Biology and Technology 47 (2008) 141–150.
- Villavicencio L. E., S.M. Blankenship y G.C. Yencho. 2004. Skin adhesion in sweetpotato and its lack of relationship to polygalacturonase and pectinmethylesterase during storage Postharvest Biology and Technology 32,183–192.
- Vicente, A. R., M. Saladié, J. KC Rose, J. M. Labavitch. 2007. The linkage between cell wall metabolism and fruit softening: looking to the future, J Sci Food Agric 87,1435-1448.
- Miraflores Boyacá. Disponible en [http://es.wikipedia.org/wiki/Miraflores\\_\(Boyac%C3%A1\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Miraflores_(Boyac%C3%A1)). Consulta: 11/06/09.
- Wachowicz, C.M.; Carvalho, R.I.N. (Org) Fisiologia vegetal e pós-colheita. Curitiba : Champagnat, 2002. 424 p.
- Wakabayashi, K., J. Chun, D.J. Huber. 2000. Extensive solubilization and depolymerization of cell wall polysaccharides during avocado (*Persea Americana*)

ripening involves concerted action of polygalacturonase and pectinmethylesterase. *Physiol. Plantarum* 108, 345–352.

- Warrilow A.G.S., M.G. Jones 1994. Different Forms of Tomato Pectinesterase Have Different Kinetic Properties. *Phytochem.* 39,277-282.
- Wills, R.B.H., W.B. Mcglasson, D. Graham, D.C. Joyce. 2007. *Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals*. 5. ed. Wallingford: New South Wales University, 227 p.
- Wills, R., B. McGlasson, D. Graham y D. Joyce. 1998. *Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals*. CAB International, Nueva York. 262 p.
- WMO. 1993. *Practical use of agrometeorological data and information for planning and operational activities in agriculture*. WMO. Publication N° 60. Geneva.
- www.siamazonia.org.pe, 2011. Cultivos de frutales nativos amazonicos: Palillo. En: <http://www.siamazonia.org.pe/archivos/publicaciones/amazonia/libros/51/5100003a.htm>. Consulta 16-02-11.
- Yamaki, S. 1984. Isolation of vacuoles from immature apple fruit mesocarp and compartmentation of sugars, organic acids, phenolic compounds, and amino acids. *Plant Cell Physiol.* 25, 151–166.
- Yuri, J.A., J. González, J. Verdugo, A. del Pozo. 2011. Responses of fruit growth, quality, and productivity to crop load in apple cv. Ultra Red Gala/MM111, *Scientia Horticulturae* 127, 305–312.
- Zhang, P.R., R.L. Whistler, J.N. Bemiller, B.R. Hamaker. 2005. Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility. A review. *Carbohydrate Polymers* 59,443-458.
- Zor, T., Z. Selinger. 1996. Linearization of the Bradford Protein Assay Increases its Sensitivity: Theoretical and Experimental Studies. *Anal Biochem.* 36,302-308.