

ESTUDIO DE ALGUNOS CAMBIOS BIOQUÍMICOS DURANTE EL CRECIMIENTO Y HASTA LA COSECHA DEL FRUTO DE CHAMPA (*Campomanesia lineatifolia* R. & P. Familia MYRTACEAE)¹

HELBER ENRIQUE BALAGUERA-LÓPEZ² Y ANÍBAL HERRERA ARÉVALO³

RESUMEN - La champa es una especie de la familia Myrtaceae cuyo fruto es muy apetecido por los consumidores, debido a su exquisito sabor y aroma. El objetivo de esta investigación fue realizar el estudio de algunos cambios bioquímicos durante el crecimiento y hasta la cosecha del fruto de champa, en el municipio de Miraflores, Boyacá-Colombia. Se marcaron flores de 30 árboles seleccionados al azar. Se hicieron cinco muestreos desde el día 26 después de la floración hasta la cosecha. Se llevó registro de la temperatura para calcular la acumulación de grados calor día (GDC). En el período de floración a cosecha del fruto (145 días) se acumularon 1489,1 GDC. Previo a la cosecha los azúcares aumentaron y los ácidos disminuyeron, pero su concentración fue elevada. Se detectó sacarosa (mayor concentración), fructosa y glucosa, ácidos cítrico (predominante en la cosecha), succínico, málico y oxálico. La actividad poligalacturonasa inició desde los 582,06 GDC y aumentó hasta la cosecha. La tasa respiratoria fue alta al inicio y disminuyó hasta los 1422,8 GDC, punto que coincide con la madurez fisiológica, en este momento también se detectó producción de etileno. Los frutos de champa presentaron alta acidez y un representativo contenido de azúcares que determinan su sabor característico.

Términos para indexación: azúcares, ácidos orgánicos, actividad poligalacturonasa, respiración, etileno.

BIOCHEMICAL CHANGES DURING GROWTH AND UNTIL HARVEST OF CHAMPA (*Campomanesia lineatifolia* R. & P. MYRTACEAE family) FRUIT

ABSTRACT - The champa is a species belonging to the Myrtaceae family which fruit is very desired by consumers due to its exquisite flavor and aroma. The objective of this research was to study some biochemical changes during growth and until harvest of champa fruits in the municipality of Miraflores, Boyacá-Colombia. Flowers of 30 selected trees were marked randomly. Five samplings were performed from day 26 after flowering until harvest. Temperature was recorded to calculate degree days (DD). In the period from flowering to fruit harvest (145 days) accumulated 1489.1 DD. Prior to harvest sugars increased and acids decreased but their concentration was high. Sucrose (highest concentration), fructose, glucose, and citric (predominant at harvest), succinic, malic and oxalic acids were detected. Polygalacturonase activity started from 582.06 DD and increased until harvest. The respiratory rate was high at the beginning and decreased to 1422.8 DD, a point that coincides with the physiological maturity, at this moment ethylene production was also detected. The fruits presented high acidity and a representative sugar content which determine its characteristic flavor.

Index terms: sugars, organics acids, poligalacturonase activity, respiratory rate, ethylene.

¹(Trabalho 270-11). Recebido em: 08-11-2011. Aceito para publicação em: 29-02-2012.

²A. MSc. Estudiante doctorado en Ciencias Agropecuarias Área Agraria. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. E-mail: enrique_balaguera@yahoo.com

³Profesor Asociado Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. E-mail: aoherrera@bt.unal.edu.co

INTRODUCCIÓN

La champa (*Campomanesia lineatifolia* R. & P., familia Myrtaceae [BONILLA et al. 2005]), es una especie frutal cultivada en la región de Lengupá Boyacá-Colombia. Crece a temperaturas de 22 a 30°C, con precipitaciones superiores a 1.500 mm anuales y necesita suelos de texturas francas a arcillosas. El árbol inicia la producción aproximadamente a los 5 años y puede ser productivo por más de 20 años (BALAGUERA, 2011; BALAGUERA-LOPEZ et al., 2009; VILLACHICA, 1996). El fruto es una baya altamente perecedera, ligeramente achatada con un peso cercano a los 25 g, con abundante pulpa jugosa, dulce acidulada y con corteza amarilla en estado maduro (ÁLVAREZ-HERRERA et al., 2009a; BALAGUERA-LÓPEZ et al., 2009).

De acuerdo con Almeida et al. (1998), los desafíos para la explotación de frutas nativas son grandes, pero existe al respecto un gran potencial, 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 una especie que recientemente se está introduciendo en los mercados nacionales de Colombia, tiene alto potencial de comercialización, principalmente por su agradable sabor y aroma, que generan gran aceptación entre los consumidores en cualquiera de sus presentaciones o productos derivados (jugos, cremas, mermeladas, licores, helados, dulces, entre otros), situación que la puede hacer competitiva frente a otras frutas (ÁLVAREZ-HERRERA et al., 2009a; BALAGUERA-LÓPEZ et al., 2009; LÓPEZ y RODRÍGUEZ, 1995).

Las investigaciones sobre este cultivo son muy escasas. 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 a expresar los aromas y sabores característicos de la champa en todos los estadios de crecimiento del fruto. Balaguera-López et al. (2009) avanzaron sobre el crecimiento y el desarrollo del fruto, y encontraron que desde la floración hasta la cosecha el fruto tardó 160 días, también observaron que la acumulación de masa fresca y seca siguió una curva sigmoideal simple, con una fase de lento crecimiento al inicio, seguida de una fase de rápida acumulación de masa que precede a la fase de maduración del fruto. Respecto al comportamiento bioquímico del fruto, Álvarez-Herrera et al. (2009a) y Balaguera-López et al. (2009) concuerdan en reportar que a medida que el fruto creció y se desarrolló, aumentó los sólidos solubles totales, el pH y la relación de madurez, mientras que

la acidez total titulable disminuyó. Adicionalmente, Álvarez-Herrera et al. (2009a) mencionan que el azúcar predominante en los frutos de champa es la sacarosa. Sin embargo, las variables medidas todavía no esclarecen el comportamiento del fruto, lo mismo ocurre con el estudio poscosecha realizado por Álvarez-Herrera et al. (2009b). Por tanto, los vacíos en el conocimiento de esta especie aún son grandes, principalmente a nivel bioquímico.

Durante el desarrollo de los frutos, son muchos los cambios bioquímicos importantes que se presentan, algunos de ellos son la tasa respiratoria, la producción de etileno, la actividad poligalacturonasa (PG), los azúcares solubles y los ácidos orgánicos, entre otros. La respiración es el proceso por el cual los compuestos altamente energéticos (ATP) y reductores (NADH₂) son formados a partir de la oxidación de carbohidratos y otros sustratos, para ser utilizados esencialmente en la síntesis de nuevas sustancias (GALHO et al., 2007) durante el desarrollo del fruto. El etileno es la hormona encargada de regular un gran número de procesos que conllevan a la maduración y senescencia de los frutos (BAPAT et al., 2010). La PG es una de las enzimas con mayor implicación en el ablandamiento de los frutos. Esta enzima cataliza la ruptura hidrolítica de los enlaces de galacturonidos en la matriz de pectina (VILLAVICENCIO et al., 2004). Además la PG junto con otras enzimas, participa en los cambios que le confieren características sensoriales de color, aroma, sabor y textura a los frutos (BOWERS, 1992; MENÉNDEZ et al., 2006). Por su parte, los azúcares y los ácidos orgánicos son compuestos con importante función en el metabolismo, sabor y calidad y son los principales sustratos respiratorios (KAYS, 2004; KADER, 2002). Los ácidos orgánicos son precursores del metabolismo secundario que da origen a compuestos involucrados en la maduración de los frutos (KAYS, 2004).

El objetivo de esta investigación fue realizar el estudio de algunos cambios bioquímicos durante el crecimiento y hasta el momento de la cosecha del fruto de champa, bajo condiciones agroecológicas del municipio de Miraflores, Boyacá-Colombia, con el fin de ampliar el conocimiento sobre el comportamiento bioquímico de dicho fruto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en el año 2009, la fase de campo se llevó a cabo en la finca “El Mango” de la vereda Ayatá en el municipio de Miraflores, departamento de Boyacá, Colombia, situado a 5°11'40" de latitud norte y a 73°08'44" de longitud oeste, a 1432 msnm con una precipitación entre 2000

y 3000 mm, de tipo monomodal y comprendido entre los meses de abril a septiembre. Durante el experimento la temperatura media fue de $22,27 \pm 0,07$ °C, con mínima y máxima promedios de $19,18 \pm 0,5$ °C y $27,96 \pm 0,76$ °C, respectivamente y humedad relativa de $80,08 \pm 0,03\%$. Los análisis bioquímicos fueron realizados en los laboratorios del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA), en el laboratorio de Frutas Tropicales de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá-Colombia y en el laboratorio del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi (Bogotá-Colombia).

Se tomaron 30 árboles completamente al azar de un cultivo comercial de aproximadamente 10 años de edad (no existe reportes de las variedades); en el momento de plena floración, de cada árbol se seleccionaron y marcaron individualmente 100 flores. Se hicieron cinco muestreos aproximadamente cada mes, desde el día 26 después de la floración (ddf; momento en el que el tamaño del fruto permitió realizar las diferentes mediciones) hasta la cosecha (145 ddf; frutos con epidermis 100% amarilla). En cada muestreo, los frutos fueron recolectados manualmente del árbol, se empacaron en un termo de isopor y posteriormente fueron transportados al laboratorio para los respectivos análisis. Se cuantificó el contenido de azúcares solubles (sacarosa, fructosa y glucosa) y ácidos orgánicos (cítrico, málico, oxálico y succínico) mediante cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) de acuerdo con ICTA (2006) y Ávila et al. (2007). La actividad de la poligalacturonasa fue medida de acuerdo con Espinal (2010) y expresada en nmol de ácido galacturónico por mg de proteína, por segundo (nmol APG mg^{-1} de proteína s^{-1}); y la tasa respiratoria y producción de etileno a través de cromatografía de gases, siguiendo la metodología descrita por Hernández et al. (2007).

El tiempo fisiológico expresado en la acumulación de grados calor día (GDC) desde la floración, se calculó con la fórmula utilizada por Almanza et al. (2010):

$$GDC = \left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) \cdot T_{\text{base}}$$

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

Cada variable se determinó por triplicado y

con los datos obtenidos se realizó un análisis descriptivo y gráfico el comportamiento de las variables en función del tiempo fisiológico (GDC) y cronológico (días después de floración), mediante la utilización del software SAS v. 8.1e (Cary, N.C).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Azúcares solubles

Durante el desarrollo del fruto de champa, el azúcar predominante fue la sacarosa, seguido de fructosa y glucosa, lo cual difiere de lo encontrado en frutos de otras especies de mirtáceas, como el arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh [HERNÁNDEZ et al., 2007] y la feijoa (*Acca sellowiana* Berg [RODRÍGUEZ et al., 2006]), en los que el azúcar predominante es la fructosa. El contenido de sacarosa tuvo variaciones poco significativas entre los 286,17 GDC (26 ddf) y los 1144,49 GDC (110ddf) con un promedio de $4,52 \text{ mg g}^{-1}$ de masa fresca de fruto (MF). Sin embargo, en el momento de la cosecha (1489,1 GDC) aumentó considerablemente y alcanzó una concentración de $61,42 \text{ mg g}^{-1}$ MF. Los contenidos de fructosa y glucosa tuvieron un comportamiento similar a la sacarosa, pero en la cosecha los valores obtenidos fueron 18,15 y $8,89 \text{ mg g}^{-1}$ MF (Figura 1A). El contenido total de estos azúcares solubles fue similar a lo reportado para feijoa (RODRÍGUEZ et al., 2006), e indica que la champa tiene un contenido representativo de azúcares solubles, que posiblemente está determinando su sabor característico. Sin embargo, este contenido fue superior al reportado para esta misma especie y estadio de madurez y otra combinación de factores ambientales (ÁLVAREZ-HERRERA et al., 2009a), donde el contenido de estos tres azúcares no superó los $0,5 \text{ mg g}^{-1}$ MF. Esto sugiere que la variabilidad genética, así como la interacción con el ambiente, la fertilización y el riego, entre otros, pueden afectar de manera diferencial el contenido de azúcares solubles de los frutos de champa.

Resultados similares fueron encontrados en arazá, donde sacarosa, fructosa y glucosa aumentaron sus niveles durante la maduración (HERNÁNDEZ et al., 2007). En feijoa permanecieron relativamente estables en esta misma fase (Rodríguez et al., 2006), pero en maracuyá la sacarosa disminuyó durante las etapas finales del desarrollo del fruto, incrementándose por el contrario la fructosa y la glucosa (MENÉNDEZ et al., 2006). El aumento en la concentración de azúcares solubles puede darse a partir de la degradación de polisacáridos como la pectina y el almidón durante la maduración de los frutos (KAYS, 2004; CAÑIZARES et al., 2003),

favoreciéndose principalmente la síntesis de sacarosa. El aumento de los azúcares solubles también puede ocurrir a partir de la degradación de los ácidos orgánicos (KAYS, 2004), los cuales disminuyeron antes de la cosecha (Figura 1B). Lowell et al. (1989) y Kubo et al. (2001) mencionan que el incremento de sacarosa también es posible por la traslocación de fotoasimilados desde las hojas durante el crecimiento del fruto y que está directamente relacionado con el aumento en la actividad de la sacarosa fosfatasa sintetasa y la disminución de la invertasa.

Ácidos orgánicos

Entre los ácidos orgánicos, el ácido succínico fue el de mayor concentración durante el crecimiento de los frutos de champa con un pico máximo de 56,67 mg g⁻¹ MF a los 856,9GDC (82ddf). Posteriormente se redujo hasta el momento de la cosecha, donde presentó un valor inferior al del ácido cítrico, con 2,96 mg g⁻¹ MF. El ácido cítrico se incrementó paulatinamente hasta los 1144,5GDC (110ddf), momento en el que se convirtió en el ácido predominante del fruto (19,75 mg g⁻¹ MF); no obstante, mostró un leve descenso hasta la cosecha alcanzando una concentración de 14,04 mg g⁻¹ MF. El ácido málico presentó el mayor contenido a los 582,06GDC (54ddf) con 14,62 mg g⁻¹ MF, luego disminuyó rápidamente hasta la cosecha. El ácido oxálico fue el de menor concentración y mostró un descenso continuo desde los 582,06GDC hasta la cosecha con concentraciones de 4,40 mg g⁻¹ MF a 0,73 mg g⁻¹ MF respectivamente (Figura 1B).

La cantidad de ácidos orgánicos presentes en el fruto de champa fue superior a la reportada en arazá por Hernández et al. (2007). Estos mismos autores reportan que durante la fase de maduración de los frutos de arazá, los ácidos málico, cítrico y succínico disminuyeron gradualmente, similar a lo observado en champa. Dicha disminución se debe a que estos ácidos posiblemente se transformaron en azúcares solubles, fueron respirados o participaron en la síntesis de metabolitos secundarios propios de la maduración del fruto (KAYS, 2004). Conde et al. (2007) mencionan que se puede presentar transformación del ácido málico en azúcares solubles, este proceso probablemente se puede estar llevando a cabo en los frutos de champa y podría explicar la disminución del ácido málico.

Al comparar los resultados obtenidos en los frutos de champa en la cosecha con lo reportado por Kelebek (2010) para pomelos (*Citrus paradisi*), se observa que estos presentaron mayor contenido de ácido cítrico, málico, mientras que los ácido oxálico y succínico fueron mayores en los frutos de champa.

En frutos de dos cultivares de jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) fue observada la predominancia del ácido succínico por sobre los otros ácidos, especialmente en estados tempranos (JHAM et al., 2007); esta predominancia también fue observada en el caso de los frutos de champa, aunque la concentración absoluta fue menor. La reducción del contenido de ácido succínico a partir de los 582,06 GDC puede deberse al incremento de la actividad de la enzima succinato deshidrogenasa, que cataliza el paso de ácido succínico a ácido fumárico para que continúe el ciclo de los ácidos tricarbónicos (TAIZ y ZEIGER, 2002). La continuación de este ciclo puede también estar generando aumento en el contenido del ácido cítrico, lo que explicaría su incremento, mientras que en la disminución de este ácido al final de la maduración 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, estadios de desarrollo y tipos de tejidos. La acidez tiene importante función en las propiedades organolépticas de los tejidos vegetales, donde el sabor depende de la presencia de un ácido específico. Estos mismos autores mencionan que 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 contribuye a un sabor distinto. Los tipos de ácidos y azúcares encontrados en los frutos de champa, así como la concentración representativa de los mismos, confirmaría lo reportado por Álvarez-Herrera et al. (2009a), quienes mencionan que estos frutos se caracterizan por su sabor dulce acidulado.

Actividad poligalacturonasa

Se observó actividad de la enzima poligalacturonasa (PG) desde los 582,06 GDC en adelante, iniciándose con 9,42 nmol APG mg⁻¹ de proteína s⁻¹ (UPG). Dicha actividad fue aumentando con el desarrollo de los frutos de champa siguiendo un polinomio de segundo grado, de tal manera que a la cosecha la actividad fue 68,83 UPG (Figura 2A). Estos resultados concuerdan con los encontrados en uchuva (*Physalis peruviana* L.) por Majumder y Mazumdar (2002), cuando en el primero de seis estadios de desarrollo no se observó actividad PG, y luego ésta aumentó progresivamente hasta el último de los estadios.

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 de los frutos de champa, posiblemente sería otra explicación del aumento de los azúcares. Majumder y Mazumdar (2002) 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 se detectó producción de etileno en los primeros estadios de desarrollo del fruto (Figura 2B).

Por otro lado, el aumento de la PG también puede estar asociado con la pérdida de firmeza que caracteriza a los frutos de champa (ÁLVAREZ-HERRERA et al., 2009a; BALAGUERA-LÓPEZ et al., 2009), debido a su implicación en el ablandamiento de los frutos (VILLAVICENCIO et al., 2004), también es posible que esté relacionada con el rápido crecimiento de los frutos de champa en la segunda fase de desarrollo (BALAGUERA, 2011; BALAGUERA-LÓPEZ et al., 2009), pues esta enzima también puede estar implicada en la expansión celular.

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).

Tasa respiratoria y producción de etileno

La tasa respiratoria fue elevada desde el comienzo de las mediciones (282,27 GDC) y disminuyó continuamente hasta los 1422,8 GDC (138 ddf) donde presentó su valor más bajo, correspondiente a 80,14 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, lo que indica la madurez fisiológica. No obstante, la disminución fue más drástica desde la formación del fruto a los 582,1 GDC. En el momento de la cosecha la respiración se incrementó a 92,69 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. Respecto a la producción de etileno, se detectó a partir de los 1422,8 GDC y aumentó hasta la cosecha con un valor de 7,66 μL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹ (Figura 2B). Los incrementos observados en la cosecha, tanto de respiración como de etileno, pueden estar indicando el inicio del estado preclimático de los frutos de champa, pues se sabe con certeza que estos frutos presentan comportamiento climatérico (BALAGUERA, 2011; ÁLVAREZ et al., 2009b).

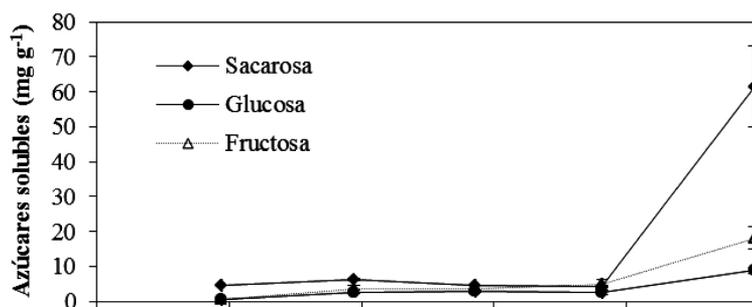
La alta tasa respiratoria en frutos jóvenes se presenta por su activo crecimiento en fases tempranas (GILLASPY et al., 1993). Una reducción en la tasa de respiración también fue encontrada durante el desarrollo de frutos de guabiroba (*Campomanesia pubescens* [SILVA et al., 2009]) y arazá (HERNÁNDEZ 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 encontrados en los frutos de champa, con una marcada diferencia en el comportamiento de la curva, pues en guayaba se presenta un comportamiento cuadrático, con un aumento representativo hacia la mitad del desarrollo.

Wachoawicz y Carvalho (2002) mencionan que en general, 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. El fruto de champa alcanzó la madurez fisiológica a los 1422,84 GDC (138ddf), pues en este punto presentó la menor tasa respiratoria y ya se encontraba fisiológicamente listo para ser cosechado a pesar de que el color de la epidermis aún era completamente verde.

El resultado encontrado para etileno concuerda con lo reportado por Majumder y Mazumdar (2002) quienes no observaron presencia de etileno en el primero de seis estadios de crecimiento del fruto de uchuva y lo atribuyen a que posiblemente las bajas cantidades de etileno que se producen en los primeros estadios de crecimiento son apenas difundidas por los tejidos del fruto y no alcanzan a salir a su exterior para poder 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 en el momento de la cosecha (99 ddf).

A



B

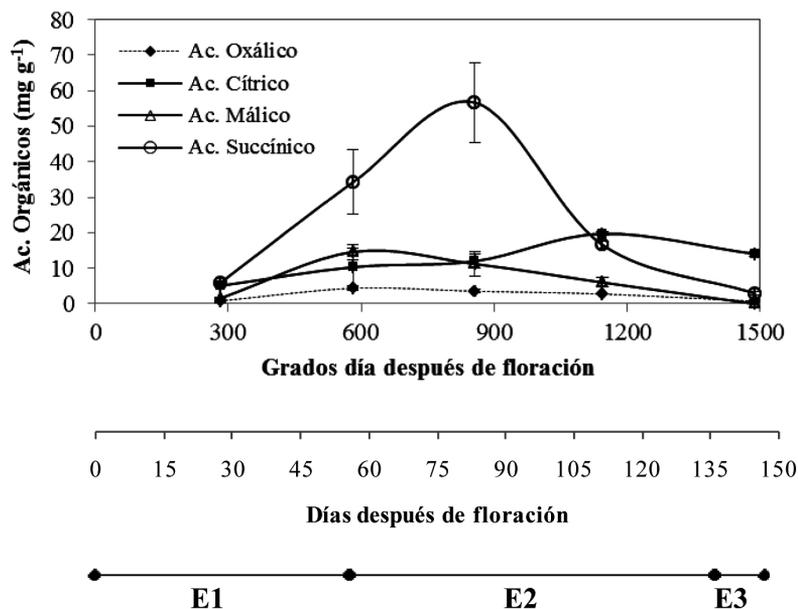


FIGURA 1 - A. Azúcares solubles (mg g⁻¹ de MF) y B. Ácidos orgánicos (mg g⁻¹ de MF) durante la pre-cosecha de frutos de champa en función de la acumulación de grados calor día y del tiempo cronológico. Las barras verticales indican el error estándar (n=3). Estados de desarrollo del fruto: E1. División celular, E2. Elongación celular, E3. Maduración.

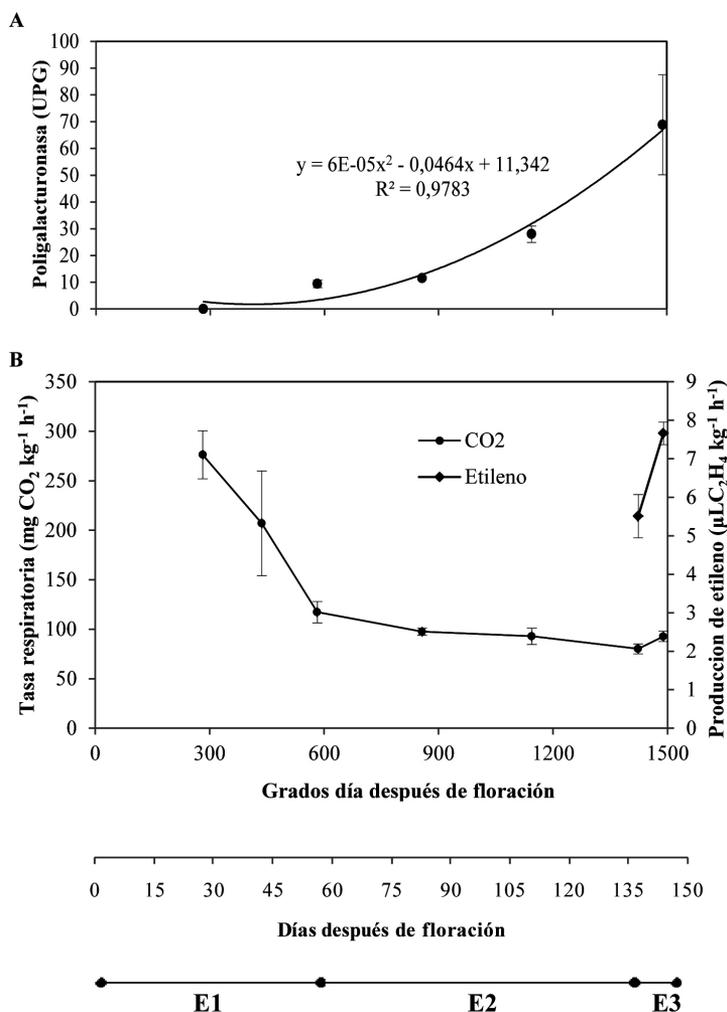


FIGURA 2 - A. Actividad poligalacturonasa (nmol APG mg⁻¹ proteína s⁻¹) y B. Tasa respiratoria (mg CO₂ Kg⁻¹ h⁻¹) y producción de etileno (µL C₂H₄ Kg⁻¹ h⁻¹) durante la precosecha de frutos de champa en función de la acumulación de grados calor día y del tiempo cronológico. Las barras verticales indican el error estándar (n=3). Estados de desarrollo del fruto: E1. División celular, E2. Elongación celular, E3. Maduración.

CONCLUSIONES

El fruto de champa presentó alto contenido de azúcares solubles y ácidos que posiblemente determinan su sabor característico. El azúcar predominante en este fruto fue la sacarosa, seguido de la fructosa y la glucosa. El ácido succínico presentó una concentración alta hacia la mitad del desarrollo del fruto, y junto con los ácidos málico y oxálico disminuyeron hasta la cosecha; el ácido cítrico fue el predominante durante la maduración de los frutos. La actividad de la enzima PG se observó desde los 582,06 GDC aumentando durante el desarrollo del fruto de champa. La tasa respiratoria fue alta en el primer estadio de desarrollo pero disminuyó conti-

nuamente y alcanzó su valor más bajo a los 1422,8 GDC (138 ddf) indicando la madurez fisiológica del fruto, en este momento también se detectó la producción de etileno.

AGRADECIMIENTOS

A la dirección de investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia-Bogotá (DIB) por la financiación de esta investigación. A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) y COLCIENCIAS, por el programa de jóvenes investigadores, del cual hizo parte Helber Enrique Balaguera López.

REFERENCIAS

- ALMANZA, M.P.J.; QUIJANO-RICO, M.A.; FISCHER, G.; CHAVES, B.; BALAGUERA-LÓPEZ, H.E. Physicochemical characterization of 'Pinot Noir' grapevine (*Vitis vinifera* L.) fruit during its growth and development under high altitude tropical conditions, **Agronomía Colombiana**, Bogotá, v.28, n.2, p.173-180, 2010.
- ALMEIDA, S.P.; PROENCA, C.E.B.; SANO, S.M.; RIBEIRO, J.F. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. Planaltina: Embrapa/CPAC, 1998. p.464.
- ÁLVAREZ-HERRERA, J.G.; BALAGUERA-LÓPEZ, H.E.; CÁRDENAS, J.F. Caracterización fisiológica del fruto de champa (*Campomanesia lineatifolia* Ruiz. & Pavón), durante la poscosecha **Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica**, Calle, v.12, n.2, p.125-134, 2009b.
- ÁLVAREZ-HERRERA, J.G.; GALVIS, J.A.; BALAGUERA-LÓPEZ, H.E. Determinación de cambios físicos y químicos durante la maduración de frutos de champa (*Campomanesia lineatifolia* R. & P.), **Agronomía Colombiana**, Bogotá, v.27, n.2, p.253-259, 2009a.
- BALAGUERA, H.E. **Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto de champa (*Campomanesia lineatifolia* R. & P.) y determinación del punto óptimo de cosecha**, 2011. 151 f. Tesis (Maestría en Ciencias Agrarias) - Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2011.
- BALAGUERA-LÓPEZ, H.E.; ÁLVAREZ-HERRERA, J.G.; BONILLA, D.C. Crecimiento y desarrollo del fruto de champa (*Campomanesia lineatifolia* Ruiz & Pavón), **Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica**, Calle, v.12, n.2, p.113-123, 2009.
- BAPAT, V.A.; TRIVEDI, P.K.; GHOSH, A.; SANE, V.A.; GANAPATHI, T.R.; NATH, P. Ripening of fleshy fruit: Molecular insight and the role of ethylene. **Biotechnology Advances**, New York, v.28, p.94-107, 2010.
- BONILLA, A.; DUQUE, C.; GARZÓN, C.; TAKAISHI, Y.; YAMAGUCHI, K.; HARA, N.; FUJIMOTO, Y. Champanones, yellow pigments from the seeds of champa (*Campomanesia lineatifolia*). **Phytochemistry**, New York, v.66, p.1736-1740, 2005.
- BOWERS, J. **Food theory and applications**. New York: Macmillan, 1992. p.952
- CAÑIZARES, A.; LAVERDE, D.; PUESME, R. Crecimiento y desarrollo del fruto de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Santa Bárbara, Estado Monagas, Venezuela. **Revista UDO Agrícola**, Venezuela, n.3, v.1, p.34-38, 2003.
- CONDE, C.; SILVA, P.; FONTES, N.; DIAS, A.C.P.; TAVARES, R.M.; SOUSA, M.J.; AGASSE, A.; DELROT, S.; GERÓS, H. Biochemical changes throughout grape berry development and fruit and wine quality. **Food**, Kagawa, v.1, n.1, p.1-22, 2007.
- ESPINAL, M. **Capacidad antioxidante y ablandamiento de la guayaba palmira ICA I (*Psidium guajava*)**. 2010. 141 f. Tesis (Maestría en Ciencias Químicas) - Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 2010.
- GALHO, A.S.; LOPES, N.F.; BACARIN, M.A.; LIMA, M.D. Composição química e respiração de crescimento em frutos de *Psidium Cattleianum* sabine durante o ciclo de desenvolvimento. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.061-066, 2007.
- GALVIS, J.A.; HERNÁNDEZ, M.S. Análisis del crecimiento y determinación del momento oportuno de cosecha del fruto de arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh). **Colombia Amazónica**, Bogotá, v.6, p.107-121. 1993.
- GARCÍA, H.E.; PEÑA, V.C. **La pared celular: componente fundamental de las células vegetales**. 1995. 75 f. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, 1995. p.75.
- GILLASPY, G.; BEN-DAVID, H.; GRUISSEM, W. Fruits: a developmental perspective. **Plant Cell**, Rockville, v.5, p.1439-1451, 1993.
- HERNÁNDEZ, M.S.; MARTÍNEZ, O.; FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J.P. Behavior of arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) fruit quality traits during growth, development and ripening. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.111, p.220-227, 2007.
- ICTA - Instituto Colombiano de Ciencia y Tecnología de Alimentos. **Manual de procedimientos-frutas**. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2006. p.21.
- JHAM, G.N.; FERNANDES, S.; GARCIA, C. Comparison of GC and HPLC for quantification of organic acids in two jaboticaba (*Myrciaria*) fruit varieties, **Química Nova**, São Paulo, v.30, n.7, p.1529-1534, 2007.
- KADER, A. A. **Postharvest technology of horticultural crops**, University of California (System). 3rd ed. Oakland: ANR Publications, 2002. p.535

- KAYS, S. **Postharvest biology**. Athens: Exon Press, 2004. 568 p.
- KELEBEK, H. Sugars, organic acids, phenolic compositions and antioxidant activity of Grapefruit (*Citrus paradisi*) cultivars grown in Turkey. **Industrial Crops and Products**, Fargo, v.32, p.269-274, 2010.
- KUBO, T.; HOHJO, I.; HIRATSUKA, S. Sucrose accumulation and its related enzyme activities in the juice sacs of satua mandarin fruit from trees with different crop loads. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.91, p.215-225, 2001.
- KUBO, T.; KIHARA, T.; HIRABAYASHI, T. The effects of spraying lead arsenate on citrate accumulation and the related enzyme activities in the juice sacs of *Citrus natsudiadai*. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, Tokyo, v.71, p.305-310. 2002.
- LÓPEZ, M.; RODRÍGUEZ, J. **Diagnóstico del mercadeo de la champa en el Municipio de Miraflores Boyacá**. 1995. 86 f. Trabajo (Grado para Tecnólogo en Mercadeo) - Instituto de Educación Abierta y a distancia. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, 1995.
- LOWELL, C.; TOMLINSON, P.; KOCH, K. Sucrose-metabolizing enzymes in transport tissues and adjacent sink structures in developing citrus fruit. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.90, p.1394-1402, 1989.
- MAJUMDER, K.; MAZUMDAR, B.C. Changes of pectic substances in developing fruits of capegooseberry (*Physalis peruviana* L.) in relation to the enzyme activity and evolution of ethylene, **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.96, p.91-101, 2002.
- MENÉNDEZ, O.; LOZANO, S.E.; ARENAS, M.; BERMÚDEZ, K.A.; MARTÍNEZ, A.; JIMÉNEZ, A. Cambios en la actividad de α -amilasa, pectinmetil-esterasa y poligalacturonasa durante la maduración del maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* VAR. FLAVICARPA DEGENER). **Interciencia**, Caracas, v.31, n.10, p.728-733, 2006.
- OSORIO, C.; ALARCÓN, M.; MORENO, C.; BONILLA, A.; BARRIOS, J.; GARZÓN, C.; DUQUE, C. Characterization of Odor-Active Volatiles in Champa (*Campomanesia lineatifolia* R. & P.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v.54, n.2, p.509-516, 2006.
- OTERO-SÁNCHEZ, M.A.; BECERRIL, R.A.E.; CASTILLO, M.A.; MICHEL, A.C.; ARIZA, T.R.; BARRIOS, A.A.; REBOLLEDO, M.A. Producción de ilama *Annona diversifolia* Saff. En el trópico seco de Guerrero. **Revista Chapingo Serie Horticultura**, Chapingo, v.12, n.2, p.137-143, 2006.
- RODRÍGUEZ, M.; ARJONA, H.E.; CAMPOS, H.A. Caracterización fisicoquímica del crecimiento y desarrollo de los frutos de feijoa (*Acca sellowiana* Berg) en los clones 41 (Quimba) y 8-4. **Agronomía Colombiana**, Bogotá, v.24, n.1, p.54-61, 2006.
- SALAZAR, D.M.; MELGAREJO, P.; MARTÍNEZ, R.; MARTÍNEZ, J.J.; HERNÁNDEZ F.; BURGUERA, M. Phenological stages of the guava tree (*Psidium guajava* L.) **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.108, n.2, p.157-161, 2006.
- SILVA, E.P.; VILAS BOAS, E. V. de B.; RODRIGUES, L.J.; SIQUEIRA, H.H. Caracterização física, química e fisiológica de gabioba (*Campomanesia pubescens*) durante o desenvolvimento. **Ciência Tecnologia Alimentos**, Campinas, v.29, n.4, p.803-809, 2009.
- SWEETMAN, C.; DELUC, L.; CRAMER, G.; FORD, C.; SOOLE, K. Regulation of malate metabolism in grape berry and other developing fruits, **Phytochemistry**, New York, v.70, n.11-12, p.1329-1344, 2009.
- TADESSE, T.; HEWETT, E.W.; NICHOLS, M.A.; FISHER, K.J. Changes in physicochemical attributes of sweet pepper cv. Domino during fruit growth and development. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.93, p.91-103, 2002.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3rd ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. 792 p.
- VILLACHICA, H. **Frutales y hortalizas promisorios del Amazonas**: tratado de cooperación amazónica. Lima: Secretaría Pro Tempore, 1996. p. 181-185.
- VILLARREAL, N.M.; ROSLI, H.G.; MARTÍNEZ, G.A.; CIVELLO, P.M. Polygalacturonase activity and expression of related genes during ripening of strawberry cultivars with contrasting fruit firmness. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.47, p.141-150, 2008.
- VILLAVICENCIO, L.E.; BLANKENSHIP, S.M.; YENCHO, G.C. Skin adhesion in sweetpotato and its lack of relationship to polygalacturonase and pectinmethylesterase during storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.32, p.183-192, 2004.
- WACHOWICZ, C.M.; CARVALHO, R.I.N. (Org.). **Fisiologia vegetal e pós-colheita**. Curitiba: Champagnat, 2002. 424 p.