

Crecimiento y desarrollo del fruto de mandarina (*Citrus reticulata*) 'Arrayana' en condiciones del piedemonte del Meta, Colombia

Growth and development of mandarin (*Citrus reticulata*) 'Arrayana' fruit in conditions of Piedmont of Meta, Colombia



JAVIER ORLANDO ORDUZ-RODRÍGUEZ^{1,4}

HERNÁN MONROY²

GERHARD FISCHER³

ANÍBAL HERRERA A.³

Frutos de la mandarina 'Arrayana', recién cosechados y embalados; C.I. La Libertad, Corpoica, Villavicencio.

Foto: J.O. Orduz-Rodríguez

RESUMEN

Las tasas de crecimiento y desarrollo, características externas y la calidad del fruto están determinadas por las condiciones climáticas de la región y por la variedad cultivada. Para conocer el crecimiento y desarrollo del fruto de la mandarina (injertada sobre Cleopatra) bajo las condiciones climáticas del trópico bajo, del piedemonte del departamento del Meta en Colombia, se evaluaron el crecimiento del fruto, la acumulación de materia seca, la tasa relativa de crecimiento del fruto (TRC). Con esta información se determinaron las fases de crecimiento del fruto; además, se registraron los cambios de las principales características fisicoquímicas durante el desarrollo de los frutos. Cada 15 días, a partir de la décima semana después de la antesis, se llevaron registros de diámetro, volumen y peso del fruto. A partir de la semana 32 después de la antesis se midieron el contenido de sólidos solubles totales (SST), la acidez total titulable (ATT), el contenido de jugo de los frutos y se calculó el índice de madurez ($IM = SST/ATT$). Con base en las tasas de aumento de peso y la tasa relativa de crecimiento se determinaron las fases de crecimiento del fruto. El fruto alcanzó el tamaño final en la semana 30 después de la caída de pétalos, obteniendo la madurez de consumo entre las semanas 32 a 34 ($IM = 9$), con color de la corteza verde claro o verde con tonos amarillos. El desarrollo del fruto siguió una curva sigmoide y la duración de cada fase y el aumento de peso por semana fue la siguiente: fase I, 5 semanas; fase II, 21 semanas con ganancia de materia seca de $7,42 \text{ g semana}^{-1}$ y la fase III, 8 semanas con $3,64 \text{ g semana}^{-1}$. La disminución más drástica de la ATT y el mayor aumento del IM se observó entre la semana 32 y 34, mientras el contenido de jugo fue alrededor del 39%.

¹ Centro de Investigación La Libertad, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Villavicencio (Meta, Colombia).

² Compañía Agroindustrial de Semillas, Bogotá (Colombia).

³ Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

⁴ Autor para correspondencia. jorduz@corpoica.org.co

Palabras clave adicionales: trópico bajo, citricultura colombiana, calidad del fruto, fases de crecimiento del fruto.

ABSTRACT

The growth and development rates, external characteristics and quality of fruit are determined by the climatic conditions of the region and cultivated variety. In order to know the growth and development of fruits of mandarin 'Arrayana' grafted on Cleopatra stock, under climatic conditions of lowland tropics of the Piedmont of Meta state, the growth phases, accumulation of dry weight, and relative growth rate of fruits were determined. These data were used to determine the phases of fruit development. Diameter, volume and weight of fruits were registered each 15 days. Starting from the week 32 after anthesis, quality parameters (total soluble solids (TSS), total titratable acids (TTA) and juice content of fruits were analyzed, additionally the maturity index ($MI = TSS/TTA$) was calculated. Based on the data obtained for weight increase and relative growth rate, fruit growth phases were established. Fruits reached final size at week 30 after petal fall, obtaining consumption maturity between 32 and 34 weeks ($MI = 9$), with a light green or green with yellow overtone peel color. Fruit development followed a sigmoid curve and the duration of each phase and its weight increase per week were as follows: phase I, 5 weeks; phase II, 21 weeks with dry matter (DM) gain of 7.42 g week^{-1} , and phase III, 8 weeks with 3.64 g week^{-1} DM gain. The highest TTA reduction and increase of the MI were observed between week 32 and 34, while the juice content was about 39%.

Additional key words: tropical lowland, Colombian citriculture, fruit quality, development phases of fruit.

Fecha de recepción: 14-07-2009

Aprobado para publicación: 30-11-2009

INTRODUCCIÓN

Los cítricos se cultivan en casi todos los países entre los 40° N y S , aunque las principales regiones productoras del mundo están ubicadas en el subtropical entre los 25° y 40° de latitud en ambos hemisferios, lo que se conoce como los cinturones cítricos del mundo. Las mandarinas tienen una amplia adaptación a las condiciones climáticas; sin embargo, sus variedades son muy específicas en requerimientos climáticos para producir frutos de buena calidad. El cultivo de mandarina es subtropical y la producción en los trópicos es marginal sin participación importante en el mercado mundial. La mandarina 'Arrayana' es una variedad de agricultor, adaptada al trópico bajo, siendo la más cultivada en Colombia y fue introducida al piedemonte Llanero

en la década de 1940, proveniente de Santander (Orduz, 2007).

En las principales regiones productoras del subtropical, los ciclos anuales de crecimiento y desarrollo de las plantas cítricas están regulados por las modificaciones climáticas presentadas por la sucesión de las estaciones, lo que determina el comportamiento en crecimiento y desarrollo de las plantas cítricas; así como las características de calidad (internas y externas) de las frutas (Orduz, 2007). En las regiones tropicales, cerca al ecuador, no existen estaciones, la temperatura está determinada por la altitud y son relativamente constantes en el transcurso del año, al igual que la radiación que sufre peque-

ñas variaciones dependiendo de las modificaciones de la nubosidad. En condiciones tropicales la inducción floral se presenta por el estrés hídrico ocasionado por la ausencia de precipitaciones o por el retiro del riego (Reuther, 1973; Cassin *et al.*, 1969; Stover *et al.*, 2002; Orduz-Rodríguez y Fischer, 2007). Con el inicio de la temporada lluviosa o la aplicación de riego, se presenta la hidratación de las plantas, se inicia el proceso de desarrollo floral que continúa de forma ininterrumpida hasta el final de la antesis (caída de pétalos), sigue el cuajado, el crecimiento y desarrollo del fruto, y finalmente su madurez.

La transición del fruto desde el cuajado hasta la madurez tiene lugar en fases sucesivas, con características bien definidas, pero variables en duración, según las condiciones ambientales, especies y variedades (Agustí, 2004). En los cítricos, el desarrollo del fruto sigue una curva sigmoide, desde la antesis hasta la maduración (Davies y Albrigo, 1994), caracterizada por tres periodos bien diferenciados conocidos como fases: fase I o periodo de crecimiento exponencial, va desde el final de la antesis hasta la caída fisiológica de los frutos. En esta fase se presenta un rápido crecimiento del fruto originado por la división celular en la que se producen casi todas las células que van a constituir la fruta madura (Agustí, 2003). La duración de esta fase oscila entre un mes y un mes y medio dependiendo de las condiciones climáticas y del cultivar. Fase II, las células se diferencian en los diversos tipos de tejidos (sacos de jugo, albedo, flavedo, etc.); se presenta elongación celular y las vesículas se llenan de agua, azúcares y ácidos; y la fase III presenta una reducida tasa de crecimiento y comprende todos los cambios relacionados con la maduración (Agustí, 2008; Agustí *et al.*, 2004). En las regiones subtropicales, durante esta fase se presenta la degradación enzimática de las clorofilas del flavedo y se realiza la síntesis de carotenoides lo que está relacionado con las bajas temperaturas medias del invierno; lo que no se presenta en el trópico bajo.

Las mayores tasas de crecimiento del fruto se obtienen en los lugares donde el promedio de temperaturas es alta. Comparando zonas en países con citricultura, Reuther y Ríos-Castaño (1969) encontraron para el caso de la naranja Valencia que las mayores tasas de crecimiento se obtienen en Cartagena (Colombia) con más de 5.500 unidades anuales de calor acumulada (sumatoria de temperaturas medias diarias superiores a 12,5°C, considerado el cero biológico de los cítricos). En contraste, las tasas de crecimiento más bajas se dieron en Santa Paula (California), donde las temperaturas medias fueron menores que en todos los lugares evaluados y con menos de 2.000 unidades anuales de calor acumulada.

El tamaño final y las características internas y externas del fruto están determinados por un conjunto de factores endógenos y exógenos, y de la interrelación entre ellos. Agustí (2003) menciona como los principales factores endógenos: los aspectos genéticos, la posición del fruto y la competencia entre órganos en desarrollo (vegetativos y reproductivos); y dentro de los factores exógenos están, por una parte, los factores ambientales dentro de los cuales los más importantes son la temperatura, la precipitación y las características químicas y físicas del suelo; y por otra parte, las prácticas culturales como el riego, la fertilización y el patrón utilizado. La calidad de los frutos cítricos, en general, incrementa a medida que aumenta la humedad y el nivel de los nutrientes en el suelo de un rango deficiente a uno óptimo (Ritenour *et al.*, 2002).

Las características externas del fruto como el color de la corteza, la forma y las imperfecciones también son influidas por las condiciones climáticas. La clorofila se degrada a temperaturas menores de 15°C y los cloroplastos se convierten en cromoplastos que contienen pigmentos anaranjados rojizos y amarillos (carotenoides, licopenos, etc.) (Spiegel-Roy y Goldschmidt, 1996). Cuando la temperatura media es superior como sucede en condiciones del trópico bajo, la fruta

madura con el color externo verde o verde amarillento (Erickson, 1968).

La calidad interna de la fruta está influenciada por las condiciones climáticas; las temperaturas medias altas, como las del trópico bajo, influyen en el rápido descenso de los niveles de acidez, de tal manera que el jugo pierde rápidamente la calidad de consumo. Este comportamiento influye sobre el mejor momento de consumo de la fruta, por la influencia que tiene la acidez sobre el balance de los sólidos solubles totales/acidez total titulable, que determina el momento de madurez, que para los consumidores del subtrópico se estima en 9:1 como relación de madurez interna para las naranjas (Reuther y Ríos-Castaño, 1969) pudiendo ser cercano al de la mandarina ante la ausencia de estudios sobre esta variedad.

Los cítricos son frutos no climatéricos, es decir presentan poca actividad respiratoria la cual va disminuyendo lentamente durante su maduración y después de la cosecha, razón por la cual estos frutos maduran en el árbol y muestran una pequeña y gradual utilización de los sólidos solubles durante el proceso de maduración (Arras, 2001).

El presente trabajo se hizo con el fin de obtener información sobre la influencia de las condiciones climáticas del trópico bajo en el desarrollo del fruto de la mandarina 'Arrayana', y para determinar la duración de las fases de crecimiento del fruto en condiciones del piedemonte del Meta, información básica para el desarrollo de prácticas de manejo de los cultivos en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el año 2003 en el Centro de Investigación (CI) La Libertad de Corpoica en Villavicencio (4°03'N, 73°29'W y 336 msnm), clasificado en el sistema de Holdridge (1966) como bosque húmedo tropical. El suelo fue clasificado como Typic Haplodux por el

IGAC (2000). La información climática del año 2003, se tomó de la estación climatológica del Ideam, ubicada en el CI (tabla 1).

Se seleccionaron seis árboles de mandarina 'Arrayana' injertados sobre el patrón mandarino Cleopatra, de 7 años de edad. El cultivo fue manejado con las recomendaciones generadas por Corpoica para el piedemonte llanero (Orduz y Baquero, 2003). Se llevaron los registros de inicio y finalización de la floración, y de la caída fisiológica. En cada árbol se marcaron 15 frutos, a los cuales se les llevó el registro quincenal del diámetro polar y ecuatorial. La evaluación se inició en la décima semana después del final de la antesis y continuó hasta la semana 34 (8,5 meses). Se seleccionaron cinco frutos por árbol del mismo diámetro polar y ecuatorial, se llevaron al laboratorio en donde se midió el volumen del fruto en cm^3 , utilizando la metodología de desplazamiento de agua en una probeta graduada. Se pesaron los frutos para obtener el peso fresco y se colocaron en una estufa de laboratorio marca Memmert durante 72 h a 80°C para obtener la materia seca. Con el peso seco se calculó la tasa relativa de crecimiento (TRC) en la cual se tiene en cuenta el incremento en peso seco en un intervalo de tiempo, usando la fórmula de Radford (1967):

$$\text{TRC} = (\text{Ln } W_2 - \text{Ln } W_1) / (T_2 - T_1) \quad (1)$$

En donde: Ln = logaritmo natural; W_2 = masa seca final y W_1 = masa seca inicial; T_2 = tiempo final y T_1 = tiempo inicial.

Para calcular las fases de desarrollo del fruto se revisaron los registros de floración y caída fisiológica de frutos (fase I), y para calcular la duración de la fase II y la fase III, se utilizó la acumulación de materia seca por cada semana, la TCR del fruto y los cambios fisicoquímicos.

Las variables de crecimiento se analizaron con estadística en función de sus valores promedios y su dispersión.

Tabla 1. Valores promedios mensuales de la precipitación, temperaturas, humedad relativa (HR), brillo solar y velocidad del viento del CI La Libertad, 2003.

Mes	Precipitación	Evaporación	Temperatura (°C)			HR	Brillo solar	Viento	ETc
	(mm mes ⁻¹)	(mm mes ⁻¹)	max.	min.	media	(%)	(h)	(km h ⁻¹)	
Enero	0,0	182,18	33,9	23,3	28,3	69,6	7,4	2,33	116
Febrero	36,2	142,77	34,3	23,7	28,7	68,9	5,2	2,32	105
Marzo	203,1	119,60	32,5	23,2	27,3	76,8	3,4	2,23	89
Abril	454,8	74,66	30,0	22,4	25,7	86,8	3,9	1,90	76
Mayo	313,3	95,92	29,5	21,7	25,1	88,4	4,5	1,87	75
Junio	308,2	82,54	29,3	21,6	24,8	88,0	5,2	1,64	67
Julio	181,9	82,56	28,9	21,5	24,5	87,2	4,1	1,92	67
Agosto	222,2	104,58	30,1	21,8	25,2	84,9	5,3	1,95	86
Septiembre	451,9	83,48	30,0	21,5	25,4	84,7	3,8	1,83	84
Octubre	330,8	92,88	30,9	22,4	26,0	84,8	4,0	1,79	89
Noviembre	193,9	110,50	30,9	22,3	26,1	84,2	6,0	1,93	94
Diciembre	68,4	114,46	31,0	22,6	26,5	81,3	5,7	1,80	98
Total/año	2.764,7	1.286,10	371,3	267,8	313,4	985,6	58,4	23,51	1.046
Promedio/mes	230,4	107,20	30,9	22,3	26,1	82,1	4,9	1,96	87

Los análisis de composición interna de los frutos se iniciaron 32 semanas después de la antesis y continuaron quincenalmente hasta la semana 40. Los sólidos solubles totales se midieron con un refractómetro marca atago y se expresaron como grados Brix. La acidez total titulable se obtuvo mediante la titulación de 25 cm³ de jugo, con una solución 0,1 normal de hidróxido de sodio utilizando fenolftaleína como indicador y se expresó como porcentaje de ácido cítrico.

Para determinar el contenido de jugo se tomaron cinco frutos por árbol en cada muestreo, se exprimió el fruto y el jugo se midió directamente en una probeta graduada en centímetros cúbicos, expresando la proporción entre el peso del jugo y el peso del fruto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Balance hídrico

En la figura 1 se presenta la precipitación del año 2003 y los requerimientos hídricos de la manda-

rina 'Arrayana', tomando un Kc de 0,8 para los meses secos y 0,75 para los meses lluviosos de acuerdo con las recomendaciones de FAO (2006). Al inicio del año 2003 el déficit hídrico se terminó a finales de febrero y la floración en la primera semana de marzo, y el final de la antesis el 15 de marzo. En el año de estudio hubo 9 meses con exceso de humedad desde marzo a noviembre. El déficit hídrico se inició a finales del mes de diciembre afectando el estatus hídrico de la planta y, por consiguiente, el de los frutos.

Crecimiento del fruto

El patrón de crecimiento depende del parámetro considerado, sea longitud, diámetro, volumen o peso fresco que indican tamaño del fruto, o peso seco (Opara, 2000).

El aumento en volumen (tabla 2) y peso fresco (figura 2) de los frutos de mandarina 'Arrayana' fue de 4,7 g de peso fresco y 4,76 cm³ por semana. Como se puede observar, los frutos cítricos continúan su crecimiento hasta muy cerca de la cosecha cuando las condiciones ambientales

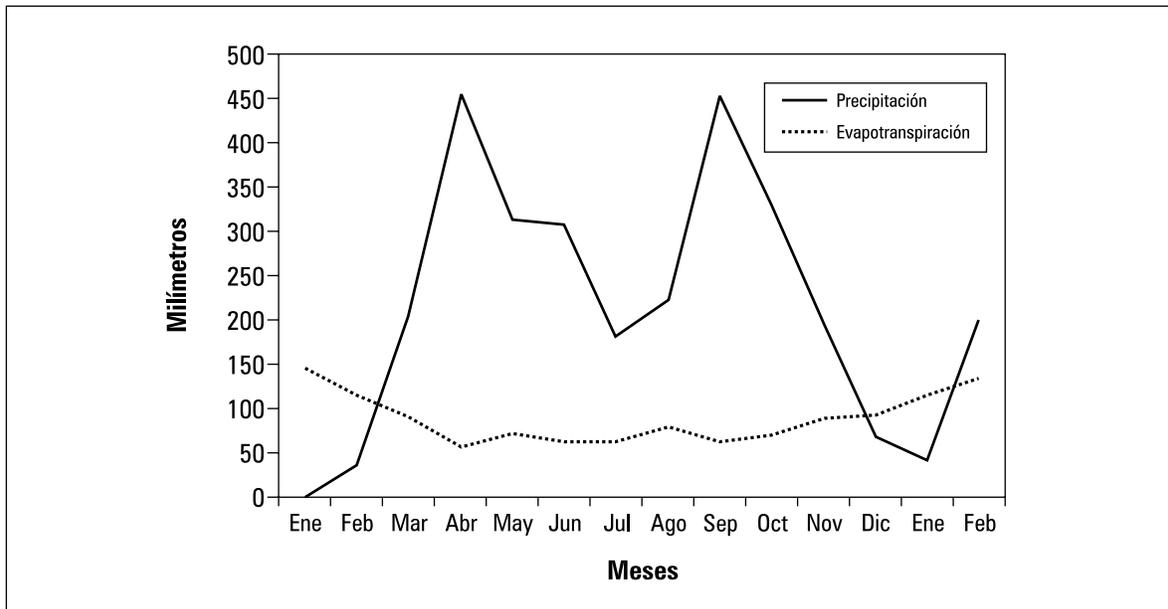


Figura 1. Balance hídrico entre la precipitación promedio anual y la evapotranspiración del cultivo de mandarina 'Arrayana' en el CI La Libertad, Villavicencio, 2003.

son favorables y confirma lo expresado por Gil (2006). En esto puede influir el hecho de que el verde permanente del flavedo en el trópico bajo realiza fotosíntesis (Moreshet y Green, 1980) pudiendo generar un balance positivo.

El peso fresco del fruto (figura 2) presenta un constante y rápido incremento de peso lo que está relacionado con las adecuadas condiciones climáticas que posee la región para la acumulación de materia seca (tabla 1 y figura 1), en especial de la precipitación permanente durante toda la época del desarrollo del fruto; además de la adaptación de la variedad a las condiciones del trópico bajo al estar seleccionada por más de 40 años de cultivo en la región (Orduz, 2007). La disminución del peso fresco en las dos últimas lecturas puede estar relacionada con el inicio de la época seca lo que ocasionaría un déficit hídrico durante el cual la planta puede tomar agua de los frutos disminuyendo el peso fresco de los mismos (figura 1).

Con 145 g de peso fresco final alcanzado por los frutos de mandarina 'Arrayana' en este experi-

mento, se puede clasificar a la variedad como de fruto grande (figura 2), teniendo en cuenta que el peso de la variedad Clemenules es de 95 g (Zaragoza *et al.*, 2001); lo que representa el 66% del peso promedio del fruto de Arrayana. En relación con el diámetro ecuatorial del fruto, mientras 'Clementina Fina' alcanza 50 mm en Entre rios en Argentina (Anderson, 1996), el fruto de la mandarina 'Arrayana' tiene un diámetro de 75 mm. Los frutos presentaron una forma achatada con una relación altura/diámetro de 0,72, en su madurez.

La producción por planta en el año de estudio estuvo entre 140 y 170 kg (28-34 t ha⁻¹); se considera alta para plantas de esa edad lo que por competencia de fotoasimilados entre vertederos puede estar afectando el tamaño medio de los frutos (Agustí, 2004).

La figura 2 muestra que la tasa relativa de crecimiento del fruto tiene un incremento 0,03 g g⁻¹ d⁻¹ a 0,05 g g⁻¹ d⁻¹ entre la semana 12 y 14, siendo cercano a 0,01 g g⁻¹ d⁻¹ entre la semana 14 y 16, aumentando entre la semana 18 y 20 a 0,03 g g⁻¹

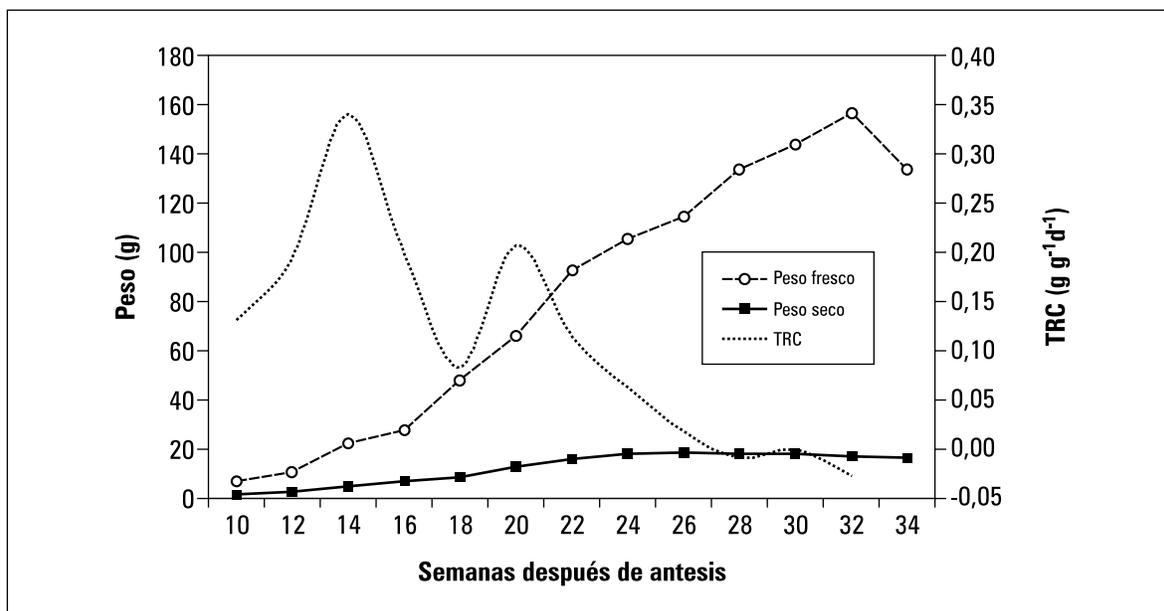


Figura 2. Acumulación de materia seca y fresca y tasa relativa de crecimiento (TRC) en frutos de mandarina 'Arrayana' en condiciones del piedemonte del Meta, a partir de la décima semana después de la antesis (20 de junio a 23 de diciembre de 2003).

d⁻¹ y descendiendo a 0,01 g g⁻¹ d⁻¹ en las semanas 22-24 y bajó a cero al llegar a la semana 26. En consecuencia, el incremento del peso fresco en los últimos 3 meses de su desarrollo es exclusivamente por el aumento del contenido de agua como puede corroborarse en los datos de materia seca en la tabla 2. La disminución de la TRC de materia seca entre la semana 14 a 18 después de la antesis señalaría la característica de crecimiento sigmoideal de los frutos cítricos.

Fases de crecimiento del fruto

En la figura 3 se observa que el aumento del volumen del fruto de la mandarina se aproxima a una curva sigmoide simple (Gil, 2006). La fase I corresponde a un periodo de crecimiento visiblemente lento, en el que se produce la división celular (Iglesias *et al.*, 2007). En el año 2003, el final de la antesis (terminando con la caída de pétalos) se presentó el 15 de marzo y la caída de frutos pequeños en la tercera semana de abril, lo que señala una duración de 5 semanas para la fase I (figura 2). Ésta fase es más corta que la reportada por Iglesias *et al.* (2007) con 2 meses

para la mandarina Clementina en condiciones del Mediterráneo, lo que estaría influido por las mayores temperaturas medias de las condiciones del trópico bajo comparadas con los 40° N de Valencia al inicio de la primavera. El aporte de carbohidratos es crucial porque la fase I presenta una alta demanda energética, lo que está relacionado con el volumen de cosecha al final del ciclo (Agustí, 2003).

La fase II se inició al finalizar la caída fisiológica (quinta semana); siendo la fase de mayor tasa de crecimiento en peso fresco y seco del fruto (figura 2); y disminuyendo la TRC a cero en la semana 26 después de la antesis. Esta fase tiene una duración de 5 meses que, según Agustí (2003), se puede clasificar como larga y es característica de las variedades tardías. La tasa de aumento de peso fresco del fruto para la fase II fue de 7,42 g por semana, siendo el índice más alto de todo el periodo de crecimiento del fruto (figura 2). En esta fase la TRC disminuyó debido a que la translocación de fotoasimilados al fruto es menor que en la fase I, lo cual se refleja en el comportamiento del peso seco que incide direc-

Tabla 2. Características de frutos de la mandarina 'Arrayana' evaluadas durante su crecimiento en condiciones del CI La Libertad, Villavicencio, 2003.

Semana después antesis	Diámetro polar (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)	Volumen (cm ³)	Materia seca (%)
10	2,33	2,23	6,07	23,28
12	2,79	2,81	11,53	22,98
14	3,23	3,40	19,55	21,19
16	3,51	3,91	28,10	23,77
18	3,91	4,43	40,18	17,24
20	4,17	4,85	51,36	19,03
22	4,80	5,72	82,23	19,26
24	5,05	6,16	100,33	14,80
26	5,20	6,52	115,74	16,23
28	5,36	7,02	138,31	12,70
30	5,43	7,31	151,93	12,69
32	5,44	7,54	161,94	12,03
34	5,40 ± 0,15	7,50 ± 0,12	161,80 ± 1,30	12,28 ± 0,70

tamente en este parámetro, eso quiere decir que el crecimiento se da por el aumento en la cantidad de agua en el fruto.

La fase III se caracterizó por una reducción de la tasa de crecimiento y comprendió todos los cambios asociados con la maduración del fruto (Agustí *et al.*, 2004). Esta fase se inició a mediados de septiembre (semana 26 después de la antesis), registrando un incremento de peso fresco desde la semana 26 hasta la 34 de 3,64 g semanal y una TCR cercana a cero. Los frutos alcanzaron la relación de madurez de 9:1 (apropiado para el consumo) entre la semana 32 y 34, presentando una duración de 2,0 a 2,5 meses (figura 3). Como el fruto puede permanecer en el árbol, la duración total de la fase es variable y puede llegar a ser de 3,5 a 4 meses, para esta variedad.

Aspectos de calidad durante la maduración del fruto

Morín (1986) describe que los factores de calidad interna de los cítricos con importancia agronómica son: el porcentaje de jugo, el contenido de sólidos solubles totales (SST), los ácidos totales

titulables (ATT) y la relación SST/ATT, que se conoce como índice o relación de madurez (IM).

El contenido de jugo registrado fue alrededor de 39%, considerado como alto para una mandarina (Orduz-Rodríguez *et al.*, 2006), teniendo en cuenta que la mandarina Ponkan (la más cultivada en Brasil) obtuvo en un experimento 27,4% de contenido de jugo en promedio para siete patrones (Stenzel *et al.*, 2003).

Los SST en el jugo de los cítricos están constituidos principalmente por azúcar y en menor grado por ácidos orgánicos, sales minerales, vitamina C y pectina (Royo y Pérez, 1977) y componen del 10 al 20% del peso fresco del fruto (Davies y Albrigo, 1994). En la figura 4, se observa que los SST alcanzaron 7,74 °Brix en la semana 32 y 8,13 en la semana 40. Estos grados Brix se consideran moderados, comparados por con la mandarina 'Fortune' (15,73 °Brix) (Salvador *et al.*, 2003). El poco incremento de los niveles de SST durante la maduración del fruto concuerda con lo reportado por Davies y Albrigo (1994) para la última etapa de su desarrollo, mientras en las fases I y II los niveles de SST aumentarían conforme el tamaño del fruto.

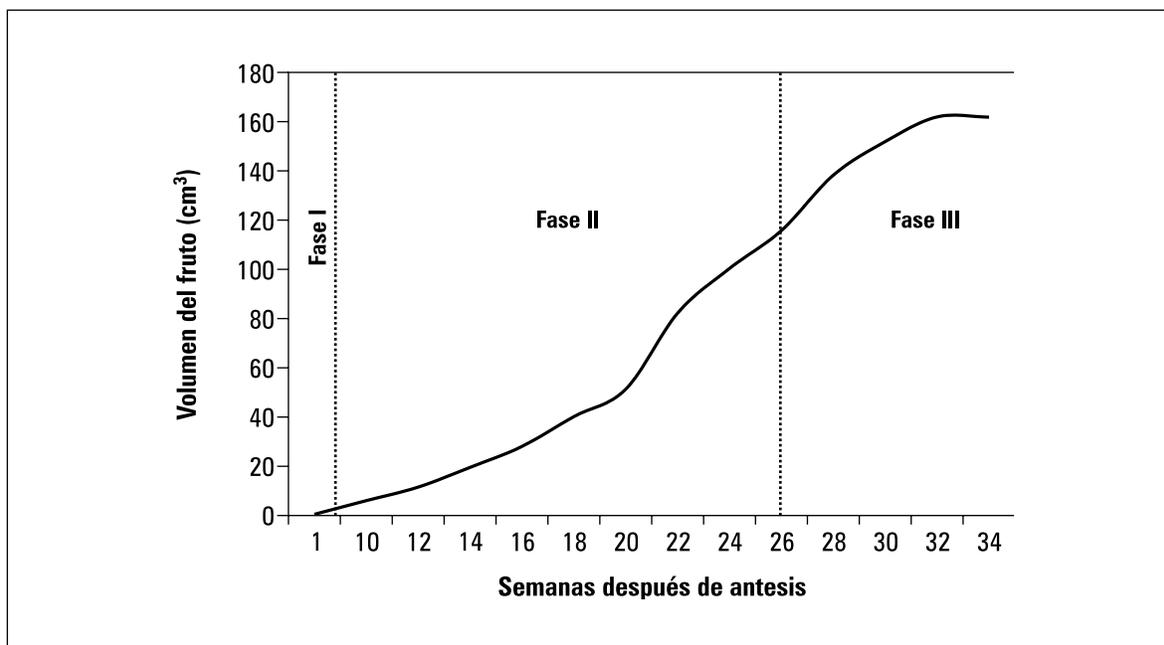


Figura 3. Fases de crecimiento del fruto de mandarina "Arrayana" expresado en volumen en condiciones del piedemonte del Meta. A partir del 15 de marzo (semana 1) hasta el 23 de diciembre de 2003 (semana 34). El inicio de la fase III es aproximado.

La concentración moderada de los SST en 'Arrayana' pudo haber sido influida por las altas precipitaciones que permanecieron hasta finales de noviembre, lo cual pudo haber ocasionado un efecto de dilución sobre el contenido de los azúcares en el fruto, como también puede ser una característica varietal. Sin embargo, en las condiciones del piedemonte llanero, este contenido de SST es todavía mayor que en frutos de árboles de 'Arrayana' injertados sobre otros patrones, como el 'Volkameriana', con 7,25 °Brix (Orduz-Rodríguez *et al.*, 2006), lo que confirma lo reportado por Castle y Gmitter (1999) favoreciendo 'Cleopatra' como un patrón que induce altas concentraciones de sólidos solubles y ácidos pero con una maduración tardía comparada con otros patrones.

La acidez de la mandarina disminuyó pasando de 1% (ATT) en la semana 32 a 0,69 en la semana 40 (figura 3). Según Davies y Albrigo (1994), los ácidos orgánicos contribuyen significativamente a la acidez total del jugo, siendo el ácido cítrico el ácido orgánico principal (70-80% del total). De-

bido a las altas temperaturas en condiciones del trópico bajo se esperaría una rápida disminución de la acidez (Davies y Albrigo, 1994), sin embargo, los frutos de 'Arrayana' presentaron una lenta disminución de esta variable en los 2 meses de evaluación, lo que señalaría una característica favorable para retrasar el proceso de senescencia y poder mantener la fruta en el árbol por más tiempo conservando su calidad de consumo, al igual que en la poscosecha. Este comportamiento sería una de las principales ventajas para el productor de mandarina con la variedad 'Arrayana' ya que puede almacenar la fruta en el árbol disminuyendo el problema de comercialización en la época de cosecha y podría explicar en parte el porqué esta variedad es la más cultivada en Colombia, especialmente en el clima cálido.

Si se considera una relación de madurez de 9, el fruto de la mandarina 'Arrayana' alcanzó el punto óptimo de cosecha alrededor de los 8,5 meses después de la antesis (semana 34). La pérdida rápida de ATT, pudo haber sido influida por el incremento de la temperatura media con el inicio

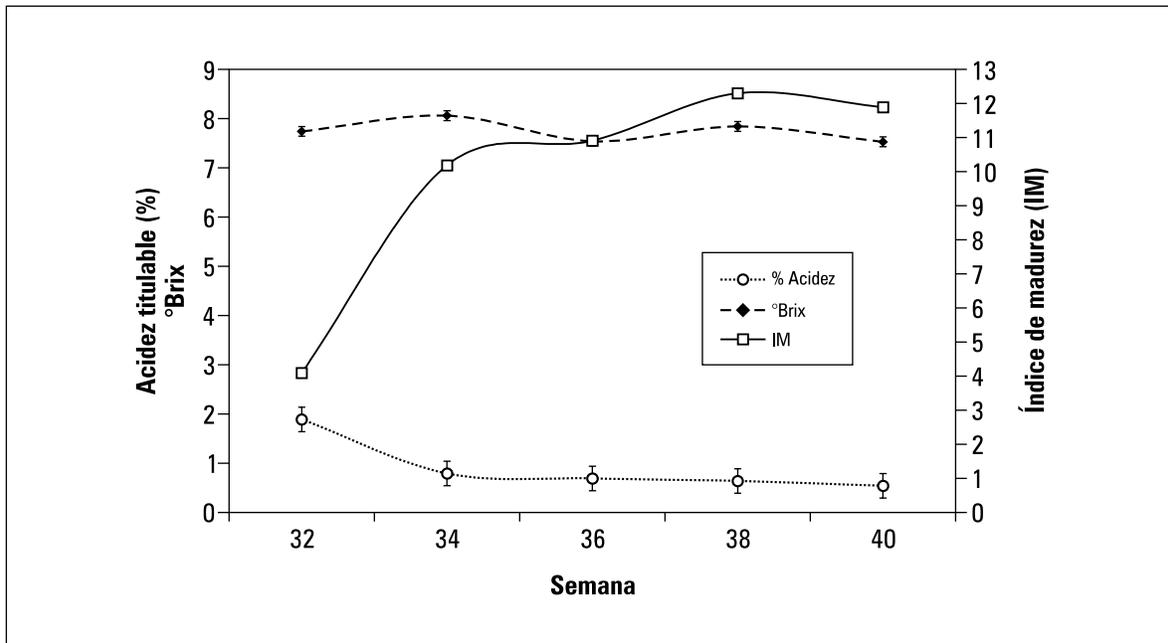


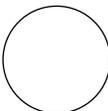
Figura 4. Variación de algunas características de calidad en frutos de mandarina 'Arrayana'. Las barras sobre los promedios indican el error estándar.

de la época seca y la disminución de la humedad relativa lo que aumenta la evaporación (tabla 1) y, por tanto, la evapotranspiración (figura 1), lo que también pudo haber afectado la disminución del tamaño del fruto en las últimas lecturas de la semana 32 y 34, como se discutió con anterioridad (figura 2); así como en la rápida evolución del índice de madurez (figura 4).

La densidad media de los frutos maduros fue de $0,9 \text{ g cm}^{-3}$.

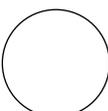
CONCLUSIONES

- El tamaño final del fruto de mandarina Arrayana se obtuvo en la semana 32 después de la antesis; alcanzó un peso de 145 g y se le consideró como grande.
- El incremento del peso fresco en los últimos 3 meses de su desarrollo fue exclusivamente por el aumento del contenido de agua.
- El crecimiento del fruto de mandarina 'Arrayana' en las condiciones climáticas del piedemonte del Meta siguió una curva sigmoideal.
- La duración de cada periodo de crecimiento del fruto de la mandarina 'Arrayana' en las condiciones del piedemonte del Meta fue 5 semanas, 5 meses y 2 meses para las fases I, II y III, respectivamente.
- Los frutos pueden permanecer un mes más en el árbol sin perder la calidad de consumo.
- El contenido del jugo es alto para una mandarina y se obtuvo la madurez de consumo entre el octavo y noveno mes después del final de la antesis.



AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de los señores Heberth Velásquez, Capitolino Ciprián, David López, Alfredo Pardo del programa de investigación en cítricos, y de los ingenieros Claudia Calderón y Daniel Acosta; y de la misma forma al personal directivo y administrativo del CI La Libertad.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agustí, M., 2003. Citricultura. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Agustí, M., 2004. Fruticultura. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Agustí, M., 2008. Crecimiento y maduración del fruto. pp. 519-535. En: Azcón-Bieto y Talón, M. (eds.). Fundamentos de fisiología vegetal. 2a ed. McGraw-Hill Interamericana de España, Madrid.
- Agustí, M.; V. Almela y M. Juan. 2004. Alteraciones fisiológicas de los frutos cítricos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Anderson, C. 1996. Variedades cultivadas en el área del Río Uruguay. pp. 63-91. En: Fabiani, A.; R. Mika; L. Larocca y C. Anderson. (eds.). Manual de productos de naranja y mandarina de la región del río Uruguay. INTA, Artesanía Gráfica, Buenos Aires.
- Arras, G. 2001. Postharvest biological changes and technology of citrus fruits. pp. 235-255. En: Dris, R.; R. Niskanen y S.M. Jain. (eds.). Crop management and postharvest handling of horticultural products. Vol. 1. Quality management. Science Publishers, Enfield, NH.
- Cassin, J.; J. Bourdeaut, J. Fougue; V. Furan ; J.P. Galliard; J. LeBourdelle; G. Montagut y C. Moreuil. 1969. The influence of climate upon the blooming of citrus in tropical areas. Proc. Intl. Soc. Citr. 1, 315-399.
- Castle, W.S. y F.G. Gmitter. 1999. Rootstock and scion selection. pp. 21-35. En: Timmer, L.W. y L.W. Duncan (eds.). Citrus health management. APS Press, St. Paul, MN.
- Davies, E.S. y L.G. Albrigo. 1994. Citrus. CAB International, Wallingford.
- Erickson, L.C. 1968. The general physiology of citrus. pp. 86-126. En: Reuther, W.; L.D. Batchelor y H.J. Weber (eds.). The citrus industry. University of California, Div. Agr. Sci., Davis, CA.
- FAO. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. No. 56. Roma.
- Gil, G.F. 2006. Fruticultura: La producción de fruta. Fruta de climas templado y subtropical y uva de vino. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago. pp. 123-125, 189-195.
- Holdridge, L.R. 1966. The life zone system. Adasonia 6(2), 199-203.
- IGAC. 2000. Estudio general de suelos de suelos y zonificación de tierras del departamento del Meta. Subdirección de Agrología. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá.
- Iglesias, D.J.; M. Cercós; J.M. Colmenero-Flores; M.A. Naranjo; G. Ríos; E. Carrera; O. Ruiz-Rivero; I. Lliso; R. Morillon; F.R. Tadeo y M. Talón. 2007. Physiology of citrus fruiting. Braz. J. Plant Physiol. 19(4), 333-362.
- Moreshet, S. y G.C. Green. 1980. Photosynthesis and diffusive conductance of the Valencia orange fruit under field conditions. J. Exp. Bot. 31, 15-27.
- Morín, C. 1986. Cultivo de cítricos. Editorial IICA, San José.
- Opara, L.U. 2000. Fruit growth measurement and analysis. Hort. Rev. 24, 373-531.
- Orduz, J. 2007. Estudios ecofisiológicos y caracterización morfológica y molecular de la mandarina 'arrayana' (*Citrus reticulata* Blanco) en el piedemonte llanero de

- Colombia. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Orduz, J. y J. Baquero. 2003. Aspectos básicos para el cultivo de los cítricos en el piedemonte llanero. *Revista Achagua* 7(9), 7-19.
- Orduz-Rodríguez, J.O.; L. Arango-Wiesner; H. Monroy y G. Fischer. 2006. Comportamiento de la mandarina Arrayana en seis patrones en suelos ácidos del piedemonte llanero de Colombia. *Agron. Colomb.* 24(2), 266-273.
- Orduz-Rodríguez, J.O. y G. Fischer. 2007. Balance hídrico e influencia del estrés hídrico en la inducción y desarrollo floral de la mandarina 'Arrayana' en el piedemonte llanero de Colombia. *Agron. Colomb.* 25(2), 255-263.
- Radford, P. 1967. Growth analysis formulae, their use and abuse. *Crop Sci.* 7, 171-175.
- Reuther, W. 1973. Climate and citrus behavior. pp. 280-337. En: Reuther, W. (ed.). *The citrus industry*. Vol. III. University of California, Davis, CA.
- Reuther, W. y D. Ríos-Castaño. 1969. Comparison of growth, maturation and composition of citrus fruit in subtropical California and tropical Colombia. *Proc. First Intl. Citrus Symp.* 3, 277-300.
- Ritenour, M.A.; W.F. Wardowski y D.P. Tucker. 2002. Post-harvest effects of water and nutrients. pp. 117-120. En: Boman, B.J. (ed.). *Water and Florida citrus*. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville, FL.
- Royo, I. y T.M.J. Pérez. 1977. Relationship between the Brix of citrus juices and their soluble chemical components. *Proc. Intl. Citriculture* 2, 791-795.
- Salvador, A.; J. Cuquerella y A. Monteverde. 2003. Efecto del quitosano aplicado como recubrimiento en mandarinas 'Fortune'. *Rev. Iber. Tecnol. Poscos.* 5(2), 122-127.
- Spiegel-Roy, P. y E.E. Goldschmidt. 1996. *Biology of citrus*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Stenzel, N.; C. Neves; J. Gomes y C. Medina. 2003. Performance of Ponkan mandarin on seven rootstocks in Southern Brazil. *HortScience* 38(2), 176-178.
- Stover, E.; B. Boman y L. Parsons. 2002. Physiological response to irrigation and water stress. pp. 112-116. En: Boman, B.J. (ed.). *Water and Florida citrus*. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville, FL.
- Zaragoza, S.; A. Medina; J. Pina y L. Navarro. 2001. Descripción y comportamiento agronómico de las variedades Orogrande y Clemenules en el banco de germoplasma del IVIA. *Revista Levante Agrícola* 355, 359-367.