

TASA DE CRECIMIENTO ABSOLUTO Y RELATIVO COMO INDICADORES DE FASES DE DESARROLLO DEL FRUTO EN CEREZO *Prunus avium*

ABSOLUTE AND RELATIVE GROWTH RATES AS INDICATORS OF FRUIT DEVELOPMENT PHASES IN SWEET CHERRY *Prunus avium*

Richard M. Bastías^{1*}, Francisco Diez¹, y Víctor L. Finot¹

¹ Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Casilla 537, Chillán, Chile.

* Autor para correspondencia E-mail: ribastias@udec.cl

RESUMEN

El tamaño de frutos es un parámetro de calidad que afecta directamente la rentabilidad económica del cultivo del cerezo. Sin embargo, existen pocos estudios sobre indicadores fisiológicos para el manejo de este aspecto en huertos de cerezo. El objetivo de la presente investigación fue estudiar la tasa de crecimiento y desarrollo celular como indicadores del patrón de crecimiento del fruto en cerezos 'Bing'. Para ello, se estimó la tasa de crecimiento absoluto (TCA, g día⁻¹) y relativo (TCR, mg g⁻¹ día⁻¹) del fruto desde 14 hasta 77 días después de plena floración (DDPF). Simultáneamente, se cuantificó la evolución de la densidad (N° mm⁻²) y longitud (µm) celular del mesocarpio de los frutos. El valor máximo de TCA (0,07 g día⁻¹) se alcanzó a los 58 DDPF, coincidiendo con la plena expansión celular del fruto (fase III), mientras que el valor máximo de TCR (174 mg g⁻¹ día⁻¹) se alcanzó a los 23 DDPF, coincidiendo con la reducción en la división celular del fruto (término de fase I). Se encontró una relación significativa y positiva entre TCA y longitud celular (R² = 0,85*), y negativa con la densidad celular (R² = 0,78*), pero no se encontró una relación significativa entre TCR y los parámetros celulares estudiados. Los resultados obtenidos indican que TCA y TCR son buenos indicadores para estimar el momento y duración de fases de crecimiento del fruto en cerezo. TCA explica de mejor manera los cambios celulares de la cereza durante su desarrollo en el árbol.

Palabras clave: tasa de crecimiento del fruto, división celular, expansión celular, *Prunus avium*.

ABSTRACT

Fruit size is a quality parameter that has a direct effect on economic profitability of sweet cherry orchards. However, there are few studies on the physiological indicators that can allow managing this parameter in sweet cherry. The aim of the present research was to analyze growth rate and cell development as indicators of fruit growth patterns in 'Bing' sweet cherries. Absolute growth rate (AGR, g day⁻¹) and relative growth rate (RGR, mg g⁻¹ day⁻¹) were estimated from 14 to 77 days after full bloom (DAFB). Cell density (number mm⁻²) and cell length (µm) in the mesocarp were also determined. The highest AGR value (0.07 g day⁻¹) was recorded at 58 DAFB, coinciding with full fruit cell expansion (phase III), while the highest RGR value (174 mg g⁻¹ day⁻¹) was reached at 23 DAFB, coinciding with fruit cell division reduction (end of phase I). AGR was significant and positively related (R² = 0.85*) to cell length, but negatively related to cell density (R² = 0.78*). However, no significant relationship was found between RGR and the cell parameters under study. The obtained results suggest that AGR and RGR are good indicators to estimate both timing and length of fruit growth phases in sweet cherry. Cellular changes in cherry fruit during tree growth are best explained by the AGR

Key words: fruit growth rate, cell division, cell expansion, *Prunus avium*.

INTRODUCCIÓN

El tamaño de la fruta (calibre) es un requisito de calidad y determinante en la rentabilidad del cultivo del cerezo (*Prunus avium* L.). Tanto en Chile como Estados Unidos, se ha determinado que un aumento del calibre en cerezas en 4-5 mm (5 gramos) puede significar un incremento en el precio de venta en cerca de US\$ 1-2 por kg de esta fruta (Whiting et al., 2005; E. Yañez, Ing. Agrónomo, exportador de fruta y asesor, Chillán. Comunicación personal). Además, para el caso de Chile el tamaño del fruto juega un papel importante en el posicionamiento de la cereza chilena en el mercado asiático, que exige cerezas de calibre grande (Hederra, 2007).

Desde un punto de vista botánico, la cereza es una drupa compuesta por tres capas de tejidos, una delgada capa protectora llamada exocarpio, una parte intermedia carnosa conocida como mesocarpio y el endocarpio central, pétreo, que rodea a la semilla. Las diferencias en el tamaño de los frutos entre las diferentes especies dependen del número de células que presenta el mesocarpio (Webster y Looney, 1996; Olmstead et al., 2007; Gucci et al., 2009), mientras que el tamaño final del fruto es el resultado de cambios coordinados de división y expansión celular de este tejido (Scorza et al., 1991; Yamaguchi et al., 2004; Olmstead et al., 2007; Gucci et al., 2009).

El patrón de crecimiento de la cereza, al igual que otras especies Prunoideas, es del tipo doble sigmoideo, y consta de tres etapas identificadas como fase I, II y III, donde se produce un desarrollo diferenciado de cada uno de los tejidos (Yamaguchi et al., 2003; Olmstead et al., 2007; Azarenko et al., 2008; Bastías et al., 2010). La fase I se caracteriza por presentar a nivel del exocarpio un continuo incremento, tanto en el tamaño como en el número de células. En el mesocarpio el número de células crece entre un 20 a 30% en la primera mitad de la etapa, mientras que en la segunda mitad el diámetro celular se cuadruplica y al final de la etapa aparecen numerosos espacios intercelulares (Tukey y Young, 1939). Por último, el endocarpio incrementa su tamaño cinco veces, aumentando el número y tamaño de las células, y al final de la etapa, las paredes de éstas se engruesan y se endurecen.

Durante la fase II, el exocarpio presenta un alargamiento longitudinal de las células y un engrosamiento de las paredes, sin que ocurra división celular. El mesocarpio manifiesta un pequeño alargamiento y los espacios intercelulares siguen prominentes, existiendo división celular sólo cerca del endocarpio. El endocarpio presenta un engrosamiento y endurecimiento de las paredes celulares, las que se lignifican, siendo lo más

característico de esta fase (Tukey y Young, 1939; Coombe, 1976). La fase III posee un alargamiento tangencial de las células a nivel del exocarpio y una ligera disminución en el diámetro radial, acompañado de un aumento del área superficial de la fruta. El mesocarpio se expande y cerca de los haces vasculares las células presentan forma redondeada, y en la mitad de la región hay un alargamiento tangencial. En esta fase es difícil detectar con claridad los espacios intercelulares característicos de las fases I y II. Finalmente, la dureza y rigidez del tejido del endocarpio se incrementa, esto asociado a una pérdida de humedad (Tukey y Young, 1939).

La intensidad y duración de las distintas fases de desarrollo celular durante el crecimiento del fruto depende de factores ambientales (temperatura, luz), fisiológicos (transporte de agua, disponibilidad de carbohidratos y estatus hormonal) y de manejo (poda, raleo, riego y nutrición mineral). Por tanto, en términos prácticos es difícil estimar con precisión el momento exacto y el tiempo de duración en que ocurren estos eventos bajo condiciones de campo (Morandi et al., 2010).

El análisis de tasa de crecimiento relativa (TCR) y tasa de crecimiento absoluta (TCA) son dos parámetros que pueden ayudar a caracterizar el crecimiento de órganos a través del tiempo (Grossman y DeJong, 1995). La estimación de la TCA permite valorizar el incremento de masa del órgano por unidad de tiempo, representando la fuerza "sink" (receptor de fotoasimilados) que posee el órgano en estudio y, por tanto, es indicador de la cantidad de fotoasimilados y agua que demanda el fruto. En cambio, la TCR corresponde al incremento de masa por unidad de masa por unidad de tiempo y representa la actividad "sink", es decir, la capacidad para producir un nuevo tejido meristemático en determinado tiempo (Pavel y DeJong, 1993; Grossman y DeJong, 1995; Morandi et al., 2010). El análisis de TCA y TCR ha sido utilizado en diferentes especies frutales y con múltiples propósitos: Pavel y DeJong (1993) usaron el análisis de TCR para estudiar el patrón cíclico de crecimiento para dos cultivares de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch) que maduran en diferentes momentos. En manzano (*Malus domestica* Borkh) el monitoreo de TCR y TCA ha sido utilizado como un método efectivo para predecir la caída de frutos, como también su potencial de crecimiento frente a cambios en la disponibilidad de luz y carbohidratos (Morandi et al., 2011; Bastías et al., 2012).

En un trabajo reciente desarrollado en arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.), el desarrollo de curvas de TCR y TCA ayudó a estimar el periodo de 'peak' (puntos máximos) de crecimiento de las fases I, II y III en el patrón de crecimiento

doble-sigmoideo del fruto (Godoy et al., 2008). No obstante, para nuestro conocimiento, son escasos los estudios que utilizan esta metodología para estudiar el patrón de crecimiento del fruto en cerezo y su relación a cambios en el desarrollo celular (división y expansión celular) experimentada por el fruto durante su desarrollo en el árbol. El objetivo de la presente investigación fue estudiar la tasa de crecimiento y desarrollo celular como indicadores del patrón de crecimiento del fruto en cerezos 'Bing'.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal experimental

El estudio se realizó durante el año 2011 en un huerto de cerezo del cultivar Bing de 14 años de edad injertado sobre patrón 'Mericier' F 12-1, y plantado en un marco de plantación de 6,0 por 4,0 metros, el cual se encuentra ubicado en la Estación Experimental "El Nogal" de la Universidad de Concepción, Campus Chillán (30°36' S, 72°05' O, 140 m.s.n.m). Al momento de cuaja (5-10 días después de plena flor, DDPF) en 5 árboles de similar vigor y carga frutal, un total de 50 frutos fueron seleccionados y marcados al azar (Espinoza, 2006). Los frutos fueron distribuidos en proporción de 10 frutos por cada árbol y localizados en dardos de madera frutal de dos años de edad, de manera de utilizar frutos que expresan un mayor potencial de crecimiento dentro del árbol. Dichas ramas fueron elegidas en cinco posiciones dentro del árbol y a una altura de 1-2 metros sobre el nivel del suelo. La carga frutal promedio de las ramas utilizadas para este estudio se encontraba en el rango de $9,5 \pm 1,1$ frutos por cm^2 de área de sección transversal de rama.

Tasa de crecimiento de frutos

A partir de 14 días después de plena flor (DDPF) se midió el diámetro máximo de los frutos usando un pie de metro digital. Las mediciones se realizaron a intervalos de dos días hasta cosecha y de acuerdo con la metodología usada por Azarenko et al. (2008).

Para convertir el diámetro de fruto (D, mm) a peso fresco (PF, g), para cada fecha de medición del diámetro se tomó un muestra de 20 frutos (560 frutos en total para toda la temporada) desde árboles adyacentes (De Silva et al., 1997), los cuales fueron transportados al laboratorio para ser pesados en fresco con una balanza (Precisa Instruments AG, Dietikon, Suiza). La conversión de D a PF de los frutos en crecimiento se realizó mediante la siguiente función obtenida a través de un análisis de regresión lineal: $PF = e^{(-a+b\sqrt{D})}$; donde los valores de a y b fueron 4,54 y 1,32 ($R^2 = 0,99$). La estimación de valores de TCA y TCR se

llevó a cabo utilizando las siguientes relaciones (Morandi et al., 2010):

$$TCA = (Pt_1 - Pt_0) / (t_1 - t_0) \quad (1)$$

$$TCR = TCA / Pt_0 \quad (2)$$

donde TCA es la tasa de crecimiento absoluto (g día^{-1}), TCR es la tasa de crecimiento relativo del fruto ($\text{mg g}^{-1} \text{ día}^{-1}$), Pt_1 y Pt_0 son la variación de peso fresco en la fecha actual (t_1) y anterior (t_0) al muestreo, respectivamente.

División y expansión celular del fruto

En forma simultánea a la estimación de parámetros TCA y TCR, se tomaron 5 frutos al azar, los cuales fueron fijados en Carnoy (etanol - ácido acético glacial, 3:1, v:v) y almacenados en refrigeración (4°C) para la posterior observación del tejido en el laboratorio. En cada fruto se realizaron cortes a mano alzada en la zona ecuatorial del mesocarpio (Olmstead et al., 2007). Luego cada corte se dejó reposar en agua destilada hasta lograr una adecuada rehidratación. La muestra preparada se analizó a través de un microscopio ocular (Zeiss AxioStar Plus, Zeiss Corp., Alemania), tomando fotografías del mesocarpio con una cámara digital (Canon Powershot A620, Canon Corp., Japón) con un aumento de 40x. Las fotografías obtenidas fueron analizadas con la ayuda del software analizador de imágenes Aequitas (DDL Ltd, Cambridge, UK). Se cuantificaron los siguientes parámetros anatómicos: densidad celular (N° de células mm^{-2}) y longitud radial de cada célula (μm) (Marsal et al., 2000; Olmstead et al., 2007; Stern et al., 2007).

Análisis estadístico

Los parámetros medidos durante las fases de crecimiento del fruto fueron comparados mediante un análisis de tendencia de medias y respectivo error estándar (SE). Además, se realizó un análisis de regresión lineal entre las variables estudiadas con un nivel de significancia del 0,05. El análisis se llevó a cabo utilizando el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento de frutos

El patrón de crecimiento de fruto del cerezo en base a diámetro y peso, respectivamente se puede apreciar en Fig. 1. Se aprecia que a lo largo de la temporada, el fruto creció siguiendo un patrón doble sigmoideo, tanto en base a diámetro como peso (Figs. 1A y B, respectivamente) y similar a lo reportado previamente en esta especie (Yama-

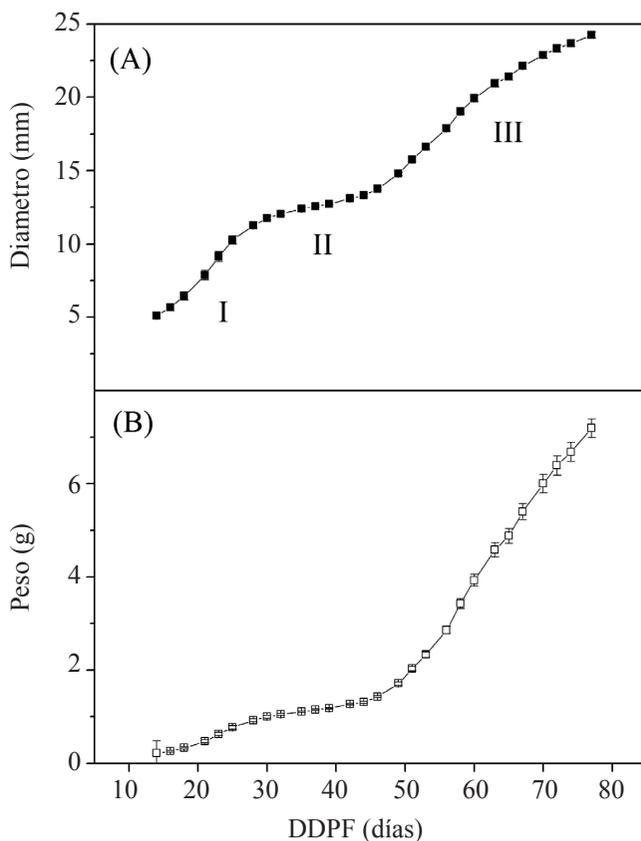


Fig. 1. Patrón de crecimiento del fruto en cerezo ‘Bing’ en base a diámetro (A), y peso (B). Cada punto representa la media ± SE (n = 50 frutos).

DDPF: Días después de plena floración.

Fig. 1. Fruit growth pattern in ‘Bing’ cherry based to diameter (A), and weight (B). Each point represents mean ± SE (n = 50 fruit).

DDPF: Days after full bloom

guchi et al., 2003; Olmstead et al., 2007; Azarenko et al., 2008; Bastías et al., 2010), distinguiéndose claramente las tres fases de crecimiento del fruto. La fase I (división celular) duró aproximadamente 23 días, mientras que la fase II (endurecimiento del carozo) duró 16 días, y la fase III (expansión celular) presentó una duración de 38 días. Al inicio de la medición los frutos presentaron un tamaño promedio de 5 mm para alcanzar a cosecha un diámetro de 24 mm, lo que está de acuerdo para valores comerciales de tamaño de frutos previamente cuantificados en cultivares como Bing (Navarro, 2007; Peña, 2009). El tiempo de duración de las tres fases abarcó un total de 77 días, lo que es acorde a la zona y a lo obtenido por Navarro (2007).

En términos de TCA (Fig. 2A), los frutos desde plena flor en adelante comenzaron a crecer lentamente hasta llegar a un primer *peak* a los 23 DDPF (0,078 g día⁻¹), posterior a ello el fruto comienza a desacelerar en crecimiento marcando el término

de la fase I de crecimiento del fruto, hasta alcanzar su valor mínimo a los 39 DDPF (0,016 g día⁻¹) que coincide con el pleno desarrollo de la fase II del fruto (Figs. 1A y B). Luego se observa un segundo *peak* a los 58 DDPF durante la fase III del fruto, cuyo valor de TCA superó en más de un 250% (0,280 g día⁻¹) el primer *peak* de crecimiento registrado durante la fase I del fruto. Estos valores son coincidentes con los resultados obtenidos por Aravena (2003), quien demostró que los valores de TCA máximo en frutos de cerezo se alcanzan entre los 50 y 80 DDPF, con rangos desde 0,3 a 0,4 g día⁻¹ en base a peso fresco.

En cuanto a los valores de TCR, el primer *peak* de TCR que se alcanzó a los 23 DDPF y fue un 81% (174,44 mg g⁻¹ día⁻¹) superior al alcanzado durante el segundo *peak* de TCR (96,35 mg g⁻¹ día⁻¹) a los 58 DDPF (Fig. 2B). Al igual que la TCA, el valor mínimo de TCR se alcanzó a los 39 DDPF (fase II), con un valor de 14,68 mg g⁻¹ día⁻¹ (Fig. 2B). El patrón TCR descrito en este estudio es si-

milar a la descrita por Pavel y DeJong (1993) en duraznero. En los primeros días de crecimiento del fruto hubo una gran demanda por carbohidratos y luego disminuyó, de hecho la máxima TCR ocurre durante la fase I (Pavel y DeJong, 1993; Morandi et al., 2009), pero no se ha encontrado un segundo *peak* de TCR en la fase III como el observado en este estudio en cerezos, tal vez debido a diferencias de patrón de transpiración que presentan estas dos especies.

Por lo general la tasa de transpiración en especies como en duraznero es muy superior en la fase III del fruto, lo que conlleva a una mayor contracción del fruto (Morandi et al., 2010), a diferencia del cerezo que presenta una disminución de capacidad de transpiración durante esta fase, por lo cual un aumento del flujo de agua desde raíces hacia el fruto durante esta fase ocasiona una marcada expansión del fruto (Gilbert et al., 2005).

El incremento en la tasa de crecimiento de frutos está regulado, entre otros factores, por la acción de fitohormonas. Durante la fase I de cre-

cimiento del fruto, antes de la primera alza registrada a los 23 DDPF, en especies como el cerezo se ha reportado una mayor concentración de auxinas, responsables de incrementar el potencial efecto '*sink*' y la división celular del fruto (Stern et al., 2007; Zhang y Whiting, 2011), además de giberelinas y citocininas, responsables de la división y expansión celular (Zhang et al., 2006; Zhang y Whiting, 2011). En este estudio se apreció que el aumento de los valores de TCA presentaron una magnitud menor (Fig. 2 A y B) en comparación a TCR, dejando de manifiesto que en esta fase ocurrió un aumento en la masa de tejido del fruto como resultado de una mayor división celular.

Entre 25 y 39 DDPF (fase II) se observó un valor mínimo en los parámetros TCA y TCR. Esto podría deberse a que en esta fase disminuye la síntesis de las fitohormonas antes mencionadas, ocurriendo una escasa división y elongación celular, finalizando el desarrollo del embrión y la lignificación del endocarpio (Coombe, 1976; Olmstead et al., 2007). Entre los 42 a los 58 DDPF

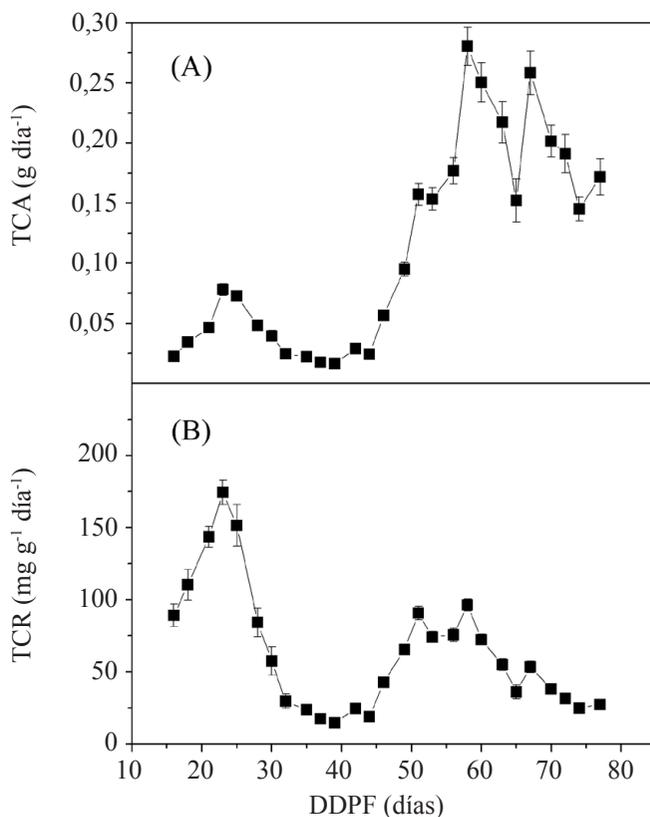


Fig. 2. Evolución de la tasa de crecimiento absoluto TCA (A) y tasa de crecimiento relativo, TCR (B) en frutos de cerezo 'Bing'. Cada punto representa la media \pm SE (n = 50 frutos).

DDPF: Días después de plena floración.

Fig. 2. Variation of absolute growth rate TCA (A) and relative growth rate TCR (B) in 'Bing' cherry fruit. Each point represents mean \pm SE (n = 50 fruit).

DDPF: Days after full bloom

se produjo un nuevo incremento en TCA y TCR, fechas que coinciden con la fase III de crecimiento del fruto (Grossman y DeJong, 1995; Navarro, 2007). En esta fase la magnitud del incremento de TCA es superior a TCR (Figs. 2A y B), con valores significativamente mayores al resto de las fases. Esta respuesta se debería al incremento de hormonas como el etileno y ácido abscísico que inducen una mayor elongación celular e incrementándose el peso del fruto, tanto por acumulación de agua como de materia seca, como consecuencia del aumento de la capacidad 'sink' del fruto (Coombe, 1976). La menor magnitud de incremento de la TCR de fruto en la fase III, en comparación a la fase I, se explica por el aumento, en menor medida, de auxinas que favorece la tasa de división celular, y lo que se traduce en una menor actividad 'sink' del fruto, que disminuye su intensidad a medida que avanzan las fases de crecimiento y desarrollo del fruto (Scorza et al., 1991; Pavel y DeJong, 1993; Yamaguchi et al., 2003).

Desarrollo celular

En la Fig. 3 se muestra el patrón de desarrollo celular de frutos para distintos DDPF. A los 14 DDPF, las células presentaron una longitud radial promedio de 24 μm , hasta alcanzar los 164 μm a los 70 DDPF (previo a la cosecha) (Fig. 3A). En términos de densidad celular (Fig. 3B), a los 14 DDPF, los frutos presentan en promedio 1443 células mm^{-2} , cuyo número disminuyó gradualmente hasta alcanzar un valor promedio de 75 células mm^{-2} a los 70 DDPF, concordando con previos reportes de desarrollo celular en esta especie (Yamaguchi et al., 2003; Olmstead et al., 2007). En la fase III (70 DDPF), la longitud celular superó a las otras dos fases previas. En esta fase se presentó la máxima elongación celular, incrementando el diámetro y peso de la fruta, en concordancia al patrón de ganancia de peso observado (Fig. 1B). Esto es coincidente a lo planteado por Olmstead et al. (2007) y Zhang y Whiting (2011) quienes indican que el tamaño final de la cereza de un determinado genotipo se debería al tamaño final de las células del mesocarpio y no al número de células, siendo la longitud celular el aspecto crítico más relevante en el manejo cultural del tamaño de frutos en esta especie.

Tukey y Young (1939) observaron que en la fase I un 50 % del desarrollo de la cereza se debe a división celular y el otro 50 % a expansión celular. Scorza et al. (1991) encontraron la misma relación de crecimiento en frutos de duraznero. La razón de esto se debería a que la cantidad de ácido indolacético en la primera mitad de la fase I disminuiría para dar paso a un incremento de giberelinas y citocininas (Zhang y Whiting, 2011). En este estudio, el máximo *peak* de TCR ocurrió

a los 23 DDPF, que coincide con el momento en que la densidad celular alcanza valores más constantes (Fig. 3B), para dar término a la fase I del crecimiento del fruto. Así, entre los 28 y 42 DDPF, tanto la longitud como la densidad celular se mantienen más o menos constantes (Figs. 3, A y B). Esto debido a que coincide con la fase II de crecimiento, donde ocurre la lignificación del endocarpio y termina el desarrollo del embrión, disminuyendo la elongación y división celular (Tukey y Young, 1939; Coombe, 1976; Olmstead et al., 2007).

Entre 49-70 DDPF se observó cambios, tanto en longitud celular como en densidad celular (Fig. 3). De acuerdo al patrón de crecimiento, esto correspondió a la última etapa de crecimiento, fase III, caracterizada por no tener división celular o casi ausente, pero con una marcada elongación celular observado (Tukey y Young, 1939), lo cual explicaría la disminución de células por milímetro cuadrado y el aumento del tamaño celular (Figs. 3, A y B), y a su vez el aumento en los valores de TCA en este periodo (Fig. 2A). Las hormonas que regulan esta etapa son etileno y ácido abscísico, responsables de producir un incremento en la acumulación de materia seca, aumento de elongación celular y la abscisión del fruto (Coombe, 1976).

Al analizar por microscopía las secciones de tejido obtenidas para cada fase de crecimiento (Fig. 4) fue posible corroborar los resultados anteriores. La longitud radial de las células es concordante con los resultados de Yamaguchi et al. (2004) y Olmstead et al. (2007), quienes observaron una variación del tamaño de células entre 160 a 210 μm . Gucci et al. (2009) en olivo (*Olea europaea* L.) midieron la densidad celular, obteniendo cerca de 75 células por milímetro cuadrado en la última fase de crecimiento del fruto. Si bien los resultados de este estudio muestran en esta fase 75 células por milímetro cuadrado, ese no sería el número final, al extrapolar el crecimiento del fruto hasta la cosecha, 77 DDPF, la densidad disminuiría y se incrementaría la elongación celular, llegando a 45 células por milímetro cuadrado, aproximadamente.

Además de apreciar una variación tanto en número como en la longitud celular, se observó un cambio en la morfología de las células a través de las distintas fases. A los 21 DDPF (fase I) se observó un conjunto de células más redondeadas y a los 35 DDPF algunas comenzaron a crecer de forma más tangencial hasta alcanzar una forma elíptica a los 70 DDPF (fase III) (Fig. 4). Tukey y Young (1939) también observaron en cerezas que las células del mesocarpio cambiaron su forma a través del tiempo, pasando de una forma redonda hasta llegar al final del desarrollo a ser más

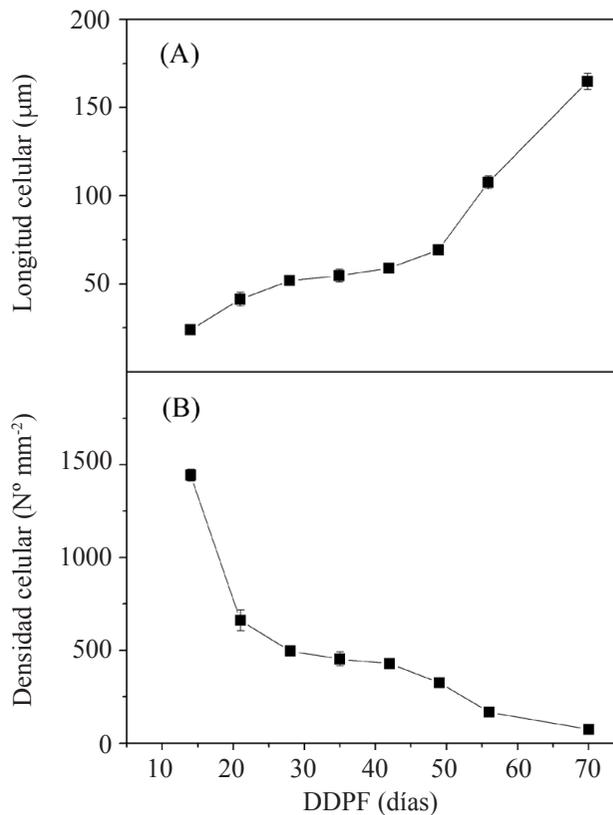


Fig. 3. Evolución de longitud (A), y densidad (B), de células para frutos de cerezo 'Bing'. Cada punto representa la media \pm SE (n = 5 frutos).

DDPF: Días después de plena floración.

Fig. 3. Variation in cell length (A) and cell density (B) for 'Bing' cherry fruit. Each point represents mean \pm SE (n = 5 fruit).

DDPF: Days after full bloom

elípticas. En la fase II no se presentaron espacios intercelulares, siendo diferente a lo concluido por Tukey y Young (1939) que afirman que al final de esta etapa aparecen numerosos y prominentes espacios intercelulares. La fase III se caracteriza por tener escasa o nula división celular y gran elongación celular como consecuencia de la incorporación de agua y fotoasimilados, incrementándose la cantidad de materia seca, el diámetro y peso final del fruto (Tukey y Young, 1939; Coombe, 1976).

Al respecto, Tukey y Young (1939) observaron que el cambio morfológico experimentado por las células podría estar relacionado con la presión que ejerce el tejido circundante sobre éstas en la medida que el fruto crece. Así, en la parte interna del fruto se incrementa el tamaño celular de forma radial en vez de tangencialmente. Esto se debería que al crecer el fruto, las células vecinas al endocarpio se acercan quedando los centros más próximos y, por tanto, se expanden en forma radial (Tukey y Young, 1939; Coombe, 1976).

A medida que se van alejando del endocarpio, la presión tangencial de las células adyacentes va disminuyendo, adoptando una forma más ovoide. Mientras que a la medida que se aleja aún más, la presión del tejido es igual conforme a la de la célula adquiriendo una forma más redondeada (Tukey y Young, 1939).

Relación entre tasa de crecimiento y desarrollo celular de frutos

En la Fig. 5 se observa el resultado de regresión entre los parámetros TCA y TCR con cambios en el desarrollo celular. En este estudio se encontró una relación positiva y significativa ($R^2 = 0,85^*$) entre TCA y la variación de longitud celular y una relación significativamente inversa con la densidad celular ($R^2 = 0,78^*$) (Figs. 5, A y C). No obstante, no se encontró una relación estadística significativa entre el parámetro de TCR y los parámetros de desarrollo celular estudiados (Figs. 5, B y D).

Estudios previos desarrollados en cerezo han

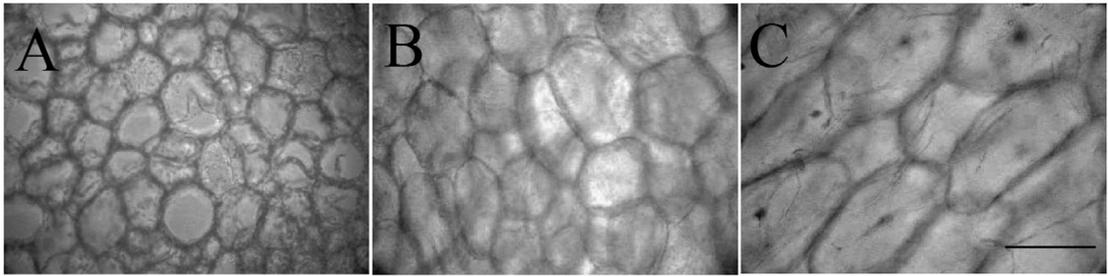


Fig. 4. Microsección del mesocarpio del fruto tomados en fase I, 21 DDPF (A); fase II, 35 DDPF (B); y fase III, 70 DDPF (C), en cerezos 'Bing'.

Aumento 40x. Barra = 100 μm . DDPF: Días después de plena floración.

Fig. 4. Microsection of fruit mesocarp taken at phase I, 21 DDPF (A); phase II, 35 DDPF (B); and phase III, 70 DDPF (C), in 'Bing' cherry.

Magnification 40x. Bar = 100 μm . DDPF: Days after full bloom

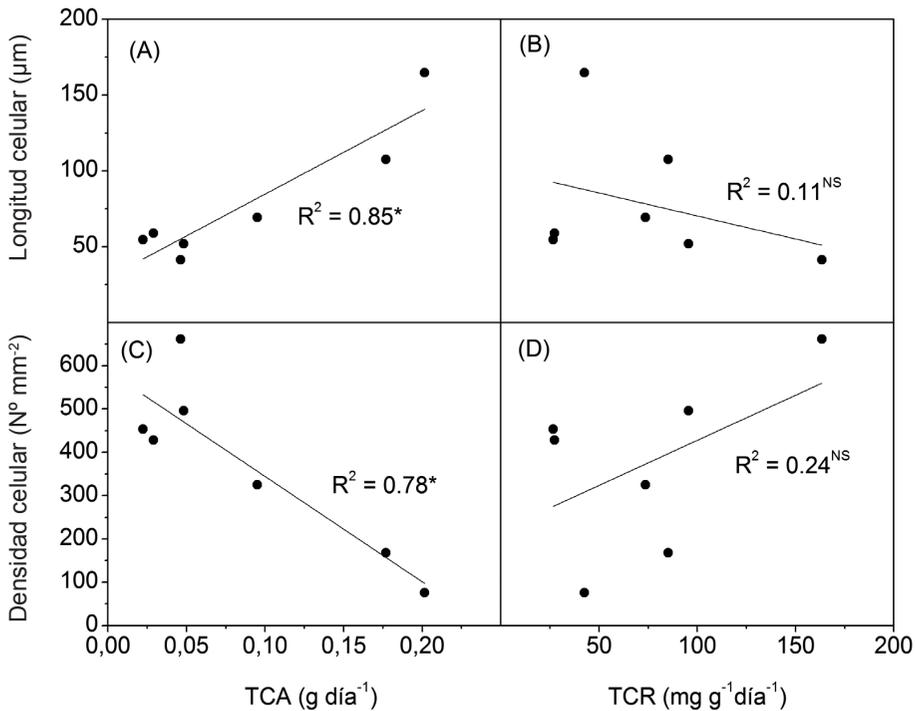


Fig. 5. Relación entre longitud y división celular con tasa de crecimiento absoluto (TCA) en A y C, y relativo (TCR) en B y D, de frutos en cerezos 'Bing'.

* Significancia a $P < 0,05$; NS: no significancia.

Fig. 5. Relationship between cell length and division with absolute growth rate (TCA) in A and C, and relative growth rate (TCR) in B and D, of 'Bing' cherry fruit.

* Significance at $P < 0,05$; NS: non significance.

demonstrado que el número de células es un factor crítico en el tamaño de los frutos, pero sólo cuando se ha relacionado el peso de frutos con diferentes cultivares en una misma estación de crecimiento del fruto (Yamaguchi et al., 2003; Yamaguchi et al., 2004; Olmstead et al., 2007). En este estudio el análisis se realizó en un cultivar específico (Bing) y a lo largo de la temporada. En este

sentido, el análisis de regresión de este estudio confirma lo encontrado por Olmstead et al. (2007) y Zhang y Whiting (2011), los cuales atribuyen el tamaño final del mesocarpio de un mismo cultivar a la elongación celular más que al número de células. Ellos proponen que el número de células está regulado por un factor más bien genético, mientras que la elongación celular es dependien-

te de las prácticas culturales utilizadas dentro del huerto (poda, raleo, riego, nutrición y uso de fitohormonas). Por esta razón la estrecha y positiva relación encontrada entre TCA y longitud celular en este estudio sugieren que la utilización de este parámetro (TCA) podría ser una herramienta útil y no destructiva para optimizar en el futuro prácticas de manejo para regular el tamaño de frutos en cerezos.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación se concluye que la variación de tasa de crecimiento absoluto y relativo son buenos indicadores para determinar el momento en que ocurren las distintas fases de crecimiento del fruto en cerezo. La tasa de crecimiento absoluto sería un mejor indicador del desarrollo celular de los frutos durante su crecimiento en el árbol. Su aplicación para el manejo del tamaño de frutos en huertos de cerezo es promisorio.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada con recursos del operativo de Fruticultura UREG 2201.565.02, Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción.

LITERATURA CITADA

- Aravena, A. 2003. Determinación del crecimiento vegetativo y frutal en cuatro cvs. de cerezo (*Prunus avium* L.), en un huerto de la VII Región. Memoria de título Ing. Agrónomo. Universidad de Talca, Fac. Ciencias Agropecuarias, Talca, Chile.
- Azarenko, A.N., A. Chozinski, and L.J. Brewer. 2008. Fruit growth curve analysis of seven sweet cherry cultivars. *Acta Hort.* 2(795):561-565.
- Bastías, R.M., R. Wilckens, A. Venegas, y A. Muñoz. 2010. Dinámica de crecimiento de fruto en cultivares de cerezo (*Prunus avium*) con alta, moderada y baja susceptibilidad a par-tidura. *Agro-Ciencia* 26(2):81-89.
- Bastías, R.M., L. Manfrini, and L. Corelli-Grappadelli. 2012. Exploring the potential use of photo-selective nets for fruit growth regulation in apple. *Chilean J. Agric. Res.* 72(2):224-231.
- Coombe, B.G. 1976. The development of fleshy fruits. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 27:507-528.
- De Silva, H.N., D.S. Tustin, W.M. Cashmore, C.J. Stanley, G. Lupton, and S.J. McArtney. 1997. Fruit fresh mass-diameter relationship for 'Royal Gala' apple across seasons and among fruit production regions of New Zealand. *HortScience* 32(7):1169-1173.
- Espinosa, P. 2006. Evaluación del crecimiento de raíces, brotes y frutos en cerezos (*Prunus avium* L.). *Rev. Frutícola* 27(1):27-31.
- Gilbert, C., F. Lescorruet, M. Génard, G. Verambre, and A. Pérez Pastor. 2005. Modelling the effect of fruit growth on surface conductance to water vapour diffusion. *Ann. Bot.* 95:673-683.
- Godoy, C., G. Monterubbianesi, and J. Tognetti. 2008. Analysis of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit growth with exponential mixed models. *Sci. Hortic.* 115(4):368-376.
- Grossman, Y.L., and T.M. DeJong. 1995. Maximum fruit growth potential and seasonal patterns of resource dynamics during peach growth. *Ann. Bot.* 75(6):553-560.
- Gucci, R., E.M. Lodolini, and H.F. Rapoport. 2009. Water deficit-induced changes in mesocarp cellular processes and the relationship between mesocarp and endocarp during olive fruit development. *Tree Physiol.* 29(12):1575-1585.
- Hederra, A. 2007. Análisis comercial del mercado de la cereza. *Rev. Frutícola* 28(2):49-51.
- Marsal, J., H.F. Rapoport, T. Manrique, and J. Girona. 2000. Pear fruit growth under regulated deficit irrigation in container-grown trees. *Sci. Hortic.* 85(4):243-259.
- Morandi, B., and L. Corelli-Grappadelli. 2009. Source and sink limitations in vascular flows in peach fruit. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 84(6):150-156.
- Morandi, B., P. Losciale, L. Manfrini, M. Zibordi, e L. Corelli-Grappadelli. 2010. Comprendere come cresce il frutto per migliorarne la qualità. *Riv. Fruttic. Ortofloric.* 72(7-8):36-42.
- Morandi, B., M. Zibordi, P. Losciale, L. Manfrini, E. Pierpaoli, and L. Corelli-Grappadelli. 2011. Shading decreases the growth rate of young apple fruit by reducing their phloem import. *Sci. Hortic.* 127(3):347-352.
- Navarro, C. 2007. Evaluación productiva y de calidad de seis cultivares de cerezo (*Prunus avium* L.) en el valle central regado de la Provincia de Ñuble. Memoria de título. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Chillán, Chile.
- Olmstead, J.W., A.F. Iezzoni, and M.D. Whiting. 2007. Genotypic differences in sweet cherry fruit size are primarily a function of cell number. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 132(5):697-703.
- Pavel, E.W., and T.M. DeJong. 1993. Source- and sink-limited growth periods of developing peach fruits indicated by relative growth rate analysis. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 118(6):820-824.

- Peña, I. 2009. Efecto de la temperatura de receso y post- receso invernal sobre la fructificación y calidad del fruto en cerezo (*Prunus avium* L. 'Bing'). Memoria de título Ing. Agrónomo. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Chillán, Chile.
- Scorza, R., L.G. May, B. Purnell, and B. Upchurch. 1991. Differences in number and area of mesocarp cells between small- and large-fruited peach cultivars. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 116(5):861-864.
- StatPoint Technologies. 2009. Statgraphics. StatPoint Technologies, Inc., Warrenton, Virginia, USA.
- Stern, R.A., M. Flaishman, S. Applebaum, and R. Ben-Arie. 2007. Effect of synthetic auxins on fruit development of 'Bing' cherry (*Prunus avium* L.). Sci. Hortic. 114(4):275-280.
- Tukey, H.B., and J.O. Young. 1939. Histological study of the developing fruit of the sour cherry. Bot. Gaz. 100(4):723-749.
- Webster, A.D and Looney, N.E. 1996. Cherries: Crop Physiology, Production and Uses. CAB International, Wallingford, UK.
- Whiting, M.D., G. Lang, and D. Ophardt. 2005. Rootstock and training system affect sweet cherry growth, yield, and fruit quality. Hort-Science 40(3):582-586.
- Yamaguchi, M., I. Sato, A. Watanabe, and M. Ishiguro. 2003. Cultivar differences in exocarp cell growth pattern at apex, equator, stalk cavity and suture during fruit development in sweet cherry (*Prunus avium* L.). J. Japan Soc. Hort. Sci. 72(6):465-472.
- Yamaguchi, M., I. Sato, K. Takase, A. Watanabe, and M. Ishiguro. 2004. Differences and yearly variation in number and size of mesocarp cells in sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars and related species. J. Japan Soc. Hort. Sci. 73(1):12-18.
- Zhang, C., K. Tanabe, S. Wang, F. Tamura, A. Yoshida, and K. Matsumoto. 2006. The impact of cell division and cell enlargement on the evolution of fruit size in *Pyrus pyrifolia*. Ann. Bot. 98(3):537-543.
- Zhang, C., and M.D. Whiting. 2011. Improving 'Bing' sweet cherry fruit quality with plant growth regulators. Sci. Hortic. 127(3):341-346.