

DINAMICA DE CRECIMIENTO DE FRUTO EN CULTIVARES DE CEREZO (*Prunus avium*) CON ALTA, MODERADA Y BAJA SUSCEPTIBILIDAD A PARTIDURA

FRUIT GROWTH DYNAMICS IN SWEET CHERRY (*Prunus avium*) CULTIVARS WITH HIGH, MODERATE AND LOW SUSCEPTIBILITY TO CRACKING

Richard M. Bastías¹, Rosemarie Wilckens¹, Alejandro Venegas¹, y Andrea Muñoz¹

¹Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Casilla 537, Chillán, Chile. *E-mail: ribastias@udec.cl

RESUMEN

La resistencia a partidura de fruto es un objetivo prioritario para los programas de mejoramiento del cerezo en Chile y el mundo. Sin embargo, los mecanismos fisiológicos involucrados en diferencias genéticas de susceptibilidad a partidura no han sido totalmente estudiados. El objetivo de esta investigación fue estudiar la dinámica de crecimiento de fruto en cultivares de cerezo con alta, moderada y baja susceptibilidad a partidura. Desde 30 hasta 79 días después de floración (DDF) se estimó la tasa de crecimiento absoluto diametral (TCAD, mm d⁻¹ fruto⁻¹) y masal (TCAM, gr d⁻¹ fruto⁻¹) en frutos de cultivares 'Bing' (alta susceptibilidad), 'Stella' (moderada susceptibilidad) y 'Kordia' (baja susceptibilidad). Simultáneamente, se estimó el índice de partidura (IP, %) y tasa de absorción de agua (TAA, mg H₂O h⁻¹ fruto⁻¹) después de cinco horas de inmersión de los frutos en agua destilada. En 'Bing' y 'Stella', la partidura se manifestó desde 51 DDF, mientras que en 'Kordia' desde 72 DDF. Entre los 51 y 58 DDF, la TCAD y TCAM en frutos de 'Bing' y 'Stella' fue significativamente mayor al de 'Kordia'. En 'Kordia', el valor máximo de TCAD y TCAM se alcanzó a los 72 DDF. Se encontró una relación positiva entre TCAM y TAA para 'Bing' (R²= 0,60; p < 0,05) y 'Stella' (R²= 0,90; p < 0,01). Se concluyó que el patrón de crecimiento de fruto difiere entre cultivares susceptibles y resistentes a partidura, por tanto el análisis de dinámica de crecimiento del fruto resulta ser una interesante herramienta de apoyo a la selección de variedades resistentes a partidura en cerezo.

Palabras clave: patrón de crecimiento de fruto, absorción de agua, índice de partidura, *Prunus avium*.

ABSTRACT

Fruit crack resistance is a key issue for sweet cherry breeding programs in Chile and worldwide. However, the physiological mechanisms involved in genetic differences to cracking susceptibility have not been fully studied. The objective of this research was to study the dynamics of fruit growth on sweet cherry cultivars with low, moderate and high susceptibility to cracking. Both the absolute diameter growth rate (TCAD, mm d⁻¹ fruit⁻¹) and the mass growth rate (TCAM, gr d⁻¹ fruit⁻¹) were estimated in 'Bing' (high susceptibility), 'Stella' (moderate susceptibility) and 'Kordia' (low susceptibility) sweet cherry cultivars, 30 to 79 days after bloom (DDF). Simultaneously, the cracking index (IP, %) and the water uptake rate (TAA, mg H₂O h⁻¹ fruit⁻¹) were estimated after fruit immersion in distilled water for 5 hours. In 'Bing' and 'Stella' cultivars, cracking damage was observed from 51 DDF, whereas in 'Kordia' it was observed from 72 DDF. From 51 to 58 DDF, TCAD and TCAM in 'Bing' and 'Stella' fruits were significantly greater than those from 'Kordia'. In 'Kordia', maximum TCAD and TCAM values were reached at 72 DDF. A positive relationship between TCAM and TAA was found for 'Bing' (R²= 0.60;

$p < 0.05$) and 'Stella' ($R^2 = 0.90$; $p < 0.01$) cultivars. It was concluded that fruit growth pattern differs among crack-susceptible and crack-resistant cultivars. Therefore, the analysis of fruit growth dynamics becomes a useful decision-making aid to select crack-resistant sweet cherry varieties.

Key words: fruit growth pattern, water uptake, cracking index, *Prunus avium*.

INTRODUCCIÓN

El daño por partidura (cracking) de fruta es la principal limitante productiva para la industria mundial del cerezo que se desarrolla en zonas con una alta ocurrencia de precipitaciones cercano al período cosecha, lo que en nuestro país puede generar pérdidas económicas que oscilan entre un 20% y 50% de la producción, dependiendo del cultivar, temporada agrícola y ubicación geográfica, y que además se traduce en un mayor descarte de fruta al momento del embalaje (Lugli et al., 2001; Valenzuela, 2007). La sintomatología de partidura se caracteriza por un agrietamiento de la epidermis, afectando tanto el área pedicelar, apical como lateral de la fruta, llegando incluso a penetrar el tejido de la pulpa en casos de mayor severidad (Webster y Cline, 1994). Aparte de daño estético y pérdida de la calidad comercial de la fruta, la incidencia de este desorden involucra un costo fitosanitario adicional para los fruticultores, debido a que favorece la libre entrada de diversos tipos de patógenos como *Monilinia laxa* (Ader. et Ruhland) Honey y *Botrytis cinerea* Pers que aumentan la incidencia de pudriciones tanto en cosecha como en poscosecha (Borve y Sekse, 2000).

Dentro de las medidas de control, las más difundidas son la utilización de cobertores plásticos, la aplicación de sales de calcio y recientemente el uso de fórmulas protectoras que ayudan a impermeabilizar la cutícula de la fruta (Jedlow y Schrader, 2005). Si bien es cierto, el uso de estas tecnologías ayuda a reducir la incidencia del daño, la desventaja que estas presentan es que su grado de efectividad varía ampliamente entre temporada, cultivar y localidad geográfica, mientras que aquellas como el uso de cobertores plásticos representan un elevado costo de inversión para el agricultor (Simon, 2006).

Debido a lo anterior, la búsqueda de cultivares con mayor resistencia a este desorden es un objetivo prioritario para los distintos grupos de investigación en el cerezo de Chile y el mundo (Serri et al., 2005). En nuestro país, diferentes reportes demuestran que cultivares comerciales como 'Bing' y 'Van' son altamente susceptibles al daño, mientras que otros como 'Kordia' presentan una mayor resistencia (Kulckzewski, 2004). El o los mecanismos fisiológicos ligados a dichas diferencias no han sido del todo comprendidos. Al respecto, se ha hipotetizado que este podría estar asociado a diferencias en pa-

trones de concentración de azúcares y potencial osmótico, así como también en el espesor de la epidermis, cuyos parámetros juegan un rol importante sobre el flujo de agua hacia el fruto (Sekse, 1995). No obstante, los estudios realizados a la fecha no demuestran una clara relación entre estos parámetros y la incidencia del daño en diversos cultivares de cerezo (Lane et al., 2000; Moing et al., 2004).

El ritmo de crecimiento del fruto también ha sido mencionado como un factor crucial en la susceptibilidad a partidura en cerezas (Christensen, 1973). El fruto del cerezo presenta un patrón de crecimiento doble sigmoideo, con tres fases bien definidas: una fase I de activa división celular del mesocarpio, una fase II que se caracteriza por un cese del crecimiento del mesocarpio para dar paso al endurecimiento del endocarpio, y finalmente una fase III, caracterizada por una notable expansión del mesocarpio (Coombe, 1976). Trabajos recientes demostrarían que existe una estrecha relación entre el período de máxima expansión del fruto (i.e., fase III) con la capacidad de transporte de agua y el grado de susceptibilidad a partidura en esta especie (Knoche et al., 2001). Sin embargo, estudios de este tipo son escasos aún en cultivares de cerezo que presentan distinto grado de sensibilidad a este desorden.

El objetivo de la presente investigación fue cuantificar aspectos de dinámica de crecimiento de fruto en relación a la capacidad de absorción de agua y susceptibilidad a partidura en cultivares comerciales de cerezo que reportan una alta, moderada y baja susceptibilidad a este daño, bajo las condiciones locales de Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal experimental

El estudio fue realizado durante la temporada 2006-2007 y las muestras de frutos para el experimento fueron obtenidas desde un huerto de cerezos de once años de edad, ubicado en la Estación Experimental El Nogal, de la Universidad de Concepción Campus Chillán ($36^{\circ}36'S$, $72^{\circ}05'W$, 140 m.s.n.m.). Para el estudio se utilizaron cultivares con similar requerimiento de frío invernal (> 800 horas), que presentan un período de floración semejante bajo las condiciones locales de este estudio, pero con distinto grado de susceptibilidad a partidura. Los

cultivares evaluados fueron: 'Bing' (altamente susceptible y originario de Estados Unidos), 'Stella' (medianamente susceptible y originario de Canadá), y 'Kordia' (altamente resistente y originaria de Checoslovaquia) (Kulczewski, 2004). Los tres cultivares se encontraban injertados sobre patrón Mericier F12/1 y en un marco de plantación de 6 m entre hileras y 4 m sobre la hilera. Durante todo el período de estudio, el huerto recibió un manejo uniforme desde el punto de vista sanitario, nutricional y riego. La fecha de floración de los cultivares evaluados ocurrió entre el 22 de septiembre y el 5 de octubre, mientras que para asegurar una adecuada fructificación de los árboles se incorporó el cultivar 'Van' como polinizante.

Crecimiento de fruto e índice de partidura

Semanalmente se tomó al azar una muestra de 54 frutos de cada cultivar, considerando un número máximo de 10 frutos por árbol en cada fecha desde una misma altura y posición dentro de la canopia del árbol, asegurando de obtener dentro de cada cultivar, frutos sanos y uniformes en cuanto a calibre y coloración (Raffo et al., 2007). El muestreo de frutos se inició a partir del 27 de octubre, y que correspondió a aproximadamente 30 días después de la floración (DDF) y finalizó el 15 de diciembre (79 DDF). Próximo a la cosecha de la fruta, el muestreo fue uniformado de acuerdo a un rango de color de (5-6), lo que corresponde a frutos de piel roja oscura-roja caoba, según la es-

cala internacional de color (CTIFL, 2005), cuantificando además sobre una muestra adicional la concentración de sólidos solubles (°Brix), a través de un refractómetro termocompensado (Modelo ATAGO ATC-1E, Japón). Para cada fecha de cosecha se realizó la evaluación del diámetro ecuatorial (mm) a través de un pie de metro de alta precisión (Somet, Rep. Chec., $\pm 0,1$ mm) y peso fresco de fruto (gr) utilizando una balanza micrométrica digital (Sartorius, Suiza, $\pm 0,01$ g). Posteriormente, el total de los frutos fueron depositados separadamente en una bandeja de germinación (speedling) e instalados en contenedores plásticos de 9,22 L. de capacidad, para luego ser sumergidos en agua destilada por un período de 5 horas, según el protocolo desarrollado por Muñoz (2007). Para lograr una inmersión de los frutos total y uniforme, las bandejas fueron cubiertas por una placa de vidrio de 40 x 30 cm, de 3 mm de espesor. A intervalos de 1 hora se observaron todos los frutos y aquellos con daño de partidura fueron extraídos y eliminados para poder determinar el índice de partidura (IP), de acuerdo a lo propuesto por Christensen et al. (1972b), como se indica en fórmula siguiente y Tabla 1.

$$IP (\%) = (\Sigma (nt \times Fp) / MVP) \times 100$$

donde: IP: Índice de partidura; nt: Número de frutos partidos a tiempo t; Fp: Factor de partidura; nt x Fp: Total de partidura; MVP: Máximo valor posible (54 frutos x 5 horas)

Tabla 1. Variables utilizadas para la estimación de índice de partidura (IP) en cerezas
Table 1. Variables used for cracking index (IP) estimation in sweet cherries

| Horas sumergidas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| nt (no acumulable) | n ₁ | n ₂ | n ₃ | n ₄ | n ₅ |
| Fp | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| nt x Fp | n ₁ x 5 | n ₂ x 4 | n ₃ x 3 | n ₄ x 2 | n ₅ x 1 |
| Valor total | $\Sigma (Nt \times Fp)$ | | | | |
| MVP | 270 | | | | |

nt: N° frutos partidos al tiempo t; Fp: factor de partidura; MVP: máximo valor posible.

Tasa de crecimiento y absorción de agua

Para cada cultivar se determinó el patrón de velocidad de crecimiento del fruto, la cual fue expresada como tasa de crecimiento absoluto diametral (TCAD, mm d⁻¹ fruto⁻¹) y masal (TCAM, gr d⁻¹ fruto⁻¹) que correspondió a la primera derivada (dx/dt) de la función obtenida entre las variaciones del diámetro y peso de fruto para un determinado período de desarrollo del fruto (DDF) y según lo propuesto por Grossman y DeJong (1995). Por otra parte, antes y después de cada hora de inmersión en agua destilada, aquellos frutos sin daño aparente

fueron pesados en una balanza micrométrica digital (Sartorius, Suiza, $\pm 0,01$ g) a fin de cuantificar la tasa de absorción de agua (TAA, mg H₂O h⁻¹ fruto⁻¹) de acuerdo al protocolo propuesto por Lane et al. (2000).

Análisis estadístico

El experimento fue conducido en un diseño experimental completamente al azar y los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza para $p < 0,05$ y $0,01$ de significancia. El test de rango múltiple de Duncan al 95% de significancia fue utilizado para la comparación de medias. Adicionalmente,

se realizó un análisis de regresión lineal para los parámetros evaluados. El análisis fue realizado a través del software estadístico Statgraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies Inc., Warrenton-Virginia, 2009, USA).

RESULTADOS

Los resultados obtenidos sobre el IP propuesto por Christensen et al. (1972b) en los cultivares estudiados se presentan en la Fig. 1. Se puede apreciar que existieron claras diferencias de este índice entre los cultivares evaluados. Cuando los frutos alcanzaron

una madurez adecuada de cosecha (79 DDF), el máximo valor de IP fue alcanzado por el cultivar 'Bing' que correspondió a un 51,1%, seguido por 'Stella' (40,7%) y 'Kordia' (35,5%) (Fig. 1). Por otra parte, el daño por partidura comenzó a ser evidente a partir de 51 DDF en los cultivares 'Bing' y 'Stella', mientras que en el cultivar 'Kordia' su manifestación ocurrió prácticamente 21 días más tarde (72 DDF). Entre 51 y 58 DDF, el valor de IP en el cultivar 'Stella' superó al del cultivar 'Bing', sin embargo a partir de 65 DDF esta tendencia se revierte, siendo el IP de 'Bing' superior a los otros dos cultivares.

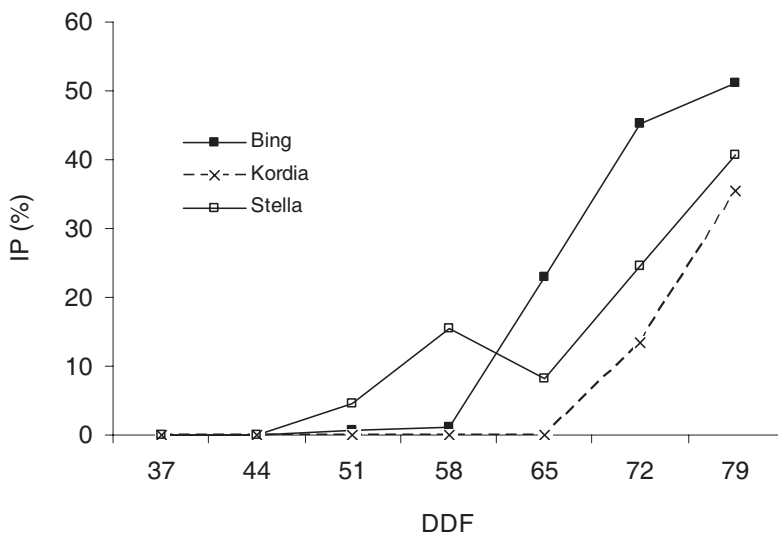


Fig. 1. Índice de partidura (IP) estimado en cerezas 'Bing', 'Stella' y 'Kordia' durante diferentes días después de floración (DDF) (n = 54).

Fig. 1. Cracking index (IP) estimated in 'Bing', 'Stella' and 'Kordia' sweet cherries during different days after bloom (DDF) (n = 54).

En cuanto al patrón de velocidad de crecimiento absoluto del fruto, este difirió significativamente entre los cultivares analizados, tanto en términos de TCAD (Fig. 2), como de TCAM (Fig. 3). A inicios de la estación de crecimiento (entre 37 y 44 DDF), los frutos del cultivar 'Bing' y 'Stella' crecieron significativamente a una menor TCAD y TCAM en comparación al cultivar 'Kordia' (Figs. 2 y 3), no obstante a partir de 51 DDF, la velocidad de crecimiento de frutos de los cultivares 'Bing' y 'Stella' superaron a los de 'Kordia', siendo esta diferencia máxima a los 58 DDF, en donde los frutos de 'Bing' y 'Stella' alcanzaron una TCAD de 0,59 y 0,50 mm d⁻¹ fruto⁻¹, respectivamente, mientras que en 'Kordia' este bordeó los 0,26 mm d⁻¹ fruto⁻¹. Sin embargo, 14 días más tarde (72 DDF) este patrón cambió completamente, siendo los frutos de

'Kordia' los que alcanzaron un valor significativamente superior de TCAD (0,70 mm d⁻¹ fruto⁻¹), en comparación a los otros dos cultivares (Fig. 2). Además, entre 51 y 72 DDF, la TCAD en frutos del cultivar 'Bing' siempre fue significativamente superior a la estimada en el cultivar 'Stella' (Fig. 2). Si bien es cierto, el valor máximo de TCAM en los cultivares 'Bing' y 'Stella' se alcanzó un poco más tarde (Fig. 3), aún así y al igual que la TCAD, a los 58 DDF ambos cultivares presentaron una TCAM significativamente mayor al del cultivar 'Kordia' con valores de 0,28 y 0,26 g d⁻¹ fruto⁻¹, respectivamente. La máxima TCAM por parte de frutos del cultivar 'Kordia' también se registró a los 72 DDF y alcanzó un valor cercano a los 0,55 g d⁻¹ fruto⁻¹, mientras que en 'Bing', la TCAM de frutos superó a los de 'Stella' a los 65 y 72 DDF (Fig. 3).

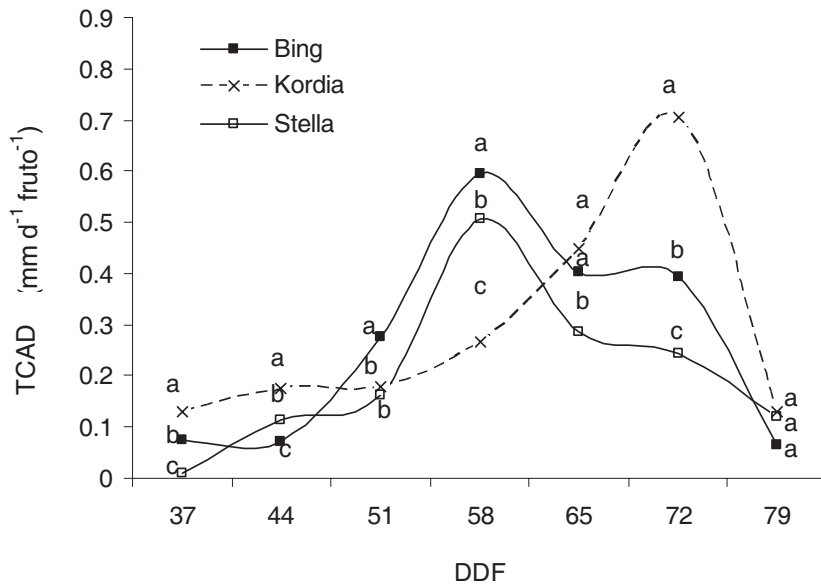


Fig. 2. Tasa de crecimiento absoluto diametral (TCAD) en cerezas 'Bing', 'Stella' y 'Kordia' durante diferentes días después de floración (DDF). Valores medio de cada fecha con similar letra no difieren significativamente según el Test de Rango Multiple Duncan ($n = 54$; $p \leq 0,05$).

Fig. 2. Absolute diameter growth rate (TCAD) in 'Bing', 'Stella' and 'Kordia' sweet cherries during different days after bloom (DDF). Mean values with the same letters for each date are not significantly different by Duncan's Multiple Range Test ($n = 54$; $p \leq 0.05$).

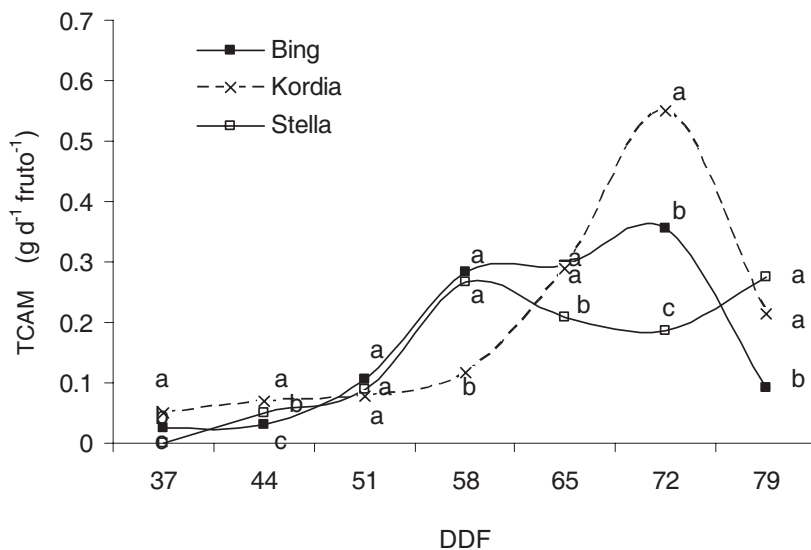


Fig. 3. Tasa de crecimiento absoluto masal (TCAM) en cerezas 'Bing', 'Stella' y 'Kordia' durante diferentes días después de floración (DDF). Valores medio de cada fecha con similar letra no difieren significativamente según el Test de Rango Multiple Duncan ($n = 54$; $p \leq 0,05$).

Fig. 3. Absolute mass growth rate (TCAM) in 'Bing', 'Stella' and 'Kordia' sweet cherries during different days after bloom (DDF). Mean values with the same letters for each date are not significantly different by Duncan's Multiple Range Test ($n = 54$; $p \leq 0.05$).

Similarmente, el patrón estacional de TAA varió significativamente entre los cultivares estudiados (Fig. 4). Entre 51 y 65 DDF, los frutos de los cultivares 'Bing' y 'Stella' presentaron una TAA significativamente superior a la estimada en el cultivar 'Kordia', siendo en 'Bing' donde estos valores fueron significativamente superior (Fig. 4). El valor máximo de TAA se registró a los 58 DDF en el cultivar 'Bing' con un valor que alcanzó los 127,9 mg H₂O h⁻¹ fruto⁻¹,

mientras que en el cultivar 'Stella', este se obtuvo a los 79 DDF (126,6 mg H₂O h⁻¹ fruto⁻¹) (Fig. 4). En el cultivar 'Kordia' el valor máximo de TAA se estimó a los 72 DDF, el que bordeó los 102 mg H₂O h⁻¹ fruto⁻¹ (Fig. 4). Por otra parte, se encontró una positiva y significativa relación entre la TAA y TCAM, al menos en los cultivares 'Bing' y 'Stella' (R²=0,62 y 0,9, respectivamente), pero en menor grado y no significativa en el caso del cultivar 'Kordia' (R²=0,35) (Fig. 5).

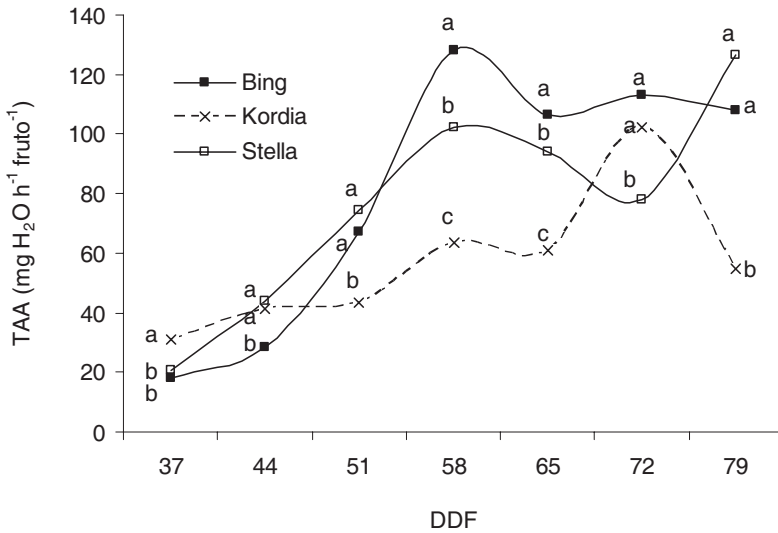


Fig. 4. Tasa de absorción de agua (TAA) en cerezas 'Bing', 'Stella' y 'Kordia' durante diferentes días después de floración (DDF). Valores medio de cada fecha con similar letra no difieren significativamente según el Test de Rango Multiple Duncan (n = 54; p ≤ 0,05).

Fig. 4. Water uptake rate (TAA) in 'Bing', 'Stella' and 'Kordia' sweet cherries during different days after bloom (DDF). Mean values with the same letters for each date are not significantly different by Duncan's Multiple Range Test (n = 54; p ≤ 0.05).

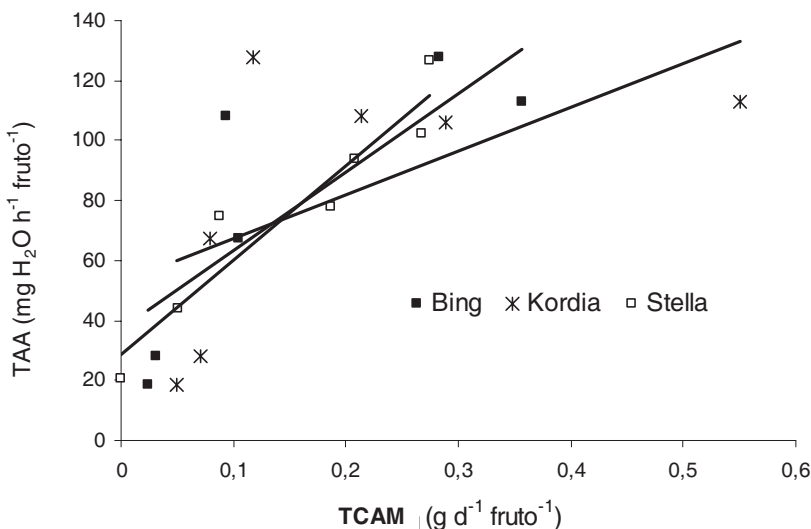


Fig. 5. Relación entre la tasa de crecimiento masal (TCAM) y tasa de absorción de agua (TAA) en frutos de los cultivares de cerezo 'Bing' (R²=0,67*), 'Stella' (R²=0,90**) y 'Kordia' (R²=0,35^{NS}). ** p ≤ 0,01, *p ≤ 0,05, NS= diferencia no significativa

Fig. 5. Relationship between absolute mass growth rate (TCAM) and water uptake rate (TAA) in fruits of 'Bing' (R²=0.67*), 'Stella' (R²=0,90**) and 'Kordia' (R²=0,35^{NS}) sweet cherry cultivars. ** p ≤ 0.01, *p ≤ 0.05, NS=no significant difference.

DISCUSIÓN

Los valores de IP obtenidos en este estudio (Fig. 1), confirman las observaciones obtenidas a nivel comercial y bajo condiciones de campo, en donde se destaca al cultivar 'Bing' como un genotipo altamente susceptible a partidura de fruta, 'Kordia' resistente, y 'Stella' de moderada susceptibilidad (Kulczewski, 2004), validando, por tanto, el método de inmersión en agua como adecuado para la selección de cultivares de acuerdo al grado de susceptibilidad a partidura, tal como ha sido mencionado en trabajos similares (Lane et al., 2000; Yamaguchi et al., 2002). En los cultivares 'Bing' y "Stella" la inducción del daño por partidura comenzó a ser evidente a partir de los 51 DDF, lo que concuerda en parte con trabajos realizados por Knoche et al., (2001), quienes estudiando el cultivar de cereza 'Sam' observaron la presencia de fracturas cuticulares en la piel de los frutos después de los 45 DDF. Dicho período además, coincide con aquel previamente reportado como inicio de la fase III del fruto (Figs. 2 y 3), el que se iniciaría aproximadamente entre los 45 y 50 DDF (Knoche et al., 2001) y que corresponde a aquel en donde se ha observado una máxima TCA del fruto en esta especie (Gilbert et al., 2005; Raffo y Mañueco, 2009). Durante aproximadamente la segunda semana de esta fase (58 DDF), los frutos de 'Bing' y 'Stella' superaron significativamente en TCAD y TCAM a los de 'Kordia' (Figs. 2 y 3). Esto coincide mas o menos con lo observado por Knoche et al., (2001), quienes determinaron que la máxima TCA del fruto se obtuvo a los 53 DDF, lo que se relaciona estrechamente con un mayor desarrollo de microfracturas a nivel cuticular y que aumentan el grado de susceptibilidad del fruto a partidura. Lo anterior, podría explicar de alguna forma el importante incremento de IP encontrado durante este período, especialmente en cultivares altamente susceptibles como 'Bing' y de moderada susceptibilidad como 'Stella' (Fig. 1).

Por otra parte, en este estudio se observó que la TAA aumentó progresivamente a medida que se avanzó en la fase III del fruto, existiendo diferencias significativas entre los cultivares evaluados (Fig. 4). En general el cultivar 'Bing', de mayor sensibilidad a partidura, presentó el valor promedio más alto de TAA ($81,2 \text{ mg H}_2\text{O h}^{-1} \text{ fruto}^{-1}$), seguido por "Stella" ($77,1 \text{ mg H}_2\text{O h}^{-1} \text{ fruto}^{-1}$) y finalmente por 'Kordia' ($56,7 \text{ mg H}_2\text{O h}^{-1} \text{ fruto}^{-1}$). Además, la inducción de partidura en los cultivares 'Bing' y 'Stella' (Fig. 1) se apreció cuando los frutos superaron una TAA de $67,2$ y $74,6 \text{ mg H}_2\text{O h}^{-1}$, respectivamente, mientras que en 'Kordia', cuando esta superó los $102 \text{ mg H}_2\text{O h}^{-1}$ (Fig. 4). Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos por Lane et al. (2000), quienes demostraron que el umbral de TAA a la cual los frutos comienzan a inducir partidura

difiere entre cultivares y es determinante por tanto en el grado de susceptibilidad varietal.

Por otra parte, en los cultivares 'Bing' y 'Stella', se encontró una relación significativa entre TCAM y TAA (Fig. 5). Esto demostraría que estos cultivares se ajustan a un patrón similar al descrito por Gilbert et al. (2005), quienes proponen que aumentos en conductancia de agua durante la fase III de la cereza estarían estrechamente ligados a incrementos en la TCAM del fruto, lo que se debería al aumento en la frecuencia de microfracturas en la cutícula del fruto que favorecen una mayor velocidad de transporte del agua (Peschel y Knoche, 2005). No obstante, en el cultivar 'Kordia' la inducción de partidura se evidenció bastante mas tarde (72 DDF) en comparación a los cultivares 'Bing' y 'Stella' (Fig. 1), y si bien es cierto, este cultivar presentó valores significativamente más bajos en TAA (Fig. 4), en este estudio la relación entre TCAM y TAA para este cultivar fue solo parcial y no significativa (Fig. 5). En este sentido, la explicación mas difundida es referida al patrón de maduración de la fruta; considerando que 'Kordia' es un variedad de cosecha más tardía en relación a 'Bing' y 'Stella' (Kulczewski, 2004; Ladner et al., 2004), esto potencialmente implicaría que para un mismo estado de crecimiento de la fruta, esta poseería una menor concentración de azúcares y menor potencial osmótico y que consecuentemente reduciría el flujo de agua hacia el fruto y el potencial de partidura, como ha sido previamente propuesto (Christensen, 1972a; Sekse, 1998).

Sin embargo, en este estudio no se encontró una diferencia significativa en la concentración de azúcares entre los cultivares estudiados (datos no mostrados), lo que concuerda con trabajos recientes que demuestran que no existe una relación clara entre la acumulación de azúcares, potencial osmótico y la incidencia de partidura entre cultivares con distinto grado de susceptibilidad (Moing et al., 2004). Una hipótesis alternativa es la planteada por Yamaguchi et al. (2003), quienes trabajando con cultivares altamente resistentes a partidura como 'Valera' y 'Schwartz Venus', observaron que en sus frutos la fase III de crecimiento se inició más tarde y fue más corta, en relación a cultivares mas susceptibles, lo que implicaría un período más extenso de división celular (fase I) y endurecimiento del endocarpio (fase II), dando lugar por tanto a una expansión del mesocarpio de corta duración (fase III). Lo anterior daría como resultado una menor expansión en células del meso y exocarpio, factor que sería determinante en una menor inducción de partidura en cerezas, tal como lo demuestran en previos reportes Yamaguchi et al. (2002).

En este estudio se observó que en el cultivar 'Kordia', la tasa de crecimiento de los frutos fue más lenta al inicio de la fase III (entre 51 y 58 DDF)

presentando un solo 'peak' máximo de TCAD y TCAM, el cual se alcanzó tardíamente (72 DDF), y que supera significativamente a los de 'Bing' y 'Stella' (Figs. 2 y 3), coincidiendo además con el período en que se comenzó a evidenciar daño por partidura en este cultivar (Fig. 1). De lo anterior, se puede deducir que los frutos de 'Kordia' presentarían una fase III más tardía y corta, en relación a los otros dos cultivares, lo que al parecer estaría jugando un rol importante en la resistencia a partidura por parte de este cultivar. Para validar estos resultados se requiere de futuros estudios que permitan precisar aún más las diferencias encontradas en el patrón de crecimiento de fruto en estos cultivares, así como también la evaluación del efecto de la dinámica de crecimiento del fruto sobre parámetros anatómicos específicos y relevantes, tales como son el tamaño de células, elasticidad de la cutícula y desarrollo de microfisuras, tal como se ha indicado en recientes estudios (Yamaguchi et al. 2003; Peschel y Knoche, 2005; Bargel y Neinhuis, 2005).

CONCLUSIONES

A partir de los resultados, se puede concluir que el patrón de crecimiento de fruto es un carácter fisiológico que difiere significativamente entre un cultivar de cerezo resistente y susceptible a partidura. El análisis de dinámica de crecimiento de fruto presenta un interesante potencial como herramienta de apoyo en la selección de variedades resistentes a partidura en cerezo. En futuras investigaciones será muy importante cuantificar el efecto del patrón de crecimiento del fruto sobre aspectos anatómicos en esta, que no fueron evaluados en este estudio, pero que estarían jugando un importante rol sobre el transporte de agua y grado de susceptibilidad a partidura en esta especie.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los Drs. Brunella Morandi y Luigi Manfrini del Departamento de Fruticultura de la Universidad de Bolonia, Italia, por sus aportes en el análisis de resultados de la presente investigación.

BIBLIOGRAFIA

- Bargel, H., and C. Neinhuis. 2005. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit growth and ripening as related to the biomechanical properties of fruit skin and isolated cuticle. *J. Exp. Bot.* 56(413):1049-1060.
- Borve, J., and L. Sekse. 2000. Cuticular fractures promote postharvest fruit rot in sweet cherries. *Plant Dis.* 84(11):1180-1184.
- Coombe, W.G. 1976. The development of fleshy fruits. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 27:207-228.
- CTIFL. 2005. Code Couleur per Cerise. Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes. Paris, France. 7 p.
- Christensen, J. V. 1972a. Cracking in cherries. IV. Physiological studies of the mechanism of cracking. *Acta Agriculturae Scandinavica* 22:153-162.
- Christensen, J. V. 1972b. Cracking in cherries. III. Determination of cracking susceptibility. *Acta Agriculturae Scandinavica* 22:128-129.
- Christensen, J.V. 1973. Cracking in cherries. VI. Cracking susceptibility in relation to the growth rhythm of the fruit. *Acta Agriculturae Scandinavica* 23:52-54.
- Gilbert, C., F. Lescorruet, M. Génard, G. Verambre, and A. Pérez Pastor. 2005. Modelling the effect of fruit growth on surface conductance to water vapor diffusion. *Ann. Bot.* 95:673-683.
- Grossman, Y., and T. DeJong. 1995. Maximum fruit growth potential following resource limitation during peach growth. *Ann. Bot.* 75:561-567.
- Jedlow, L., and L. Schrader. 2005. Fruit cracking and splitting. In: M.D. Whiting (ed.). *Producing Premium Cherries*. Pacific Northwest Fruit School. Cherry Short Course Proceeding, Whashington, USA. p. 65-66.
- Knoche, M., S. Peschel, M. Hinz, and M. Bukovac. 2001. Studies on water transport through the sweet cherry fruit surface: Conductance of the cuticle in relation to fruit development. *Planta* 213:927-936.
- Kulczewski, M. 2004. Visión de los portainjertos y principales variedades de cerezas en Chile. Ciclo de Seminarios Frutícolas de Actualización Técnico Comercial. Asociación de Exportadores de Chile A.G. Santiago, Chile.
- Ladner, J., Th. Schwizer, S. Gatner, A. Lahuser, and B. Napflin. 2004. Sorten- und Unterlagengewahl im Tafelkirschenanbau. *Flugschrift* 1-1.
- Lane, W., M. Meheriuk, and D. MacKenzie. 2000. Fruit cracking of a susceptible, an intermediate, and a resistant sweet cherry cultivar. *HortScience* 35(2):239-242.
- Lugli, S., S. Sansavini, e W. Monari. 2001. Prevenzione delle spaccature dei frutti di ciliegio con coperte plastiche. *Rivista di Frutticoltura* 63(3):24-31.
- Moing, A., Ch. Renaud, H. Christmann, L. Foulhau, Y. Tauzin, A. Zaneto, et al. 2004. Is there a relation between changes in osmolarity of cherry fruit flesh or skin and fruit cracking susceptibility?. *J. Amer.Soc.Hort.Sci.* 129(5):635-641.
- Muñoz, A. P. 2007. Factores de susceptibilidad a partidura de frutos de cerezo (*Prunus avium* L.). Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. Chillán, Chile.

- Peschel, S., and M. Knoche. 2005. Characterization of microcracks in the cuticle of developing sweet cherry fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130(4):487-495.
- Raffo, D., M. Curetti, y A. Rodríguez. 2007. Curvas de crecimiento en cerezas. Boletín Técnico 14. Serie INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Río Negro, Argentina.
- Raffo, D. y L. Mañueco. 2009. Curvas de crecimiento en cerezas (II Parte). Boletín Técnico 41. Serie INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Río Negro, Argentina.
- Sekse, L. 1995. Fruit cracking in sweet cherries (*Prunus avium* L.). Some physiological aspects: a mini review. *Scientia Horticulturae* 63:135-141.
- Sekse, L. 1998. Fruit cracking mechanism in sweet cherries (*Prunus avium* L.). A review. *Acta Horticulturae* 468:637-648.
- Serri, H., A. Venegas, y J. Ocampo. 2005. El cerezo en la VIII Región de Chile. En: G. Lemus (ed.) *El Cultivo del Cerezo*. Boletín INIA N° 133. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile. 256 p.
- Simon, G. 2006. Review on rain induced fruit cracking of sweet cherries (*Prunus avium* L.), its causes and the possibilities of prevention. *International Journal of Horticultural Science* 12(3):27-35.
- Statpoint Technologies Inc. 2009. STATGRAPHICS® Centurium XVI. Manuale d'uso. 291 p.
- Valenzuela, L. 2007. Partidura en cerezas: causas y prevención. *Rev. Frut.* 28(2):54-64.
- Webster, T., and J. Cline. 1994. All about cherry cracking. *Tree Fruit Leader* 3(2). Available at: <http://www.agf.gov.bc.ca/treefrt/newslett/cherrycracking.htm>- (Accessed March 2010)
- Yamaguchi, M., I. Sato, and M. Ishiguro. 2002. Influences of epidermal cell sizes and flesh firmness on cracking susceptibility in sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars and selections. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 71(6):738-746.
- Yamaguchi, M., I. Sato, A. Watanabe, and M. Ishiguro. 2003. Cultivar differences in exocarp cell growth at apex, equator, stalk cavity and suture during fruit development in sweet cherry (*Prunus avium* L.). *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 72(6):465-472.

Recibido: 08.04.2010

Aceptado: 26.07.2010