



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**EFFECTO DE DISTINTOS REGÍMENES HÍDRICOS Y DE LA
APLICACIÓN DE CALCIO Y CAOLINITA SOBRE LA INCIDENCIA DE
PARTIDURA EN FRUTOS DE GRANADO ‘WONDERFUL’**

Tesis para optar al Grado de Magister en Ciencias Agropecuarias, Mención
Producción Frutícola

JAIME IGNACIO OTÁROLA ALIAGA

Director de Tesis
NICOLÁS FRANCK BERGER

Profesores consejeros
CLAUDIO PASTENES VILLARREAL
KAREN SAGREDO URRA

SANTIAGO – CHILE

2015

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**EFEECTO DE DISTINTOS REGÍMENES HÍDRICOS Y DE LA APLICACIÓN DE
CALCIO Y CAOLINITA SOBRE LA INCIDENCIA DE PARTIDURA EN FRUTOS DE
GRANADO ‘WONDERFUL’.**

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al Grado de Magíster en Ciencias
Agropecuarias, Mención Producción Frutícola.

JAIME IGNACIO OTÁROLA ALIAGA

Calificaciones

DIRECTOR DE TESIS

Nicolás Franck Berger
Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph.D.

Aprobado

PROFESORES CONSEJEROS

Claudio Pastenes Villarreal
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

Aprobado

Karen Sagredo Urrea
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

Aprobado

Santiago, Chile

2015

ÍNDICE

	Página
CAPÍTULO I: MONOGRAFÍA	1
Revision Bibliográfica	1
Antecedentes sobre la partidura del fruto en granado	1
LITERATURA CITADA.....	5
CAPÍTULO II: EFECTO DE DISTINTOS REGÍMENES HÍDRICOS Y DE LA APLICACIÓN DE CALCIO Y CAOLINITA SORE LA INCIDENCIA DE PARTIDURA EN FRUTOS DE GRANADO ‘WONDERFUL’	9
RESUMEN.....	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
HIPÓTESIS	12
OBJETIVOS	13
Objetivo general	13
Objetivos específicos	13
MATERIALES Y MÉTODO	14
Características generales	14
Tratamientos.....	15
Ensayo de riego.....	15
Ensayo de calcio y caolinita.....	17
Evaluaciones	18
Evaluaciones realizadas en ambos ensayos.....	18
Descripción del crecimiento del fruto	18
Componentes del rendimiento.....	18
Permeabilidad de la cáscara	19
Evaluaciones realizadas exclusivamente en el ensayo de riego.....	19
Contenido de agua en el suelo.....	19
Interceptación de la radiación por la copa del árbol	20
Parámetros fisiológicos	20
Evaluaciones realizadas exclusivamente en el ensayo de calcio y caolinita.....	21
Temperatura del fruto.....	21
Contenido de calcio en la fruta.....	21
Análisis estadístico.....	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
Descripción del crecimiento del fruto	22
Contenido de agua del fruto	23

Materia seca del fruto.....	24
Ensayo de riego.....	27
Evapotranspiración de cultivo.....	27
Volumen de agua aplicado.....	29
Contenido de agua en el suelo.....	30
Potencial hídrico xilemático.....	34
Fotosíntesis neta y conductancia estomática.....	35
Temperatura de la hoja y del fruto.....	39
Componentes del rendimiento y EUA.....	40
Calidad del fruto.....	42
Partidura del fruto.....	45
Ensayo de aplicación de calcio y caolinita.....	46
Temperatura del fruto.....	46
Componentes del rendimiento.....	48
Calidad del fruto.....	50
Partidura del fruto.....	52
Modelo de partidura.....	54
CONCLUSIONES.....	62
LITERATURA CITADA.....	63
APÉNDICE.....	69
Apéndice I.....	69
Apéndice II.....	70
Apéndice III.....	71
Apéndice IV.....	71
Apéndice V.....	72
Apéndice VI.....	73
Apéndice VII.....	73

Índice de Cuadros

Página

Cuadro 1. Tratamientos de la aplicación foliar de calcio y caolinita.....	17
Cuadro 2. Agua aplicada en los distintos tratamientos y estados fenológicos del cultivo	30
Cuadro 3. Efecto de los distintos regímenes hídricos sobre los componentes del rendimiento de granado ‘Wonderful’ temporada 2012 – 2013.....	41
Cuadro 4. Efecto de los distintos regímenes hídricos sobre la calidad de la fruta de granado ‘Wonderful’ en la temporada 2012 – 2013	43
Cuadro 5. Efecto de la aplicación de caolinita y la exposición de los frutos sobre la temperatura media de la cáscara a distintas horas del día.....	46
Cuadro 6. Efecto de la aplicación de calcio (A) y caolinita (B) sobre los componentes del rendimiento en granado ‘Wonderful’	49
Cuadro 7. Efecto de la aplicación de calcio (A) y caolinita (B) sobre los algunos parámetros de calidad del fruto.....	51
Cuadro 8. Momento en el que se inicia y se alcanza el 50% de partidura (días después de cuaja)	53
Cuadro 9. Efecto de la aplicación de caolinita y los tratamientos de riego sobre el grosor y el ángulo de contacto al momento de cosecha.....	56

Índice de Figuras

Página

Figura 1. Tratamientos de riego aplicados durante la temporada 2012 – 2013 asociados a la evolución estacional del diámetro y las etapas de crecimiento del fruto.....	16
Figura 2. Aplicación de calcio y caolinita en función del crecimiento del fruto.	17
Figura 3. Ángulo de contacto entre una gota de agua y una superficie hidrofílica (A) e hidrofóbica (B)	19
Figura 4. Diagrama de medición de la radiación solar que intercepta la planta en el marco de plantación (5 x 3 m)	20
Figura 5. Crecimiento del fruto en términos de peso fresco y diámetro ecuatorial a lo largo de la temporada (n=10).....	22
Figura 6. Evolución del contenido de agua en el fruto, cáscara y arilos desde cuaja hasta cosecha, en la primera (A) y segunda (B) cohorte floral	23
Figura 7. Evolución de la proporción de agua destinada a la cáscara y a los arilos con respecto al agua total del fruto en la primera (C1) y segunda (C2) cohorte floral	24
Figura 8. Variación de la fracción seca del peso de los arilos, cáscara y fruto, de la primera cohorte floral, durante la temporada (n=10).....	25
Figura 9. Evolución de la materia seca (MS) y grosor de la cáscara a lo largo de la temporada (n=10).....	26
Figura 10. Evolución del peso fresco y materia seca (MS) de los arilos a lo largo de la temporada (n=10).....	27
Figura 11. Fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por las plantas (f) en distintos momentos de la temporada (A), y evolución de la evapotranspiración de referencia (ET_0), evapotranspiración de cultivo (ET_C) y del coeficiente de cultivo (K_C) a lo largo de la temporada (B)	28
Figura 12. Fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la planta al mediodía en cada tratamiento de riego, evaluada en distintos momentos de la temporada	29
Figura 13. Evolución del contenido de agua promedio en los primeros 40 cm de profundidad en cada tratamiento de riego (n=2), y tiempo de riego.....	31
Figura 14. Evolución del contenido de agua en el suelo en los primeros 20 cm de profundidad de suelo, y tiempo de riego durante la temporada	32
Figura 15. Evolución continua del contenido de agua en el suelo los días previos y posteriores a la implementación de T3 (A) y a la finalización de T3 (B).....	33
Figura 16. Evolución del potencial hídrico xilemático a lo largo de la temporada (n=6).....	34

Figura 17. Evolución estacional de (A) la fotosíntesis neta (P_n) y (B) la conductancia estomática (g_s) en todos los tratamientos de riego.....	36
Figura 18. Relación entre la conductancia estomática (g_s) y el déficit de presión de vapor (DPV) al mediodía solar en las distintas etapas de crecimiento del fruto	37
Figura 19. Relación entre la conductancia estomática (g_s) y la fotosíntesis neta instantánea (P_n) en cada tratamiento de riego.....	38
Figura 20. Relación entre EUA_i y temperatura de la hoja (A), y entre EUA_i y déficit de presión de vapor (B).....	39
Figura 21. Temperatura de la hoja (A) y del fruto (B) a distintas horas del día, de acuerdo a su exposición, donde E corresponde a la exposición este y O corresponde a la exposición oeste.....	40
Figura 22. Relación entre la carga frutal (frutos/árbol) y el peso promedio del fruto en cada tratamiento de riego ($n = 6$)	41
Figura 23. Peso promedio del fruto a cosecha en cada tratamiento de riego y diferencial de peso con respecto al testigo (0).....	42
Figura 24. Porcentaje de daño por ‘russet’ (A), golpe de sol (B) y partidura (C) a cosecha en cada tratamiento de riego.....	44
Figura 25. Variación del porcentaje de partidura diaria en dos períodos de maduración de la fruta en el ensayo de riego.....	45
Figura 26. Temperatura de la cáscara en función de la temperatura del aire en frutos con (C) y sin (S) aplicación de caolinita.....	47
Figura 27. Evolución del porcentaje de fruta con golpe de sol (daño leve, moderado y severo) en frutos con (C) y sin (S) la aplicación de caolinita	48
Figura 28. Peso promedio del fruto en cada tratamiento y diferencial de peso con respecto a T5 (C/cao + 2 Ca), según regresión lineal entre el peso y la carga frutal.....	50
Figura 29. Porcentaje de daño por golpe de sol (A) y partidura (B) en frutos sin y con aplicación de caolinita evaluado al momento de cosecha (184 días después de cuaja).....	51
Figura 30. Variación del porcentaje de partidura diaria en dos períodos de maduración de la fruta en el ensayo de calcio y caolinita.....	52
Figura 31. Evolución de los sólidos solubles y el ángulo de contacto (A); y, el grosor y humedad de la cáscara (B), desde cosecha hasta un mes postcosecha en el ensayo de riego y en el ensayo de calcio y caolinita (cacao)	55
Figura 32. Coeficiente de correlación entre el porcentaje de partidura y diferentes variables biométricas del fruto y cáscara	56
Figura 33. Análisis de componentes principales entre algunas variables biométricas y la fruta partida (P) y no partida (NP) en el ensayo de aplicación de calcio y caolinita.....	57
Figura 34. Análisis de componentes principales entre algunas variables biométricas y la fruta partida (P) y no partida (NP) en el ensayo de riego.....	58

Figura 35. Coeficiente de correlación entre el porcentaje de partidura y dos indicadores resultantes del cociente entre algunas variables biométricas del fruto y cáscara	59
Figura 36. Relación entre la partidura predicha y la observada en el ensayo de riego y en el de aplicación de calcio y caolinita (Ca-ca).....	59
Figura 37. Relación significativa entre la partidura observada y el grosor de la cáscara en ambos ensayos	60
Figura 38. Relación significativa entre la partidura observada y los indicadores: Sólidos solubles/grosor cáscara (A) y Peso fruto/grosor cáscara (B)	61

CAPÍTULO I: MONOGRAFÍA

Revisión bibliográfica

Antecedentes sobre la partidura del fruto en granado

El granado (*Punica granatum* L.) es un frutal de hoja caduca adaptado a condiciones de clima árido y semiárido (Prat y Botti, 2002). Su cultivo es originario de Irán, sin embargo, debido a su gran resistencia a la sequía, se ha expandido hacia el Mediterráneo y América. Estas regiones, con estaciones climáticas bien marcadas, permiten excelentes producciones de fruta (Jackson y Looney, 1999). En la actualidad el cultivo del granado ha tenido una excelente aceptación por el consumidor, especialmente en el mercado europeo (Franck, 2009), debido a las propiedades químicas de sus frutos en línea con el creciente consumo de alimentos funcionales que ha revolucionado la nutrición humana (Halvorsen et al., 2002). El jugo de la semilla de sus frutos (arilos) posee un alto contenido de antioxidantes (Ozgen et al., 2008; Yildiz et al., 2009; Legua et al., 2012), los cuales tienen la capacidad de prevenir diversas enfermedades cardiovasculares (De-Pascual y Sánchez, 2008) y ciertos tipos de cáncer (Bell y Hawthorne 2008). Según Halvorsen et al. (2002), los antioxidantes vegetales (antocianinas y compuestos fenólicos) son capaces de neutralizar los radicales libres de oxígeno, causantes del deterioro celular y aparición de enfermedades degenerativas como el Parkinson y el Alzheimer. Es por esta razón que la demanda por esta fruta y sus elaborados ha ido en aumento, permitiendo con ello un incremento de la superficie cultivada en nuestro país (Quiroz, 2009). En Chile, según Odepa (2011), la superficie total cultivada con granado alcanza las 750 ha y su producción se ubica fundamentalmente entre las regiones de Atacama (III) y Coquimbo (IV), siendo ‘Wonderful’ la principal variedad comercial cultivada.

Debido a su resistencia a la sequía (Intrigliolo et al., 2011) y tolerancia a la salinidad (Bhantana y Lazarovitch, 2010), esta especie puede ser cultivada en suelos marginales, como los situados en el Norte Chico de Chile (Prat y Botti, 2002). En esta zona el cultivo se desarrolla bien y puede alcanzar adecuadas producciones (Franck, 2010). El principal destino de la fruta es el mercado de exportación hacia Europa (Quiroz, 2009) y en este contexto, para obtener buenos retornos al productor, es necesario alcanzar un nivel productivo aceptable en términos de cantidad y calidad de la fruta. No obstante, en la mayoría de las zonas donde se cultiva el granado -y Chile no es la excepción- existe un problema en precosecha asociado a la maduración de la fruta que afecta a la cáscara del fruto, la cual sufre una partidura dejando expuestos los arilos al ambiente (Holland et al., 2009). Esto repercute directamente sobre la fracción de la cosecha que es exportable (Franck, 2010).

De acuerdo a Melgarejo y Salazar (2003), la partidura de frutos es uno de los principales problemas de precosecha y se han reportado pérdidas de hasta un 50% de la producción. Estos autores afirman que cuando el fruto se encuentra en un estado avanzado de desarrollo (incluso hasta dos semanas antes de la cosecha), la tasa de crecimiento del interior del fruto

supera a la tasa de crecimiento de las células de la cáscara, por lo que, bajo determinadas circunstancias, se produce la partidura de ésta. Generalmente la partidura se presenta longitudinalmente en el fruto y se forma, inicialmente, como pequeñas fisuras desde la inserción del pedúnculo hacia la corona. En ocasiones, cuando el daño es muy severo, no existe un patrón determinado de partidura, incluso puede ocurrir en distintas zonas del fruto y en todas direcciones (Holland et al., 2009).

Este problema ha sido atribuido a diversas causas, entre ellas el régimen de riego (Khattab et al., 2011), la incidencia de lluvias próximas a la cosecha (Simon, 2006; Galindo et al., 2014), un desbalance nutricional (Hepaksoy et al., 2000), la deshidratación de la cáscara asociada al golpe de sol (Bacha et al., 1979, citado por El-Khawaga, 2007), mientras que en otros estudios ha sido asociado a la variedad (Yilmaz y Özgüven, 2009) y al nivel de la carga frutal (Franck, 2010). En términos fisiológicos, la partidura se produciría por una mayor concentración de azúcares y solutos en los arilos del interior del fruto en comparación a la cáscara, generando un gradiente que permite un flujo de agua hacia los arilos, favoreciendo así una tasa de expansión más rápida que la cáscara (Verner, 1935). Según Yuan et al. (2012), la capacidad de expansión de la cáscara es un factor importante en la resistencia a la partidura y su magnitud es afectada por las condiciones climáticas.

En este sentido, la cáscara del fruto es susceptible a las condiciones climáticas adversas, como bruscas variaciones de la humedad relativa (Yuan et al., 2012) y alta radiación y temperatura (Melgarejo et al., 2004; Weerakkody et al., 2010). Bajo estas condiciones, la cáscara y el interior del fruto pueden alcanzar altos niveles de temperatura (T°) que, en casos extremos, pueden ocasionar la deshidratación de la cáscara y posteriormente el golpe de sol (Yazici y Kaynak, 2009b). Este daño por radiación directa en la cáscara se correlaciona positivamente con la temperatura alcanzada por la epidermis de la fruta y, según lo propuesto por Yazici y Kaynak (2009b), el daño se evidencia cuando la temperatura de la cáscara alcanza los 41°C . Estos niveles de temperatura se alcanzan fácilmente a una temperatura ambiental de 30°C y cuando la radiación global incidente supera los 700 W m^{-2} .

Se postula que, en frutos de manzano, el golpe de sol es causado, en primera instancia, por efecto de la acumulación de especies reactivas de oxígeno, lo cual afecta la integridad de la membrana y la funcionalidad celular (Wünsche et al., 2004). Esto se traduce en un menor depósito de celulosa sobre la pared celular, disminuyendo su espesor y firmeza (Hao y Huang, 2004) y conduciendo, en consecuencia, a una menor resistencia a la partidura (Yuan et al., 2012). Es por este motivo que surge la necesidad de otorgar protección a la cáscara del fruto en situaciones en que los factores climáticos afecten negativamente la integridad celular y, por consiguiente, aumente el riesgo de partidura.

Para evitar los daños en la cáscara existen distintas prácticas de manejo como los sistemas de enfriamiento por evaporación, el uso de mallas y la aspersión de partículas reflectantes. Esta última práctica ha sido utilizada con gran aceptación en pomáceas (Glenn et al., 2002; Wünsche et al., 2004; Gindaba y Wand, 2005) y en granado (Yazici y Kaynak, 2009a; Weerakkody et al., 2010; Díaz, 2012), reportándose también un efecto positivo sobre la reducción de la partidura del fruto (El-Rhman, 2010). Este material particulado de color blanco, denominado caolinita, permite reducir la absorción de luz en el fruto,

particularmente la radiación ultravioleta UV-B (Glenn et al., 2002). Aspersiones de este producto generan una película fina sobre frutos y hojas (Surround® WP, Engelhard Corporation, NJ, EE.UU), la cual ha dado efectivos resultados ya que logra disminuir la temperatura de la superficie del fruto bajo el umbral en que se produce el golpe de sol (Wünsche et al., 2004; Yazici y Kaynak, 2009a).

Los valles interiores de la Región de Coquimbo de Chile son importantes zonas productoras de granado. En estos, las condiciones de temperatura y radiación solar en la época estival son excelentes para el desarrollo del fruto y, en algunos periodos, tan elevadas que gatillan un importante daño por golpe de sol (Opazo, 2012), condición que afecta la integridad celular de la cáscara. En este sentido, la aplicación de caolinita podría ser una excelente alternativa para proteger la cáscara del fruto ante dichas condiciones climáticas. Adicionalmente, se ha reportado que la aplicación de caolinita tiene efectos positivos sobre el rendimiento (Gindaba y Wand, 2005) y color (Glenn y Puterka, 2007) en manzanos, mientras que en granado ha tenido buenos resultados sobre algunos parámetros de calidad como sólidos solubles, acidez y peso de fruta (El-Rhman, 2010). Sin embargo, la información existente en el uso de caolinita en granado se ha enfocado principalmente en prevenir el golpe de sol y no en controlar la partidura de los frutos. Es por ello que se necesita evaluar su efecto protector de la cáscara y asociarlo al control de la partidura.

Por otro lado, una herramienta que ha dado excelentes resultados para controlar el problema de la partidura en granado, y para mantener la integridad y firmeza de la cáscara, es complementar diversas estrategias de manejo como aplicaciones foliares de algunos nutrientes minerales (Yilmaz y Özgüven, 2006; El-Khawaga, 2007; Yilmaz y Özgüven, 2009; Sharma y Belsare, 2011; Sheikh y Manjula, 2012) con un manejo óptimo del riego (Franck, 2010; Khattab et al., 2011; Opazo, 2012).

Entre los nutrientes esenciales encargados de dar firmeza e integridad a las paredes celulares se encuentra el calcio (Simon, 2006). Este elemento se encuentra en forma de pectato de calcio y está encargado de mantener la unión entre células, debido a que es un constituyente importante de la lamela media (Taiz y Zeiger, 2002). Al respecto, se ha reportado que aplicaciones foliares de este elemento pueden disminuir las pérdidas de rendimiento asociados a la partidura del fruto; en cerezas (Weichert et al., 2004; Simon, 2006) y en frutos de lichi (Huang et al., 2005).

Según Huang et al. (2005), la deficiencia de calcio causa severos problemas de partidura. Estos autores destacan la importancia de alcanzar un nivel adecuado de este catión en la fruta debido al rol estructural que ejerce en la pared celular de la cáscara, razón por la cual las aplicaciones foliares de calcio han registrado promisorios resultados para controlar la partidura del fruto en granado (Sheikh y Manjula, 2012; Messaoudi et al., 2012). Por otra parte, el efecto de su aplicación varía de acuerdo a la dosis y al momento de aplicación. De acuerdo a lo señalado por Ramezani et al. (2009), las aplicaciones foliares tempranas podrían favorecer un mayor contenido de este elemento en la fruta ya que, en el transcurso de la temporada, la concentración de calcio, tanto en la cáscara como en los arilos, tiende a disminuir hasta cosecha (Mirdehghan y Rahemi, 2007). En este contexto, el calcio es un elemento inmóvil en la planta y circula a través de ella vía xilemática gracias a la corriente transpiratoria (Del Amor y Marcelis, 2006). En algunas especies frutales, a medida que el

fruto madura, se produce una disfuncionalidad del xilema (Tilbrook y Tyerman, 2008), por lo cual la acumulación de calcio en la fruta ocurre durante las primeras etapas de desarrollo y depende básicamente de su disponibilidad en el suelo y de un buen estado hídrico de la planta (Khattab et al., 2011). Para asegurar un óptimo estado hídrico y una alta transpiración de la planta es importante un adecuado manejo del riego. Al respecto, a nivel nacional, una serie de estudios llevados a cabo por el Centro de Estudios de Zonas Áridas (CEZA) de la Universidad de Chile, han generado información base para el manejo agronómico del cultivo del granado. Estos estudios han permitido definir los requerimientos hídricos (Castillo et al., 2009) y la prospección de criterios de riego para disminuir la incidencia de partidura (Franck, 2010; Opazo, 2012), entre otros aspectos.

Si bien el granado es una especie que responde positivamente a la disponibilidad de agua (Castillo et al., 2009; Khattab et al., 2011), también puede tolerar cierto grado de estrés hídrico dependiendo de la etapa de crecimiento en la que se encuentren sus frutos (Franck 2010). De acuerdo a esto, se han propuesto diversos manejos hídricos para reducir la partidura, entre ellos el aumento paulatino de la disponibilidad de agua desde maduración a cosecha, evitando así que las eventuales lluvias de otoño resulten en fluctuaciones abruptas del contenido de agua en el suelo (Franck, 2009).

Cabe mencionar que los frutos de granado presentan una variación estacional en su diámetro, originando una curva de tipo doble sigmoidea con tres etapas definidas (García, 2011): una Etapa I, caracterizada por un rápido crecimiento del fruto; una Etapa II en la cual el fruto reduce levemente su tasa de crecimiento, y por último, una Etapa III, en que el fruto retoma una alta tasa de crecimiento hasta cosecha, dada principalmente por la acumulación de agua. Resultados preliminares de Opazo (2012) sugieren que un déficit hídrico moderado, impuesto en las primeras etapas de crecimiento del fruto, disminuye el nivel de partidura sin afectar significativamente el rendimiento del granado 'Wonderful'. El déficit hídrico impuesto en las primeras etapas de desarrollo del fruto afectarían, entre otros procesos, a la división y elongación celular de la parte interna (arilos), disminuyendo el tamaño potencial de los arilos en la etapa de maduración, lo que se traduciría en una menor presión al interior del fruto, favoreciendo de esta manera su resistencia a la partidura (Galindo et al., 2014). La restricción de agua en ciertos períodos del crecimiento del fruto cobra gran importancia en escenarios de permanente escasez hídrica ya que, junto con promover el uso eficiente del agua, contribuye además al aumento de la superficie regada en eventos de sequía. Actualmente las regiones de importancia para la producción de granado (Atacama y Coquimbo) están enfrentando un serio problema de sequía que, en los últimos cuatro años, ha causado graves pérdidas productivas en los principales cultivos, por lo cual es de gran relevancia disminuir las aplicaciones del agua de riego con el fin de mejorar la eficiencia en el uso del agua (EUA) en granado y en otras especies frutales.

LITERATURA CITADA

- Bell, C. and S. Hawthorne. 2008. Ellagic acid, pomegranate and prostate cancer-a mini review. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 60:130-144.
- Bhantana, P and N. Lazarovitch. 2010. Evapotranspiration, crop coefficient and growth of two young pomegranate (*Punica granatum* L.) varieties under salt stress. *Agricultural Water Management* 97: 715-722.
- Castillo, M., F. Alfaro, C. Kremer y N. Franck. 2009. Efecto de diferentes niveles de restricción hídrica sobre el desarrollo y producción del granado (*Punica granatum* L.) cv. Wonderful. In: 60° Congreso Agronómico de Chile. Talca, Chile. 27-31 de octubre, 2009.
- De Pascual, T. and M. Sanchez. 2008. Anthocyanins: from plant to health. *Phytochemistry Reviews* 7: 281-299.
- Del Amor, F. and L. Marcelis. 2006 Differential effect of transpiration and Ca supply on growth and Ca concentration of tomato plants. *Scientia Horticulturae* 111(1): 17-23.
- Díaz, I. 2012. Evaluación de tres métodos para el control del golpe de sol en frutos de granado (*Punica granatum* L.). Fac. Cs. Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 44p.
- El-Khawaga, A. 2007. Reduction in fruit cracking in manfaluty pomegranate following a foliar application with paclobutrazol and zinc sulphate. *Journal of Applied Sciences Research* 3(9): 837-840
- El-Rhman, A. 2010. Physiological studies on cracking phenomena of pomegranates. *Journal of Applied Sciences Research* 6(6): 696-703.
- Franck, N. 2009. Seminario “Granados, perspectivas y oportunidades de un negocio emergente”: Producción y manejo de plantaciones de granado. Fundación Chile. Santiago, Chile. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/44529052/Estudio-de-Granada>. Leído el 10 de julio de 2012.
- Franck, N. 2010. ABC del Cultivo del Granado. *Aconex* 105 (enero – marzo): 12-19.
- Galindo, A., P. Rodríguez, J. Collado-González, Z. Cruz, E. Torrecillas, S. Ondoño, M. Corell, A. Moriana and A. Torrecillas. 2014. Rainfall intensifies fruit peel cracking in water stressed pomegranate trees. *Agricultural and Forest Meteorology* 194: 29–35.
- García, K. 2011. Estimación de la acumulación de biomasa y extracción estacional de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en plantas de granado (*Punica granatum* L.). Fac. Cs. Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 95p.

Gindaba, J. and S. Wand. 2005. Comparative effects of evaporative cooling, kaolin particle film and shade net on sunburn and fruit quality in apples. *HortScience* 40(3): 592-596.

Glenn, D., E. Prado, A. Erez, J. Mcferson and G. Puterka. 2002. A reflective, processed-kaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection, and solar injury in apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127(2): 188-193.

Glenn, D. and G. Puterka. 2007. The use of plastic films and sprayable reflective particle films to increase light penetration in apple canopies and improve apple color and weight. *HortScience* 42(1): 91-96.

Halvorsen, B., K. Holte, M. Myhrstad, I. Barikmo, E. Hvattum, S. Remberg, A. Wold, K. Haffner, H. Baugerod, L. Andersen, J. Moskaug, D. Jacobs and R. Blomhoff. 2002. A systematic screening of total antioxidants in dietary plants. *Journal of Nutrition*. 132: 461-471.

Hao, Y. and W. Huang. 2004. Changes in antioxidative system and cell ultrastructure in the fruit peels of apple during sunburn development. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology* 30(1): 19-26.

Hepaksoy, S., U. Aksoy, H. Can and M. Ui. 2000. Determination of relationship between fruit cracking and some physiological responses, leaf characteristic and nutritional status of some pomegranate varieties. *Options Méditerranéennes. Série A, Séminaires Méditerranéens*. 42: 87-92.

Holland, D., Hatib, K. and I. Bar-Ya'akov. 2009. Pomegranate: Botany, Horticulture, Breeding. *Horticultural Reviews* 35: 127-191.

Huang, X., H. Wang, J. Li, J. Yin, W. Yuan, J. Lu and H. Huang. 2005. An overview of calcium's role in lychee fruit cracking. *Acta Horticulturae* 665: 231-240.

Intrigliolo, D., E. Nicolas, L. Bonet, P. Ferrer, J. Alarcón and J. Bartual. 2011. Water relations of field grown Pomegranate trees (*Punica granatum* L.) under different drip irrigation regimes. *Agricultural Water Management* 98: 691–696.

Jackson, D. and N. Looney. 1999. Temperate and subtropical fruit production. CABI Publishing. New York, USA. 332p.

Khattab M., A. Shaban, A. El-Shrief and A. El-Deen Mohamed. 2011. Growth and productivity of pomegranate trees under different irrigation levels. III: leaf pigments, proline and mineral content. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants* 3(3): 265-269.

Legua, P., P. Melgarejo, H. Abdelmajid, J. Martínez, R. Martínez, H. Ilham, H. Hafida and F. Hernández. 2012. Total phenols and antioxidant capacity in 10 moroccan pomegranate varieties. *Journal of Food Science* 71(1): 115-120.

Melgarejo, P. y D. Salazar. 2003. Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Volumen II: el granado, el algarrobo y el jijonero. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 430 p.

Melgarejo, P., J. Martínez, F. Hernández, R. Martínez-Font, P. Barrows and A. Erez. 2004. Kaolin treatment to reduce pomegranate sunburn. *Scientia Horticulturae* 100: 349–353.

Messaoudi, Z., Z. Il-Idrissi et F. Khatib. 2012. Effets de quelques pulvérisations foliaires sur l'éclatement des grenades sous les conditions du Tadla (Maroc). *Options Méditerranéennes* 103:155-158.

Mirdehghan, S. and M. Rahemi. 2007. Seasonal changes of mineral nutrients and phenolics in pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit. *Scientia Horticulturae* 111: 120–127.

Odepa. 2011. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Estadísticas: Superficie de frutales. Disponible en: <http://www.odepa.gob.cl/util/Web.action;jsessionid=7ECBBAF23462C1924FB766BCFE1C3504>. Leído el 10 de julio de 2012.

Opazo, I. 2012. Evaluación de diferentes estrategias de riego deficitario en granado (*Punica granatum* L. var, Wonderful), que permitan aumentar la productividad del agua y reducir la incidencia de partidura de frutos. Fac. Cs. Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 103p.

Ozgen, M., C. Durgaç, S. Serçe and C. Kaya. 2008. Chemical and antioxidant properties of pomegranate cultivars grown in Mediterranean region of Turkey. *Food Chemistry* 111: 703-706.

Prat, L. y C. Botti. 2002. El granado (*Punica granatum* L.). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile. 64p.

Quiroz, I. 2009. Seminario “Granados, perspectivas y oportunidades de un negocio emergente”: Antecedentes de mercado. Fundación Chile. Santiago, Chile. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/44529052/Estudio-de-Granada>. Leído el 10 de julio de 2012.

Ramezani, A., M. Rahemi and M. Vazifehshenas. 2009. Effects of foliar application of calcium chloride and urea on quantitative and qualitative characteristics of pomegranate fruits. *Scientia Horticulturae* 121:171-175.

Sharma, N. and C. Belsare. 2011. Effect of plant bio-regulators and nutrients on fruit cracking and quality in pomegranate (*Punica granatum* L.) 'G-137' in Himachal Pradesh. *Acta Horticulturae* 890: 347-352.

Sheikh, M.K. and N. Manjula. 2012. Effect of chemicals on control of fruit cracking in pomegranate (*Punica granatum* L.) var. Ganesh. *Options Méditerranéennes* 103:132-135.

Simon, G. 2006. Review on rain induced fruit cracking of sweet cherries (*Prunus avium* L.). It's causes and the possibilities of prevention. International Journal of Horticultural Science. 12(3): 27-35.

Tilbrook J and S. D. Tyerman 2008. Cell death in grape berries: varietal differences linked to xylem pressure and berry weight loss. Functional Plant Biology 35: 173–184.

Verner, L. 1935. A physiological study of cracking in 'Stayman Winesap' apples. Journal of Agricultural Research 51: 191–222.

Weerakkody, P., J. Jobling, M. Infante and G. Rogers. 2010. The effect of maturity sunburn and the application of sunscreens on the internal and external qualities of pomegranate fruit grown in Australia. Scientia Horticulturae 124(1): 57-61.

Weichert, H., C. von Jagemann, S. Peschel, M. Knoche, D. Neumann and W. Erfurth. 2004. Studies on water transport through the sweet cherry fruit surface: VIII. Effect of selected cations on water uptake and fruit cracking. Journal of the American Society for Horticultural Science 129: 781-788.

Wünsche, J., J. Bowen, I. Ferguson and A. Woolf. 2004. Sunburn on apples-causes and control mechanisms. Acta Horticulturae 636: 631-636.

Yazici, K. and L. Kaynak. 2009a. Effects of kaolin and shading treatments on sunburn on fruit of Hicaznar cultivar of pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Hicaznar). Acta Horticulturae 818: 169-173.

Yazici, K. and L. Kaynak. 2009b. Effects of air temperature, relative humidity and solar radiation on fruit surface temperatures and sunburn damage in pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Hicaznar). Acta Horticulturae 818: 181-186.

Yildiz, H., E. Obuz and G. Bayraktaroglu. 2009. Pomegranate: Its antioxidant activity and its effect on health. I International Symposium on Pomegranate and Minor Mediterranean Fruits. Acta Horticulturae 818: 265-270.

Yilmaz, C. and A. Özgüven. 2006. Hormone physiology of preharvest fruit cracking in pomegranate (*Punica granatum* L.). Acta Horticulturae 727: 545-550.

Yilmaz, C. and A. Özgüven. 2009. The effects of some plant nutrients, gibberellic acid and pinolene treatments on the yield, fruit quality and cracking in pomegranate. Acta Horticulturae 818: 205-212.

Yuan, Z.H., Y.L. Yin, L.J. Feng, X.Q. Zhao, L.F. Hou and Y.X. Zhang. 2012. Evaluation of pomegranate bagging and fruit cracking in Shandong, China. Acta Horticulturae 940: 125-130.

CAPÍTULO II: EFECTO DE DISTINTOS REGÍMENES HÍDRICOS Y DE LA APLICACIÓN DE CALCIO Y CAOLINITA SOBRE LA INCIDENCIA DE PARTIDURA EN FRUTOS DE GRANADO ‘WONDERFUL’

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en un huerto comercial de granados (*Punica granatum* L.) variedad ‘Wonderful’ de 7 años de edad, ubicado en el Valle del Elqui, Región de Coquimbo. Este constó de dos ensayos que apuntaron a evaluar manejos para disminuir la incidencia de partidura del fruto: un grupo de árboles fue sometido a distintos regímenes hídricos en función de las distintas etapas del crecimiento del fruto, y un segundo grupo fue sometido a la aplicación foliar de calcio y caolinita. Para analizar los efectos de los tratamientos correspondientes a cada ensayo se evaluaron parámetros fisiológicos (conductancia estomática, tasa fotosintética neta, temperatura de hoja y fruto, potencial hídrico), productivos (rendimiento, peso fresco y seco de arilos y cáscara), de calidad (nivel de partidura, incidencia de golpe de sol, ‘russet’, coloración) y nutricionales (contenido de calcio en los frutos).

Un déficit hídrico moderado durante 8 semanas en el período intermedio del crecimiento del fruto redujo el porcentaje de partidura a cosecha, generando también una menor tasa inicial de partidura, probablemente asociada a un menor desarrollo interno del fruto. Adicionalmente, este régimen registró un mejor estado hídrico de las plantas, cuyo efecto se tradujo en un rendimiento y peso del fruto similar al obtenido con el riego del agricultor. Un déficit hídrico severo durante el mes previo a cosecha, no afectó el peso promedio del fruto, aumentando así la eficiencia en el uso del agua.

La interacción entre los distintos niveles de calcio y caolinita aplicados no resultó significativa para cada variable evaluada. La aplicación de calcio no tuvo un efecto significativo sobre la disminución de la partidura ni en los componentes del rendimiento. Por su parte, la aplicación de caolinita, independientemente del nivel de calcio, disminuyó el porcentaje de partidura a cosecha, además de retrasar su aparición. Tampoco disminuyó la temperatura de los frutos pero sí tuvo un efecto significativo sobre el daño por golpe de sol, reduciendo el porcentaje de frutos afectados. Adicionalmente, se observó una relación positiva entre el daño por golpe de sol y la partidura del fruto.

El porcentaje de partidura se relacionó lineal y significativamente con el grosor de la cáscara ($r = -0,84$), la relación sólidos solubles/grosor de la cáscara ($r = 0,85$) y la relación peso del fruto/grosor de la cáscara ($r = 0,87$), en ambos ensayos, por lo que podrían ser utilizados como indicadores para predecir la partidura en campo bajo las condiciones del presente estudio.

Palabras clave: *Punica granatum*, productividad, respuestas fisiológicas, agrietamiento.

**EFFECT OF DIFFERENT IRRIGATION REGIMES AND OF CALCIUM AND
KAOLIN SPRAYS ON THE INCIDENCE OF FRUIT CRACKING IN
'WONDERFUL' POMEGRANATE FRUITS**

ABSTRACT

This study was carried out in a 7 years old 'Wonderful' pomegranate (*Punica granatum* L.) commercial orchard, located in the Elqui Valley, Coquimbo Region, The aim of this study was to assess different practices for reducing the incidence of fruit cracking. Two trials were performed: a first group of trees was submitted to different water regimes, and a second group was submitted to foliar sprays of calcium and kaolin. Physiological (stomatal conductance, net photosynthetic rate, leaf and fruit temperature, water potential), productive (yield, fresh and dry weight of arils and peel), quality (cracking level, incidence of sunburn, 'russet', color) and nutritional (calcium content in fruits) parameters were evaluated.

A moderate water deficit during 8 weeks at mid-season reduced the percentage of cracking at harvest and generated a lower initial rate of splitting. Additionally, this regime showed a better water status of the plants, resulting in similar yield and fruit weight than the obtained with the farmer's irrigation (control). A severe water deficit during the month prior to harvest, did not affect average fruit weight, hereby increasing water use efficiency.

The interaction between the different levels of calcium and kaolin was not significant for each evaluated variable. Calcium had no significant effect on cracking reduction or yield components. Kaolin reduced the percentage of fruit cracking at harvest, and delayed its onset. Kaolin did not reduce the fruit temperature but had a significant effect on the sunburn damage, by reducing the percentage of affected fruits. Additionally, a positive relationship between sunburn damage and fruit cracking was observed.

Parameters such as peel thickness, soluble solids/peel thickness and fruit weight/peel thickness were linearly and significantly correlated with the fruit cracking percentage observed in both trials and, could therefore be used as predictors of fruit cracking under the field conditions of the present study.

Keywords: *Punica granatum*, productivity, physiological responses, splitting.

INTRODUCCIÓN

El granado es una especie frutal originaria del Asia menor, sin embargo, debido a su gran adaptación a condiciones limitantes de suelo y agua (Holland et al., 2009), se ha distribuido hacia Europa y América. En la actualidad el cultivo del granado ha tomado gran relevancia debido al contenido de antioxidantes en sus frutos, propiedad que lo han convertido en un alimento funcional (Ozgen et al., 2008; Yildiz et al., 2009; Legua et al., 2012). Es por esta razón que la demanda por esta fruta y sus elaborados ha ido en aumento, permitiendo con ello un incremento de la superficie cultivada en Chile (Quiroz, 2009). Según Odepa (2011), la superficie total cultivada con granado alcanza las 750 ha y su producción se concentra entre las regiones de Atacama (III) y Coquimbo (IV), siendo ‘Wonderful’ la principal variedad comercial cultivada.

En Chile, las estaciones climáticas bien marcadas permiten cosechas productivas y de excelente calidad (Franck, 2010). Sin embargo, a nivel internacional -y Chile no es la excepción- existe un problema en precosecha que afecta a la cáscara del fruto, la cual sufre una partidura dejando expuestos los arilos al ambiente (Holland et al., 2009) repercutiendo negativamente sobre la fracción de fruta exportable.

De acuerdo a Melgarejo y Salazar (2003), la partidura de frutos es uno de los principales problemas de precosecha y se han reportado pérdidas de hasta un 50% de la producción. Estos autores afirman que cuando el fruto se encuentra en un estado avanzado de desarrollo (incluso hasta dos semanas antes de la cosecha), la tasa de crecimiento del interior del fruto supera a la tasa de crecimiento de las células de la cáscara, por lo que, bajo determinadas circunstancias, se produce la partidura de ésta. Este problema ha sido atribuido a diversas causas, sin embargo, uno de los factores más importantes para la resistencia a la partidura es la capacidad de expansión de la cáscara, cuya magnitud es afectada por las condiciones climáticas (Yuan et al., 2012). Una buena alternativa para mantener la integridad celular de la cáscara es proteger la superficie del fruto frente a los altos niveles de radiación solar y temperatura. Entre estas medidas destaca el uso de partículas reflectantes (caolinita) aplicadas a la superficie del fruto. Esta práctica ha dado excelentes resultados para el control del golpe de sol en pomáceas (Glenn et al., 2002; Wünsche et al., 2004; Gindaba y Wand, 2005) y en granado (Yazici y Kaynak, 2009a; Weerakkody et al., 2010; Díaz, 2012), reportándose también un efecto de control ante el golpe de sol (Wünsche et al., 2004; Yazici y Kaynak, 2009a) y la partidura del fruto (El-Rhman, 2010). Sin embargo, la información existente en el uso de caolinita en granado se ha enfocado principalmente en prevenir el golpe de sol y no en controlar la partidura de los frutos. Es por ello que se necesita evaluar su efecto protector de la cáscara y asociarlo al control de la partidura.

Por otro lado, una herramienta que ha dado excelentes resultados para controlar el problema de la partidura y para mantener la integridad y firmeza de la cáscara, es complementar diversas estrategias de manejo como aplicaciones foliares de algunos nutrientes minerales (Yilmaz y Özgüven, 2006; El-Khawaga, 2007; Yilmaz y Özgüven, 2009; Sharma y Belsare, 2011; Sheikh y Manjula, 2012) con un manejo óptimo del riego (Franck, 2010; Khat tab et al., 2011; Opazo, 2012).

Entre los nutrientes esenciales encargados de dar firmeza e integridad a las paredes celulares se encuentra el calcio (Simon, 2006). Este elemento se encuentra en forma de pectato de calcio y está encargado de mantener la unión entre células, debido a que es un constituyente importante de la lamela media (Taiz y Zeiger, 2002). Al respecto, se ha reportado que aplicaciones foliares de este elemento pueden disminuir las pérdidas de rendimiento asociados a la partidura del fruto en granado (Sheikh y Manjula, 2012; Messaoudi et al., 2012). Por otra parte, el efecto de su aplicación varía de acuerdo a la dosis y al momento de aplicación. De acuerdo a lo señalado por Ramezani et al. (2009), las aplicaciones foliares tempranas podrían favorecer un mayor contenido de este elemento en la fruta ya que, en el transcurso de la temporada, el contenido de calcio, tanto en la cáscara como en los arilos, tiende a disminuir hasta cosecha (Mirdehghan y Rahemi, 2007).

Por otra parte, para asegurar un adecuado contenido de calcio en la fruta es necesario un adecuado estado hídrico de la planta ya que este elemento se moviliza en la planta a través de la corriente transpiratoria (Del Amor y Marcelis, 2006). Si bien el granado es una especie que responde positivamente a la disponibilidad de agua (Castillo et al., 2009; Khattab et al., 2011), también puede tolerar cierto grado de estrés hídrico dependiendo de la etapa de crecimiento en la que se encuentren sus frutos (Franck 2010). De acuerdo a esto, se han propuesto diversos manejos hídricos para reducir la partidura, entre ellos el aumento paulatino de la disponibilidad de agua desde maduración a cosecha, evitando así que las eventuales lluvias de otoño resulten en fluctuaciones abruptas del contenido de agua en el suelo (Franck, 2009). Por otro lado, también se ha evidenciado que una restricción hídrica a inicios del crecimiento del fruto afectaría, entre otros procesos, a la división y elongación celular de la parte interna (arilos), disminuyendo el tamaño potencial de los arilos en la etapa de maduración, lo que se traduciría en una menor presión al interior del fruto, favoreciendo de esta manera su resistencia a la partidura (Galindo et al., 2014).

HIPÓTESIS

Un déficit hídrico moderado a inicios del crecimiento del fruto, así como también la aplicación conjunta de calcio y caolinita, disminuyen el nivel de partidura de los frutos del granado.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto de distintos regímenes hídricos y la aplicación de calcio y caolinita sobre el nivel de partidura de los frutos de granado ‘Wonderful’.

Objetivos específicos

Cuantificar los efectos de distintos regímenes hídricos, sobre las respuestas fisiológicas, productivas y el nivel de partidura de los frutos.

Evaluar los efectos de la aplicación de caolinita sobre la incidencia de partidura de fruto, asociada a la temperatura de estos.

Evaluar los efectos de la aplicación de calcio sobre la incidencia de partidura del fruto, asociado al contenido de calcio total de la cáscara.

Relacionar la incidencia de partidura con variables biométricas y químicas de los frutos con el fin de desarrollar un indicador de riesgo de partidura.

MATERIALES Y MÉTODO

Características generales

Los ensayos se realizaron durante la temporada 2012 - 2013 en el predio El Algarrobal, ubicado en la Comuna de Paihuano, Provincia de Elqui, Región de Coquimbo (coordenadas GPS: O 70°35'23" y S 29°59'57"), en un huerto comercial de granado (*Punica granatum* L.) de la variedad 'Wonderful' de 7 años de edad. Las plantas se encontraban a una distancia de 5 x 3 m, en un sistema de conducción en espaldera doble con una ramificación de 4 a 5 ramas madres a partir de los 50 cm desde la superficie del suelo, con hileras dispuestas en orientación noroeste – sureste.

El clima de la zona, de acuerdo a Novoa y Villaseca (1989), es de tipo mediterráneo subtropical semiárido, y según los registros de una estación meteorológica cercana al predio, posee una temperatura máxima media del mes más cálido de 28,9 °C y una mínima media del mes más frío de 7,5 °C. Presenta un período seco, libre de heladas, de 10 meses y una acumulación térmica media anual, en base 10 °C, de 2676 grados-día. La precipitación media anual alcanza los 125 mm, siendo junio el mes más lluvioso con 35,7 mm. No obstante lo anterior, en el momento de ejecución de los ensayos, la zona presentaba un déficit de precipitaciones acumulado por un período de tres años. La evapotranspiración de referencia es de 1.611 mm al año, siendo enero el mes de máxima demanda con 198 mm.

El suelo en el cual se estableció el ensayo pertenece a la Serie Paihuano. Este es de origen aluvial, moderadamente profundo, de clase textural franco arcillo arenosa, posee topografía plana y pendiente suave.

El riego del predio fue suministrado mediante dos líneas de goteo con 12 goteros por planta, cada uno de ellos con un caudal de 2,3 L h⁻¹. El régimen hídrico establecido en el predio al inicio de la temporada fue de baja frecuencia (tres días), con una duración media de 6 horas. En el período de máxima demanda hídrica, la frecuencia de riego fue cada dos días, con una duración promedio de 10 horas. La frecuencia y el tiempo de riego fueron determinados por medio de un análisis físico de suelo y de acuerdo a la evapotranspiración de cultivo (ET_C), cuya estimación se realizó mediante la determinación de la evapotranspiración de referencia (ET₀), aportada por una estación meteorológica ubicada en el predio. La evapotranspiración de referencia fue corregida por un coeficiente de cultivo (K_C) determinado en función de las características del huerto.

Este estudio fue abordado mediante el establecimiento de dos ensayos. El primero consistió en un “ensayo de riego” en el cual se aplicaron distintos regímenes hídricos asociados a las distintas etapas de crecimiento del fruto. Por otra parte, el “ensayo de calcio y caolinita” incorporó la aplicación foliar de calcio y caolinita en distintas fechas.

Tratamientos

Ensayo de riego

De acuerdo a resultados preliminares reportados en un estudio efectuado la temporada anterior, se definió un régimen de riego enfocado a disminuir la partidura, basado en la aplicación de un déficit hídrico controlado (DHC) en distintos períodos del crecimiento del fruto (Opazo, 2012), según se describen a continuación (Figura 1):

T0: Riego del predio (RP).

T1: DHC correspondiente al 60% del riego del predio, efectuado durante cuatro semanas en plena Etapa I del crecimiento del fruto (50 a 81 días después de cuaja, ddc).

T2: DHC correspondiente al 60% del riego del predio, efectuado durante cuatro semanas en el período de transición entre la Etapa I y II del crecimiento del fruto (81 a 122 ddc).

T3: DHC correspondiente al 60% del riego del predio durante el período de T1 y T2 (50 a 122 ddc).

T4: DHC correspondiente al 25% del riego del predio, efectuado desde el inicio de la Etapa III del crecimiento del fruto hasta cosecha (136 ddc a cosecha).

El diferencial de agua aplicado se realizó mediante la oclusión de algunos emisores con tapagotos. Así, los tratamientos con un DHC correspondiente a un 60% del riego del predio se obtuvieron tapando 5 de los 12 goteros por planta, mientras que el tratamiento 4, correspondiente al 25% del riego del predio (RP), se logró obturando 9 de los 12 goteros asignados por planta.

Los tratamientos de riego fueron dispuestos en un diseño completamente aleatorizado, con seis repeticiones por tratamiento, siendo cada árbol una unidad experimental.

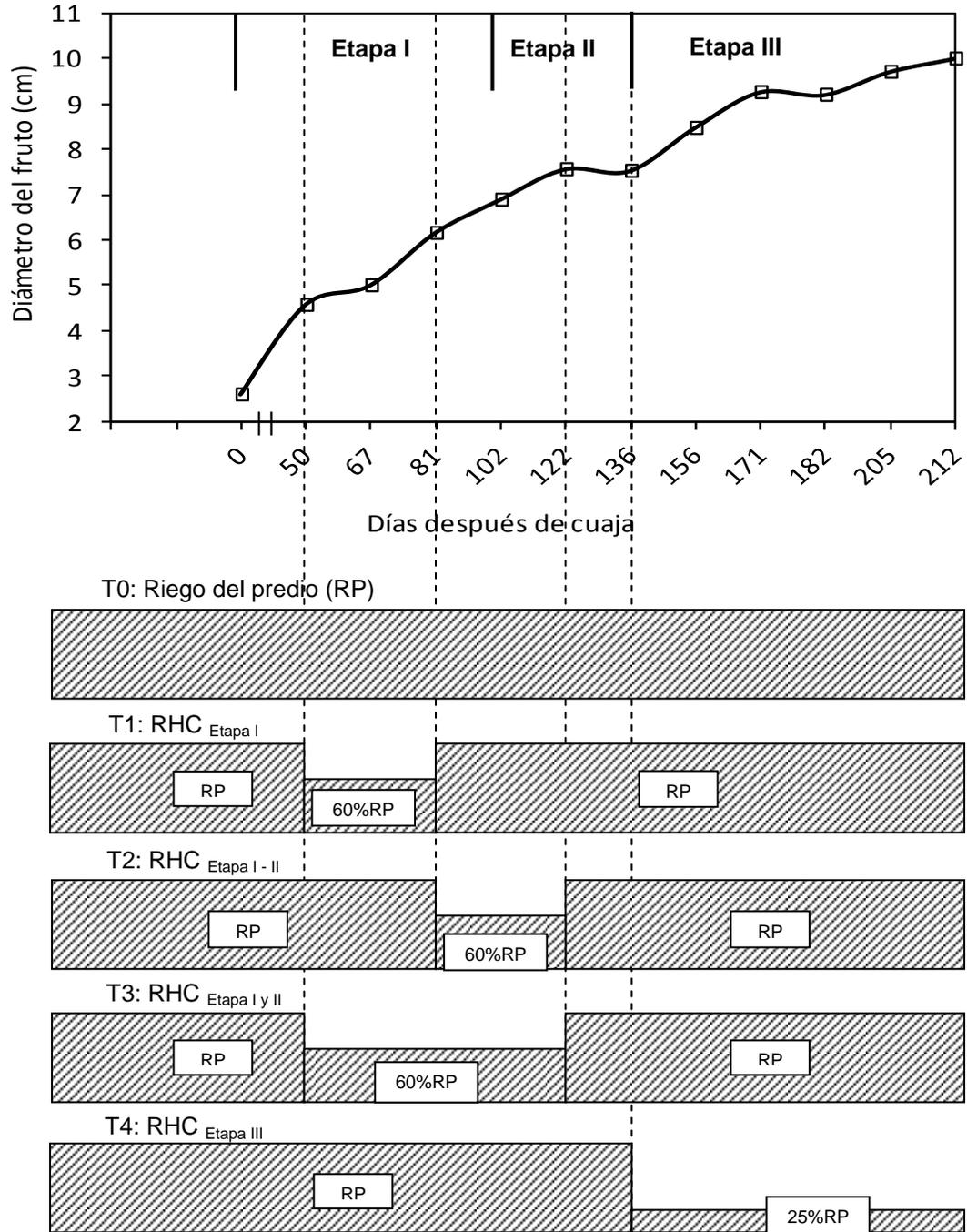


Figura 1. Tratamientos de riego aplicados durante la temporada 2012 – 2013 asociados a la evolución estacional del diámetro y las etapas de crecimiento del fruto. La altura de las barras indica el porcentaje de agua aplicada respecto de T0. Las líneas punteadas indican la duración de los períodos de restricción hídrica en función de los días después de cuaja.

Ensayo de calcio y caolinita

Se establecieron seis tratamientos en estructura factorial con tres niveles de calcio y dos niveles de caolinita (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos de la aplicación foliar de calcio y caolinita.

Aplicación de Caolinita	Número de aplicaciones de calcio		
	0	1	2
Sin	T0	T1	T2
Con	T3	T4	T5

La aplicación de calcio se realizó con el producto comercial ASP CAL 40 (ASP Chile S.A.) en base a carbonato de calcio como ingrediente activo (43,5 % Ca), en una dosis de 5 ml por planta (3 L ha^{-1}). Para los tratamientos T1 y T4 se realizó una aplicación cuando el fruto alcanzó los 7 cm de diámetro ecuatorial. En el caso de los tratamientos T2 y T5, dicha aplicación se repitió 15 días después de la primera (Figura 2).

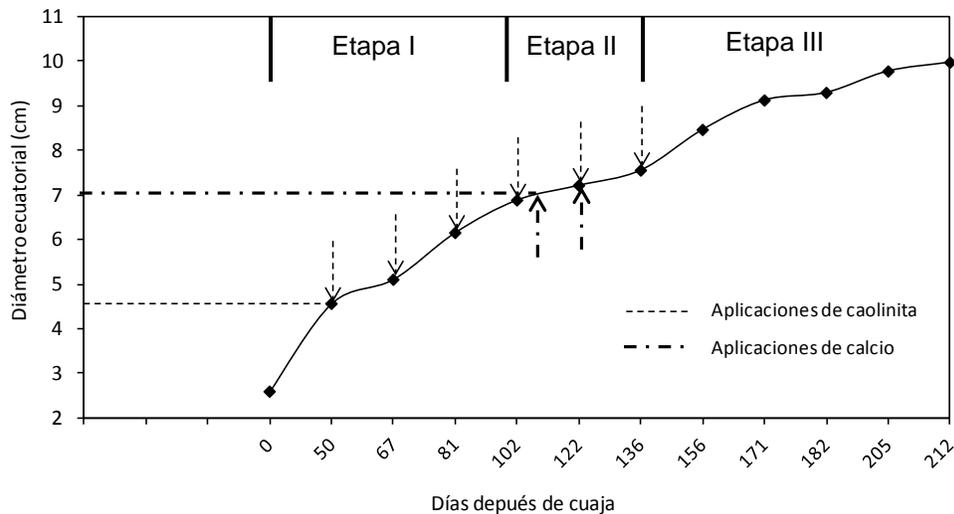


Figura 2. Aplicación de calcio y caolinita en función del crecimiento del fruto. Las flechas indican los momentos de aplicación de cada producto. Se identifican las tres etapas del crecimiento del fruto.

La aplicación de caolinita (Suncrops) consideró la concentración recomendada por la etiqueta del producto ($1,25 \text{ kg } 100 \text{ L}^{-1}$) y fue realizada en seis oportunidades de acuerdo a lo señalado por Díaz (2012). La primera aplicación se efectuó cuando el fruto alcanzó los 4,5 cm de diámetro ecuatorial, y las siguientes se realizaron cada 15 días de manera de

mantener cubierta la cáscara con caolinita desde las primeras etapas del crecimiento del fruto (Figura 2).

La aplicación de ambos productos fue efectuada mediante el uso de una bomba de espalda de 15 L con boquilla de bronce de gota fina y con un gasto de $0,5 \text{ L min}^{-1}$, durante las horas de la mañana, momento en el cual la temperatura ambiental no superó los 24°C .

Los tratamientos fueron dispuestos en un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial de 3×2 , se utilizaron seis repeticiones por tratamiento, siendo cada árbol una unidad experimental.

Evaluaciones

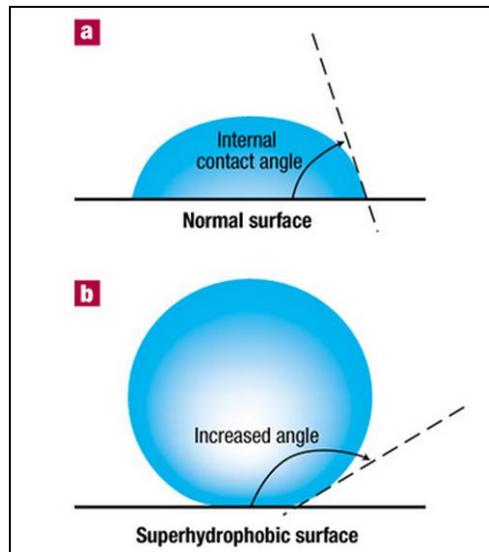
Evaluaciones realizadas en ambos ensayos

Descripción del crecimiento del fruto. A partir de cuaja se recolectaron, cada 15 días, 20 frutos de mayor desarrollo, provenientes de árboles cercanos al ensayo y no sometidos a los tratamientos. Estos frutos fueron sujetos a mediciones de diámetro ecuatorial, diámetro polar, peso fresco y peso seco del fruto completo, arilos y cáscara.. Posteriormente a la obtención del peso fresco total de cada componente del fruto, la muestra fresca fue secada por 48 horas en una estufa de aire seco calibrada en 70°C hasta alcanzar peso constante (peso seco). El valor de humedad de la cáscara, arilos y fruto completo se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso fresco} - \text{peso seco}}{\text{Peso fresco}} \times 100$$

Componentes del rendimiento. Se evaluó la producción de fruta en cada planta. Para ello, al momento de la cosecha, cada planta se subdividió en cuatro sectores: noreste, sureste, noroeste y suroeste. En dos de estos sectores, al azar, los frutos fueron dejados en la planta para, posteriormente, cosechar la fruta partida en intervalos de una semana y, de esta manera, poder generar una curva de evolución de la partidura hasta un mes después de cosecha. Los frutos cosechados fueron contados y pesados con una balanza digital. Se determinó la carga frutal por unidad de planta, por área de sección transversal de tronco (ASTT) y por fracción de radiación interceptada (f). Adicionalmente, se recolectaron dos frutos por repetición (con y sin partidura) y se determinó el peso fresco y seco de la cáscara, el espesor de ésta y el contenido de sólidos solubles de los arilos. Para obtener el peso seco de la cáscara, ésta fue secada en una estufa a 70°C por 48 horas, obteniendo por diferencia de peso el porcentaje de humedad de la cáscara. Para determinar el contenido de sólidos solubles se utilizó un refractómetro termocompensado calibrado en cero previo a cada lectura expresando su valor en $^{\circ}\text{Brix}$.

Permeabilidad de la cáscara. Para evaluar la permeabilidad o capacidad de absorción de agua de la cáscara, en ambos ensayos se determinó el ángulo de contacto formado entre una gota de agua destilada y la cáscara del fruto. De acuerdo a lo postulado por Sharfrin et al. (1960), el ángulo de contacto formado entre una superficie impermeable o hidrofóbica es mayor al formado en una superficie de mayor permeabilidad o hidrofílica (Figura 3A y 3B). Un ángulo de contacto interno mayor a 90° (Figura 3B) indica una superficie más bien impermeable, mientras que un ángulo igual o menor a 90° es característico de una superficie hidrofílica, la cual presenta una mayor capacidad de absorción del líquido.



Fuente: Quére (2002)

Figura 3. Ángulo de contacto entre una gota de agua y una superficie hidrofílica (A) e hidrofóbica (B).

Evaluaciones realizadas exclusivamente en el ensayo de riego

Contenido de agua en el suelo. En cada tratamiento de riego se midió el contenido de agua en el suelo, utilizando una sonda de capacitancia (DIVINER 2000). Se instaló un tubo de acceso en dos árboles por tratamiento, perpendiculares a la línea de plantación, distanciados a 30 cm del tronco, hasta una profundidad de 60 cm.

La sonda de capacitancia determinó el contenido de agua volumétrico del suelo cada 10 cm, y su valor fue expresado como porcentaje de la humedad aprovechable del suelo (%Ha) hasta 60 cm de profundidad. Esta medición se realizó cada 15 días, a lo largo de la temporada. Adicionalmente, con la sonda se midió el contenido de agua 24 a 48 horas después de una lluvia o riego abundante para establecer el contenido de agua a Capacidad de Campo (CDC), según lo postulado por Sellés y Ferreyra (2005).

Intercepción de la radiación por la copa del árbol. Se estimó la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por las plantas (f) por medio de un ceptómetro lineal modelo Sun Scan tipo SS1 (Delta-T Devices Cambridge-England). Para ello se determinó la radiación incidente sobre las plantas (PAR_i) y la radiación no interceptada (PAR_{ni}) bajo la copa. La f se estimó a partir de la siguiente ecuación:

$$f = \frac{PAR_i - PAR_{ni}}{PAR_i}$$

Las mediciones se efectuaron en tres momentos del día: 2 horas antes del mediodía solar (MDS), al MDS y 4 horas después del MDS. El valor de f al MDS fue utilizado como referencia para definir la interceptación en un momento determinado. Se midió, de preferencia, en días despejados y con una frecuencia de 30 días durante toda la temporada. La metodología constó de 33 mediciones bajo la planta (PAR_{ni} a 0,2 m del suelo), distanciadas a 0,5 m cada una para cubrir los 5 m asignados a cada árbol: 2,5 metros hacia cada lado, desde la mitad de la calle, hasta la mitad de la siguiente (Figura 4). El valor PAR_{ni} correspondiente a cada planta se obtuvo promediando las 33 mediciones.

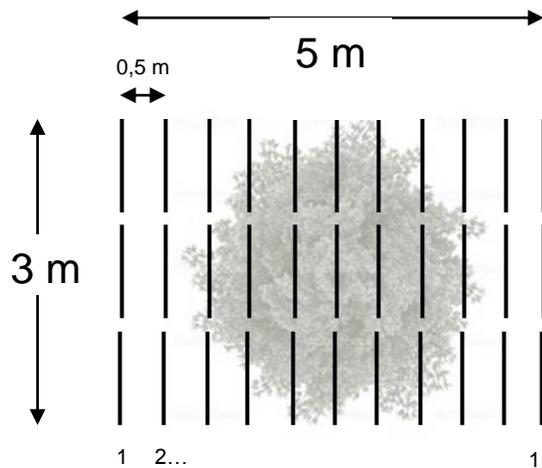


Figura 4. Diagrama de medición de la radiación solar que intercepta la planta en el marco de plantación (5 x 3 m). Cada barra indica la captura de una medición bajo la copa del árbol.

Parámetros fisiológicos. Se evaluó la temperatura foliar (T_h), la conductancia estomática (g_s) y tasa fotosintética neta (P_n) mediante un analizador de gases infrarrojo (IRGA; LCPro, ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, U.K.), en una hoja expuesta al sol en cada repetición, al mediodía solar (12:45 - 14:45). Para estas mediciones se utilizaron brotes del tercio medio de los árboles, similares en vigor, estado de desarrollo, exposición con respecto al sol, iluminación directa y sin signos visibles de daño.

Adicionalmente, con el uso de un termómetro infrarrojo de amplio rango (Extech Instruments, modelo 42530, EE.UU.), se determinó la temperatura de la hoja (T_h) y del fruto (T_f) en dos hojas y dos frutos expuestos al sol en cada repetición. Estas mediciones se realizaron 5 veces al día para generar una curva de temperatura diaria (9:00, 11:00, 13:00, 15:00 y 17:00 horas).

Se determinó el potencial hídrico xilemático (Ψ_x) con una cámara de presión (Scholander et al., 1965) en brotes de 15 cm de largo. El Ψ_x fue evaluado en un brote por repetición al mediodía solar (Turner, 1981), momento de mayor transpiración de las plantas y en pre-alba (5:30), de manera de asemejar este valor al estado hídrico del suelo (Jones, 2004).

Las evaluaciones fisiológicas se realizaron en intervalos de 30 días durante el período comprendido entre el inicio del crecimiento del fruto y cosecha.

Evaluaciones realizadas exclusivamente en el ensayo de calcio y caolinita

Temperatura del fruto. La temperatura del fruto (T_f) se midió con un termómetro infrarrojo de amplio rango (Extech Instruments, modelo 42530, EE.UU.) en dos frutos expuestos al sol en cada repetición, uno ubicado en la cara oeste y el otro en la cara este de la plata. Estas mediciones se realizaron 5 veces al día para generar una curva de temperatura diaria (9:00, 11:00, 13:00, 15:00 y 17:00 horas), y desde cuaja a cosecha, cada 15 días, para identificar una curva estacional.

Contenido de calcio en la fruta. Se realizaron tres recolecciones de frutos durante la temporada de crecimiento, para determinar el contenido y concentración de calcio en la cáscara (calcio ligado). La primera recolección se realizó a los 50 días después de cuaja (ddc), a frutos de la primera y segunda cohorte floral (4,5 y 2,5 cm de diámetro ecuatorial, respectivamente). La segunda recolección se realizó a los 100 ddc cuando el fruto alcanzó 7 cm de diámetro ecuatorial aprox. (previo a la aplicación foliar de calcio), mientras que la tercera recolección fue efectuada al momento de la cosecha. Las muestras recolectadas fueron enviadas a Agrolab S.A. para su análisis químico de tejido.

Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA) con un 95% de confianza. Previo al ANDEVA, en caso de que los datos no cumplieren con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, fueron transformados mediante la conversión angular de Bliss. En caso de detectar diferencias significativas, los datos se sometieron a la prueba de comparación múltiple de LSD de Fisher ($p \leq 0,05$) para separar las medias. Adicionalmente, se realizaron análisis de correlación y regresión para determinar el grado de asociación entre la partidura del fruto y parámetros fisiológicos, productivos y el contenido de calcio en los frutos. Para todos estos análisis se utilizó el software INFOSAT, versión estudiantil, año 2014.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción del crecimiento del fruto

La evolución del crecimiento del fruto, en términos del diámetro ecuatorial, se adaptó a una curva de tipo doble sigmoidea definida por tres etapas, similar a lo obtenido por García (2011). La etapa I de crecimiento, correspondiente al período comprendido entre cuaja y los 102 días después de cuaja (ddc), se caracterizó por un fuerte incremento del diámetro, alcanzándose un 65% del diámetro final al término (Figura 5). En la etapa II (102 a 136 ddc) el diámetro presentó un leve incremento, mientras que en la etapa III (136 ddc a cosecha), el diámetro retomó una alta tasa de crecimiento alcanzando un valor máximo de 9,2 cm. Es importante mencionar que durante la etapa I y II se alcanzó el 75% del diámetro del fruto, por lo cual cualquier condición limitante en este período puede repercutir considerablemente en el tamaño final del fruto.

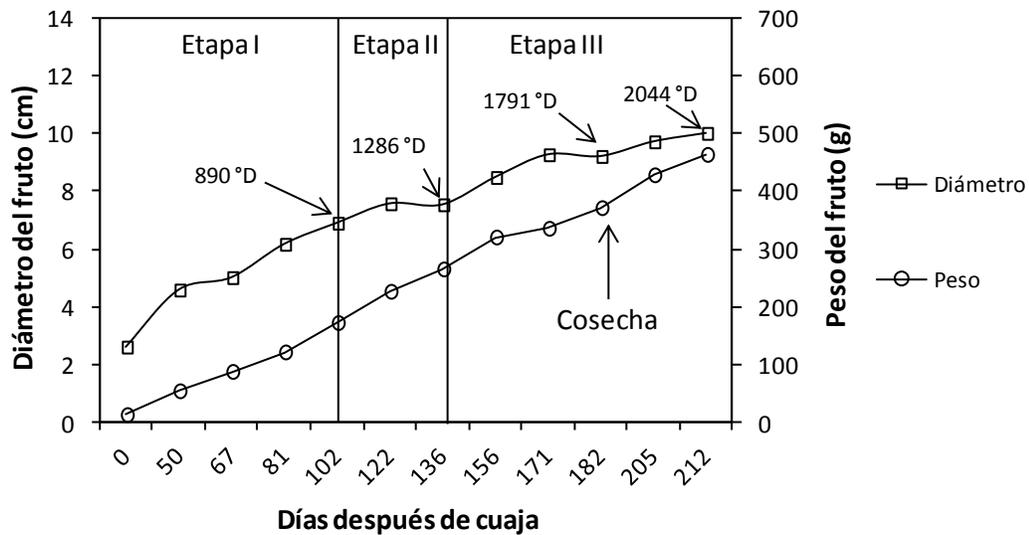


Figura 5. Crecimiento del fruto en términos de peso fresco y diámetro ecuatorial a lo largo de la temporada (n=10). Se indican las tres etapas de crecimiento del fruto y los días-grado acumulados (°D).

Por otra parte, el fruto presentó una ganancia de peso de $1,7 \text{ g día}^{-1}$ en la etapa I de crecimiento del fruto. En la etapa II, contrariamente a lo observado en el diámetro del fruto, el peso registró una alta ganancia promedio de $2,7 \text{ g día}^{-1}$, implicando una tasa de crecimiento mayor al interior del fruto (Figura 5). Este comportamiento ha sido observado en distintas especies frutales cuyo crecimiento frutal es de tipo doble sigmoideo, como la vid (Matthews y Shackel, 2001), lo cual se debe a la maduración de la semilla. La ganancia de peso observada en la etapa III fue similar a la registrada en la etapa II, presentando una media de $2,3 \text{ g día}^{-1}$. El peso acumulado del fruto presentó una correlación significativa con

los días-grados acumulados ($R^2 = 0,97$; $p \leq 0,05$), lo que significa que por cada 100 días-grados acumulados (T° umbral = 10°C), el peso del fruto se incrementó en 20 g. Esta relación se mantuvo hasta cosecha (184 ddc) e incluso fue observada hasta los 212 ddc (2044 días-grado), momento en el cual el fruto alcanzó un peso potencial final de 464 g.

Es importante mencionar que desde cosecha hasta los 212 ddc el 24% de la ganancia en el peso fue comparativamente mayor al 8% observado en el diámetro. Esta tasa de incremento observada en el peso, sugiere una acumulación de agua y azúcares en los arilos (Shwartz et al., 2009) permitiendo una mayor expansión celular que la parte externa del fruto, lo que concuerda con el fundamento fisiológico planteado por Verner (1935) acerca del agrietamiento y posterior partidura de los frutos.

Contenido de agua del fruto

La dinámica de acumulación de agua en el fruto concuerda con el comportamiento del peso y el diámetro reportados, con una etapa II caracterizada por una acumulación estabilizada y una etapa III con un aumento exponencial hasta cosecha. Se observó también que los frutos de la primera (1C) y segunda (2C) cohorte floral (Figura 6 A y B) presentaron una dinámica similar en relación a la acumulación de agua durante la temporada de crecimiento. En la etapa I y II los frutos 1C presentaron un contenido de agua mayor que los frutos 2C dado por el mayor contenido de agua asociado a cáscara de los primeros (Figura 6A). En la etapa III, el contenido de agua de los frutos de ambas cohortes fue similar, lo que permitió alcanzar, al momento de cosecha, frutos de igual peso y diámetro.

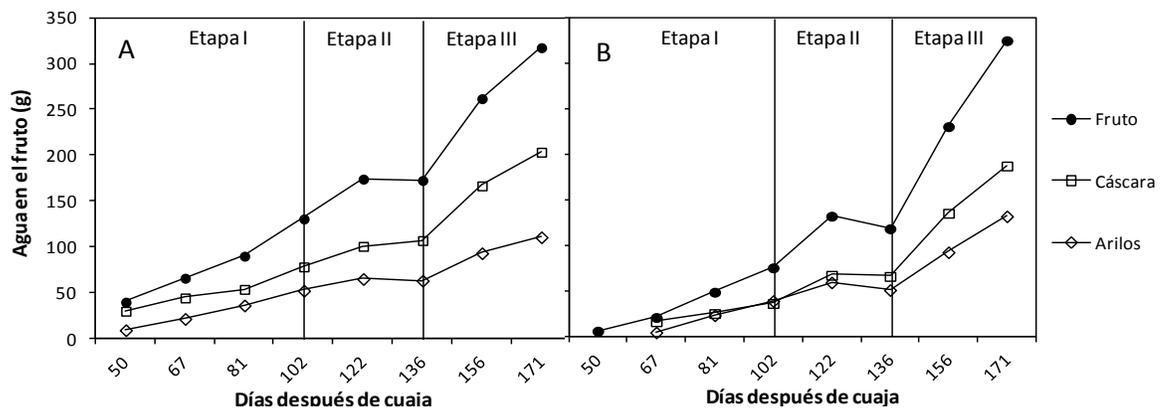


Figura 6. Evolución del contenido de agua en el fruto, cáscara y arilos desde cuaja hasta cosecha, en la primera (A) y segunda (B) cohorte floral. Se dividen las etapas de crecimiento mediante líneas verticales.

A los 50 ddc, en los frutos de la primera cohorte floral (C1), el 75% del agua del fruto fue destinado a la cáscara mientras que el 25% restante a los arilos (Figura 7). Desde los 50 hasta los 81 ddc (etapa I), la proporción de agua destinada a los arilos aumenta hasta un 40% (en C1), cuyo valor fue mantenido hasta cosecha, mientras que la cáscara registró una disminución hasta alcanzar un 60% del agua del fruto. Por otra parte, los frutos de la

segunda cohorte presentaron un comportamiento similar, sin embargo, se observó una distribución de agua equitativa hacia la cáscara y los arilos (50%). El incremento del agua hacia los arilos observado hasta los 81 ddc probablemente estuvo asociado a un rápido crecimiento de la parte interna por efecto de la elongación celular (Shwartz et al., 2009), lo cual permitió una mayor capacidad de almacenaje de agua (Mirdehghan y Rahemi, 2007). Después de los 81 ddc tanto la cáscara como los arilos acumulan agua a una tasa relativamente constante.

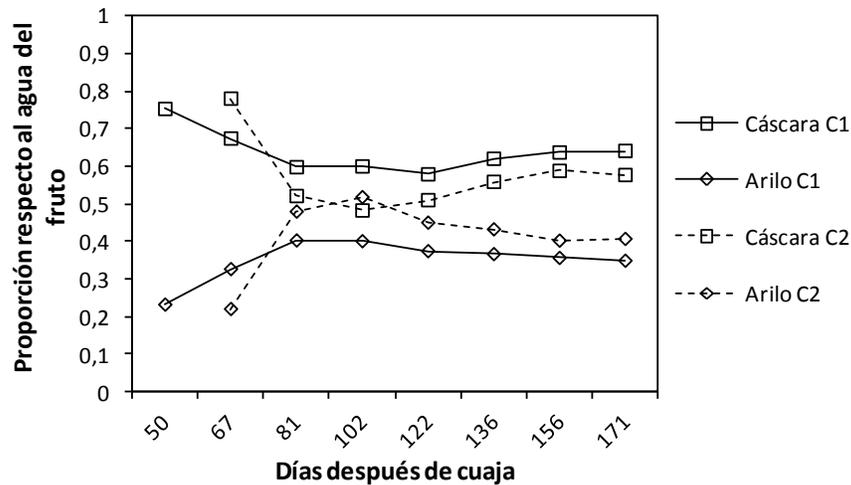


Figura 7. Evolución de la proporción de agua destinada a la cáscara y a los arilos con respecto al agua total del fruto en la primera (C1) y segunda (C2) cohorte floral.

Debido a la mayor cantidad de agua registrada en la cáscara de los frutos de la C1, sería interesante evaluar, en estudios posteriores, el efecto de la cohorte floral como otra fuente de variación o co-variable.

Materia seca del fruto

La relación peso seco/peso fresco explica el % de materia seca (%MS) del fruto, cáscara y arilos (Figura 8). Esta relación fue influenciada directamente por el contenido de agua del fruto ($\%MS = 100 - \%H^{\circ}$). Al inicio del desarrollo, los arilos presentaron un %MS correspondiente al 13%, y en el transcurso de la temporada, este valor aumentó hasta la etapa II permaneciendo constante hasta cosecha (19%).

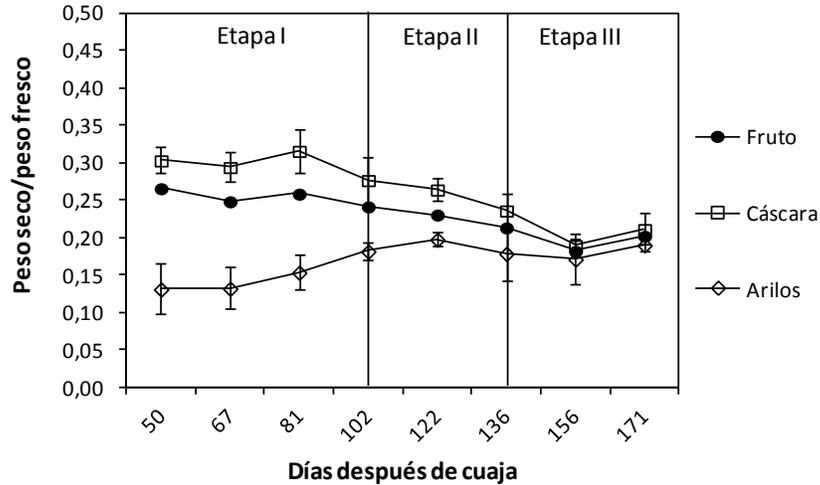


Figura 8. Variación de la fracción seca del peso de los arilos, cáscara y fruto, de la primera cohorte floral, durante la temporada (n=10). Se identifican las etapas de crecimiento del fruto.

El aumento gradual del peso seco de los arilos durante la primera etapa de crecimiento del fruto explica la acumulación de agua evidenciada en la Figura 7. La proporción de materia seca de la cáscara mostró un valor inicial del 30%, el cual disminuyó durante el período de crecimiento presentando una tendencia decreciente similar a la del fruto ($r = -0,83$; $p \leq 0,05$).

La materia seca de los arilos (carbohidratos estructurales y no estructurales, minerales, etc) al experimentar un gradual incremento, recíprocamente provocó una merma en la producción de materia seca en la cáscara, comportamiento que también ha sido observado por Mirdehghan y Rahemi (2007). Estos autores señalan además que, durante todo el periodo de crecimiento, los arilos presentan una mayor concentración de compuestos bioactivos (fenoles y otros antioxidantes) y minerales que la cáscara.

En consecuencia, la relación directa observada entre la MS de los arilos y los días después de cuaja, implicó una ganancia de MS del orden del 1,5% al mes, mientras que la MS de la cáscara reportó una caída del 2,9%.

Pese a que la MS de la cáscara disminuyó a una tasa relativamente constante, su grosor aumentó desde cuaja hasta el final de la etapa II de crecimiento del fruto, para disminuir considerablemente hasta cosecha (Figura 9). En este sentido, se presume que la disminución del grosor de la cáscara es una consecuencia de la constante pérdida de materia seca. No obstante, también podría estar dada por diversas causas como: la edad de los árboles (Yuan et al., 2012), la degradación de las paredes celulares (Zhou et al. (2007), citado por Yuan et al., 2012) asociada a la expansión celular (Taiz y Zeiger, 2002), la acción de complejos enzimáticos presentes en la cáscara en el período de maduración de la fruta (Goulao y Oliveira, 2008), etc. Por otra parte, la magnitud con que decrece el grosor de la cáscara depende de la época de crecimiento en que se encuentre la fruta (Badal et al., 2012).

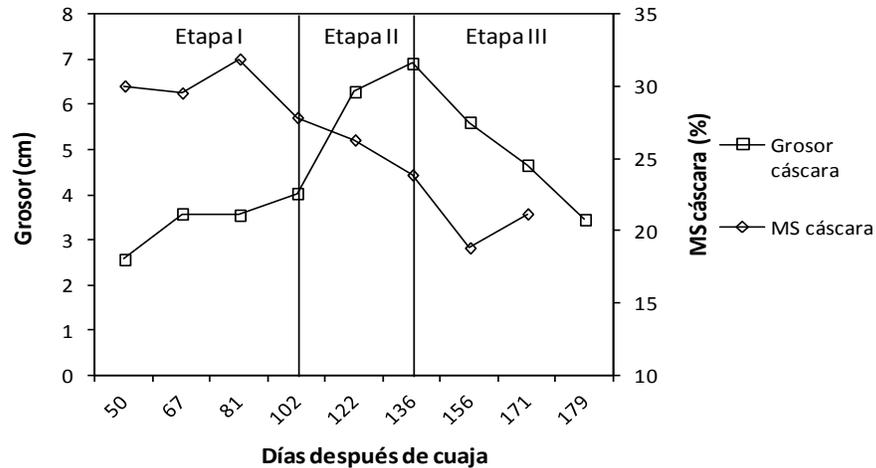


Figura 9. Evolución de la materia seca (MS) y grosor de la cáscara a lo largo de la temporada (n=10). Se identifican las distintas etapas de crecimiento del fruto.

En este contexto, existen investigaciones que señalan que la elasticidad celular de la cáscara está dada tanto por un factor genético, como por las condiciones ambientales (Yuan et al., 2012). De acuerdo a esto, hay quienes aseguran que protegiendo al fruto de la radiación directa y de bajas humedades (Yazici y Kaynak, 2009b), se promovería un alto valor de elasticidad celular, generando como consecuencia una menor susceptibilidad a la partidura.

La variedad estudiada es otro factor que influye sobre las características físicas de la cáscara, y según lo reportado en este estudio, la cáscara del fruto en la variedad 'Wonderful' debiera presentar un valor de materia seca superior a un 20% a cosecha (Figura 9), lo que concuerda con lo reportado por Opazo (2012). Por otra parte, el valor de materia seca es dependiente del nivel de reservas de fotoasimilados presentes en la planta (Holland et al., 2009), por ello es necesario promover una mayor disponibilidad de estos productos fotosintéticos mediante el control de todos aquellos factores que afecten la fotosíntesis neta (Taiz y Zeiger, 2002).

El aumento de peso en los arilos estuvo dado por la acumulación de MS principalmente hasta la etapa II de crecimiento del fruto (Figura 10). Después de este momento, la acumulación de materia seca sufrió una caída lo que indicaría que el aumento de peso de los arilos estuvo dado básicamente por la acumulación de agua (Figura 10). De acuerdo a esto, la importancia de mantener un adecuado suministro de agua durante toda la temporada de crecimiento permite por una parte, favorecer la acumulación de productos fotosintéticos constituyentes de la MS de los arilos (en la etapa I y II de crecimiento del fruto) y, por otro lado, lograr un abastecimiento hídrico acorde a las necesidades del cultivo para maximizar el peso promedio del fruto (en la etapa III de crecimiento del fruto) tal como lo constataron los estudios realizados por Castillo et al. (2009) y Khabbat et al. (2012).

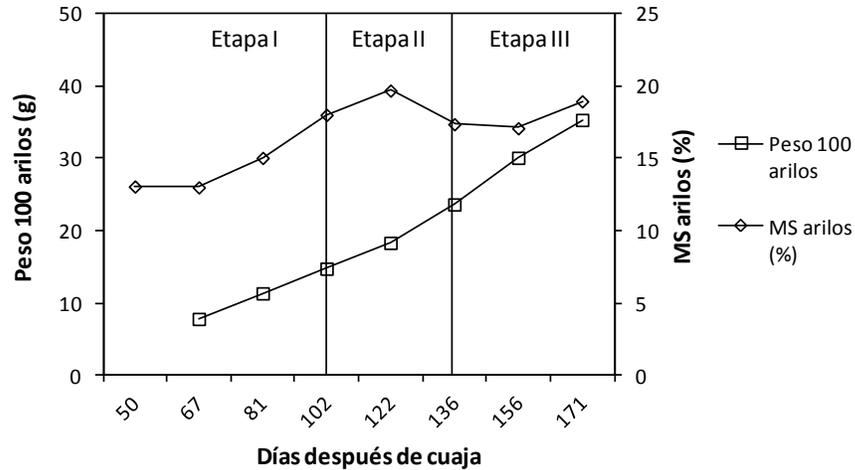


Figura 10. Evolución del peso fresco y materia seca (MS) de los arilos a lo largo de la temporada (n=10). Se identifican las etapas de crecimiento del fruto.

Ensayo de riego

Evapotranspiración de cultivo

En la Figura 11 se observa el comportamiento de la evapotranspiración de referencia (ET_0) desde septiembre 2013 (cuaja) hasta abril 2014 (cosecha), estimada mediante la integración de los datos climáticos de acuerdo al modelo de Penman – Monteith (Allen et al., 2006). Por otro lado, la evapotranspiración de cultivo (ET_C), como producto entre el tiempo de riego y la intensidad de precipitación del sistema de riego, permitió determinar el coeficiente de cultivo (K_C) utilizado por el agricultor ($K_C = ET_C/ET_0$).

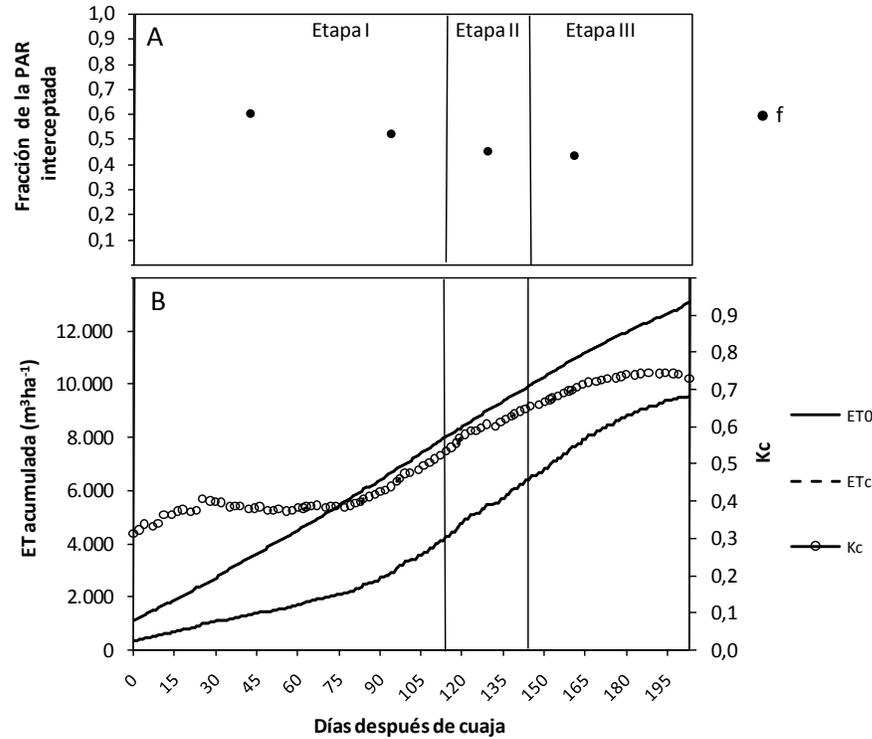


Figura 11. Fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por las plantas (f) en distintos momentos de la temporada (A), y evolución de la evapotranspiración de referencia (ET_0), evapotranspiración de cultivo (ET_C) y del coeficiente de cultivo (K_C) a lo largo de la temporada (B). Se identifican las distintas etapas del crecimiento del fruto.

La demanda atmosférica acumulada en la temporada alcanzó los $13.104 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, mientras que la demanda neta del cultivo (ET_C) registró un consumo total de $9.552 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. En términos de la ET_C , el 35,5% de la demanda hídrica total en la temporada tuvo lugar en la etapa I del crecimiento del fruto. La demanda hídrica diaria en este período fue de $22 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, lo que coincide con un importante componente vegetativo, reflejado en una alta fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada ($f = 0,6$) por la fronda del árbol (Figura 11). Por otra parte, en el fruto existe una alta tasa de división y elongación celular (Taiz y Zeiger, 2002) y cuyos procesos requieren de un adecuado abastecimiento de agua para maximizar el número y volumen de células a cosecha (Matthews y Shackel, 2005). En este período el coeficiente de cultivo utilizado fue de 0,38. En la etapa II de crecimiento se consumió el 25,6% de la demanda hídrica total. En esta etapa, se registró una demanda hídrica diaria de $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, triplicando a lo observado en la etapa anterior y se debe fundamentalmente por el aumento de la demanda atmosférica. La fracción de la radiación interceptada fue similar a la etapa anterior ($f = 0,52$), mientras que el coeficiente de cultivo utilizado en este período fue de 0,56. En la etapa III se registró una demanda, hasta cosecha, correspondiente al 26,4% del total. A pesar de la disminución de f (0,43), la demanda diaria fue la máxima de la temporada, reportando $72 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Cuadro 3). De acuerdo a esto, gran parte del abastecimiento hídrico fue destinado para la ganancia de peso de los arilos. En definitiva, el K_C permaneció relativamente constante durante la temporada al igual que la fracción de la radiación interceptada (Figura 11). Según lo expuesto por

Buesa et al. (2012), granados con un adecuado estado hídrico, se logró con un K_C inicial de 0,32 y un máximo en verano de 0,74, valores similares a los expuestos en este estudio. La ausencia de un ajuste de la fracción de la radiación interceptada al coeficiente de cultivo, pudo deberse al bajo nivel de precisión de la medición de f , lo que se vio reflejado en la alta desviación estándar de los datos (Figura 12). Sin embargo, este nivel de interceptación no afectó la obtención de rendimientos aceptables e históricos del predio.

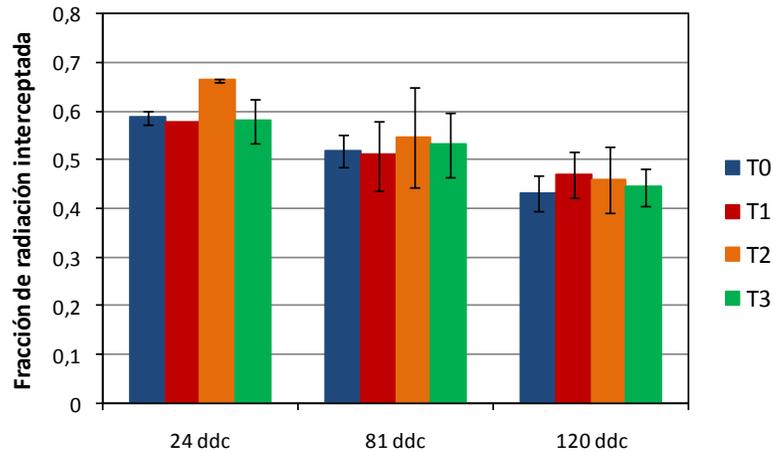


Figura 12. Fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la planta al mediodía en cada tratamiento de riego, evaluada en distintos momentos de la temporada. Ddc: días después de cuaja. Las barras verticales indican desviación estándar con respecto a la media.

El régimen hídrico no tuvo un efecto significativo sobre la interceptación de la radiación por la copa de las plantas, es decir, que el nivel de déficit impuesto no generó una condición limitante para el crecimiento vegetativo.

Volumen de agua aplicado

El volumen de agua aplicado a cada tratamiento varió dependiendo del estado fenológico correspondiente. Al término de la Etapa I, el T1, T2 y T3 recibieron el 89, 86 y 75% del agua recibida por el testigo (T0), respectivamente. En la etapa II, el T2 y T3 recibieron el 75% del agua recibida por el testigo, mientras que en la etapa III el T4 presentó un 25% del agua aplicada al testigo.

Cuadro 2. Agua aplicada en los distintos tratamientos y estados fenológicos del cultivo.

Estado fenológico	Duración del período (días)	¹ Agua aplicada (mm/día)	Agua aplicada (mm)				
			T0	T1	T2	T3	T4
Botón floral – cuaja	24	1,43	34,3	34,3	34,3	34,3	34,3
Etapa I	101	3,02	305,2	271,5	260,9	227,4	305,2
Etapa II	35	6,98	244,4	244,4	184,0	184,0	244,4
Inicio etapa III – cosecha	35	7,21	252,2	252,2	252,2	252,2	63,1
Cosecha – fin temporada	32	3,72	119,1	119,1	119,1	119,1	29,8
Total (mm)			955,2	921,5	850,6	817,0	676,7
Total (m ³ ha ⁻¹)			9552	9215	8506	8170	6767
% Testigo			-	96%	89%	86%	71%

¹ Datos determinados de acuerdo al agua aplicada al testigo.

De acuerdo al Cuadro 2, el T1 recibió una cantidad de agua total similar al testigo, mientras la restricción del agua en la etapa II impuesta en el T2 permitió un ahorro del agua en un 11% con respecto al testigo. El T3, por efecto de la restricción de agua en la etapa I y II, alcanzó un ahorro de agua de un 14%, mientras que el déficit de agua impuesto en la etapa III en el T4 generó un ahorro del 30%.

Según lo observado anteriormente, las etapas I y II se caracterizaron por un rápido crecimiento de la parte interna del fruto, el cual estuvo dado por la acumulación de materia seca y agua en los arilos (Figura 10), mientras que la etapa III el incremento de peso y tamaño de los arilos estuvo dado básicamente por la acumulación de agua (Figura 6). En este contexto, una restricción hídrica en las primeras etapas podría repercutir sobre crecimiento de los arilos y con ello sobre el tamaño potencial del fruto (Opazo, 2012), aunque similares implicancias negativas tendría también un déficit en la etapa III sobre la acumulación de agua en los arilos, disminuyendo el peso promedio del fruto (Intrigliolo et al., 2013). Asumiendo la validez de estas referencias, el déficit impuesto tanto en T3 como en T4, podría provocar algún efecto negativo en el desarrollo de la parte interna del fruto, como consecuencia de una menor disponibilidad de agua en distintas etapas del crecimiento del fruto.

Contenido de agua en el suelo

En términos generales, el contenido de agua en el suelo (CAS) reflejó la imposición de los tratamientos a lo largo de la temporada (Figura 13). En la etapa I de crecimiento, el CAS disminuyó en todos los tratamientos de riego, inclusive bajo el nivel óptimo o de capacidad de campo (CDC), posiblemente debido a que la demanda de agua por la planta fue mayor a la entrega realizada por el riego (3 horas). Esta fuerte demanda de agua se debe a que el rápido crecimiento vegetativo aumenta la interceptación de radiación y con ello la planta transpira más. A los 100 ddc el tiempo de riego fue incrementado a 10 horas, debido al aumento en la demanda hídrica de la atmósfera (ET_0), lo que a la vez aumentó el CAS hasta valores cercanos a capacidad de campo (CDC). A partir de la etapa III el contenido de agua permaneció estable hasta cosecha.

El testigo presentó el mayor CAS, sin embargo, solo se detectaron diferencias estadísticamente significativas con respecto a los demás tratamientos en las dos fechas previas a cosecha. Con respecto al comportamiento de los distintos tratamientos, desde los 50 a 81 ddc (etapa I), en T3 y T1 se observó un menor CAS a causa de la obstrucción de los goteros. Este menor valor no implicó diferencias significativas debido al alto coeficiente de variación entre las repeticiones, por lo cual sólo marcó una tendencia promedio ($n = 2$). En el período comprendido entre los 81 y 122 ddc (etapa I y II), el CAS de T1 se recuperó, igualando al testigo, mientras que en T2 disminuyó a valores cercanos a T3. El período posterior a los 122 ddc (etapa III), el contenido de agua de T2 y T3 se recuperó para permanecer constante y cercano a capacidad de campo hasta cosecha (182 ddc).

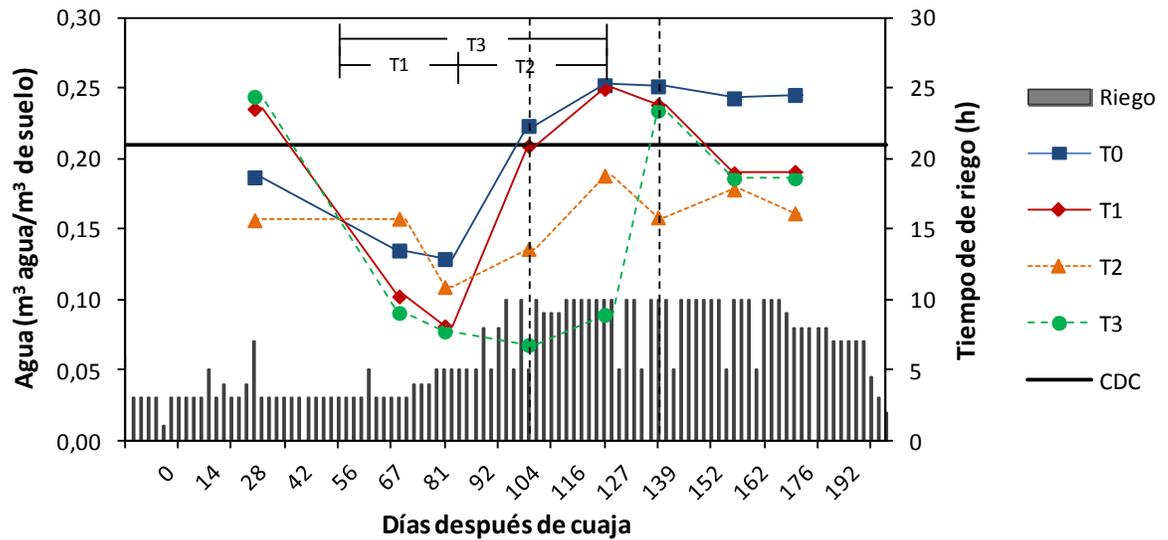


Figura 13. Evolución del contenido de agua promedio en los primeros 40 cm de profundidad en cada tratamiento de riego ($n=2$), y tiempo de riego. Líneas discontinuas separan las tres etapas de crecimiento del fruto. Se indica el período de duración de cada tratamiento de riego (T1, T2, T3).

La mayor diferencia en el CAS entre los tratamientos fue observada en la etapa II de crecimiento del fruto, la cual se caracterizó por una alta tasa de consumo diario de agua y una alta ganancia de peso del fruto asociado a la alta acumulación de solutos por parte de los arilos. De acuerdo a esto, el efecto del régimen de riego de T3 podría o no afectar la respuesta del peso del fruto a cosecha, aún cuando se haya aplicado un 14% menos de agua que el testigo. A escala diaria, la diferencia del CAS entre el testigo y T3 es observada en la Figura 14.

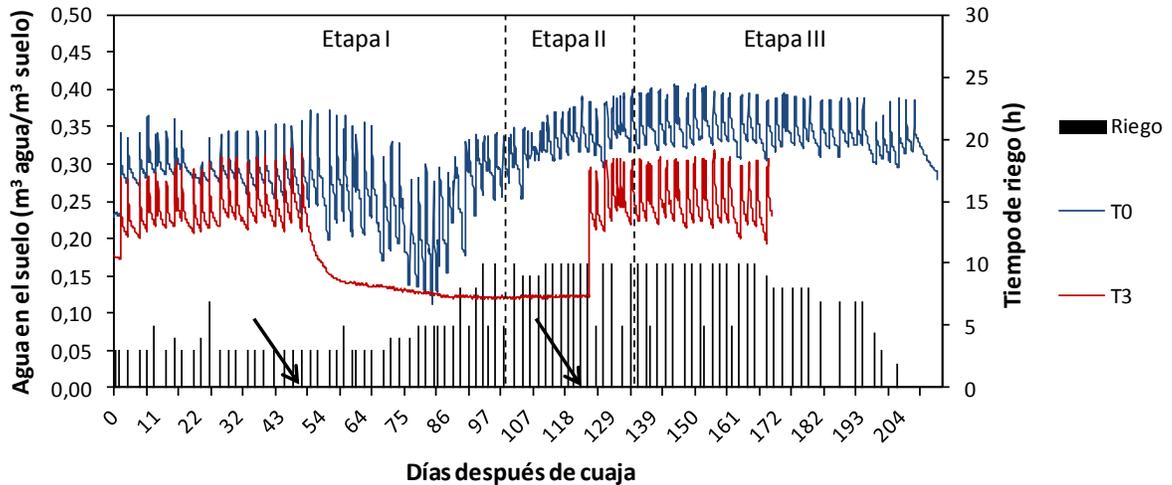


Figura 14. Evolución del contenido de agua en el suelo en los primeros 20 cm de profundidad de suelo, y tiempo de riego durante la temporada. Flechas indican período de inicio y término del déficit impuesto en T3. Se identifican las etapas de crecimiento del fruto.

El sensor de humedad ubicado deliberadamente bajo el emisor, evidenció la disminución del CAS en el tratamiento deficitario (T3) a los 20 cm de profundidad. El contenido de agua permanece en un nivel constante en torno a un 15% de humedad volumétrica, valor que en suelos de estas características (textura media) es cercano al punto de marchitez permanente (PMP), es decir, que las raíces bajo los emisores obturados probablemente fueron sometidas a una condición crítica de agua.

A escala diaria, la evolución del contenido de agua en los primeros 20 cm de profundidad presentó fuertes variaciones durante el día y la noche (Figura 15). Durante el día, la disminución del contenido de agua estuvo asociada a la extracción de agua por parte de la planta y a la evaporación directa desde el suelo (Allen et al., 2006). La extracción de agua desde el suelo comenzó a las 9 am, junto con el aumento de la radiación solar y el déficit de presión de vapor (DPV), y continuó hasta las 9 pm registrando una tasa media de $0,04 \text{ m}^3$ de agua / m^3 de suelo (4% al día). Este porcentaje de disminución diaria del CAS en los primeros 20 cm de profundidad fue equivalente a 8 mm día^{-1} de altura de agua, extraídos por efecto de la evaporación directa gobernada por el DPV, por la absorción de las raíces controlada por el proceso de transpiración y por las pérdidas asociada a la percolación profunda. En la noche el CAS permanece constante puesto que no existe demanda atmosférica ni demanda de agua por la planta producto del cierre estomático (Figura 15A y 15B).

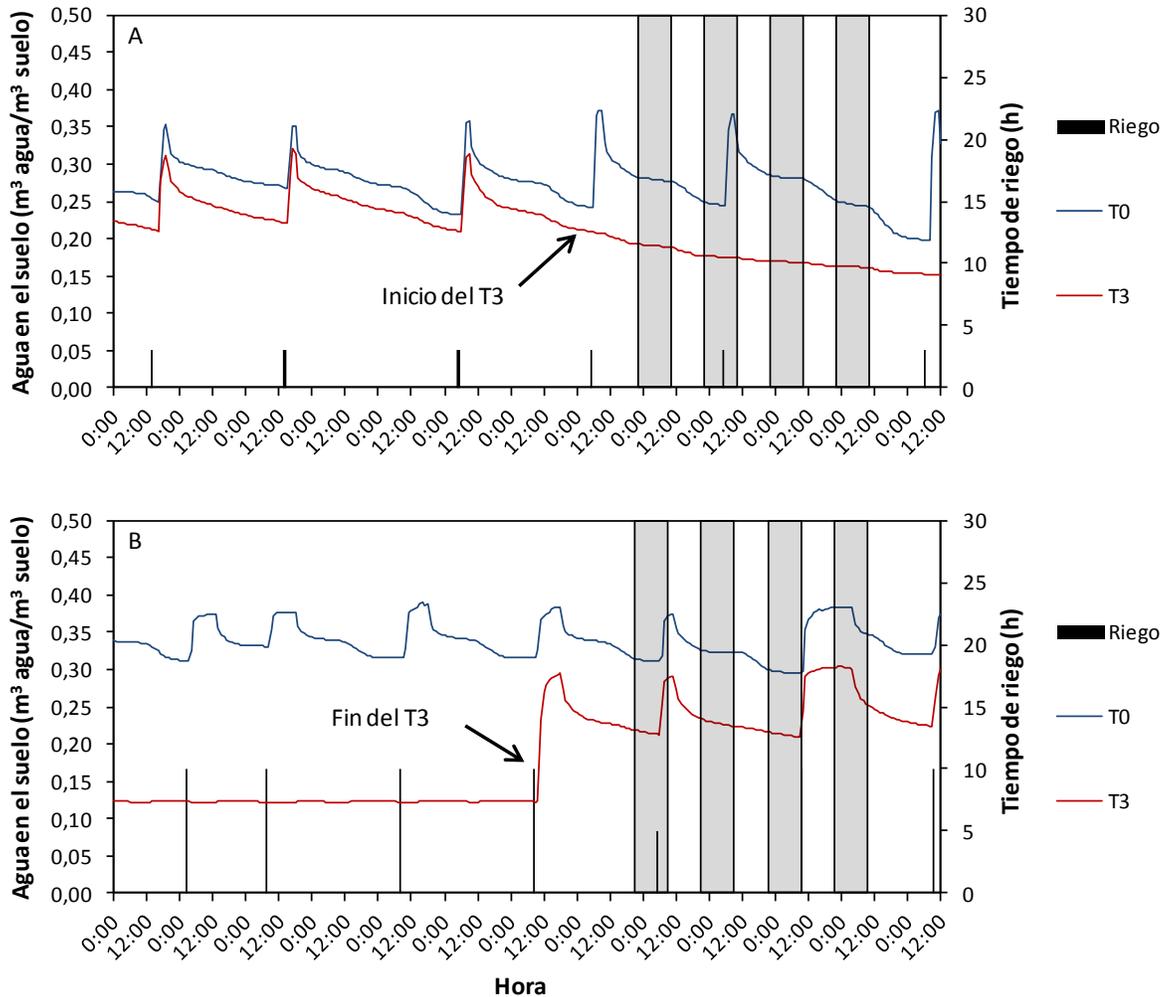


Figura 15. Evolución continua del contenido de agua en el suelo los días previos y posteriores a la implementación de T3 (A) y a la finalización de T3 (B). Las barras grises indican períodos nocturnos.

Una vez finalizado el riego deficitario impuesto a T3 (Figura 15B), en plena etapa II de crecimiento, el CAS se recuperó hasta valores cercanos al testigo, incluso a valores similares registrados previos a la imposición de T3 (Figura 15A). El patrón diario de extracción del agua una vez repuesto el riego en T3 fue similar al testigo, por lo que se presume que la baja disponibilidad de agua registrada en T3 (15% v/v) no generó alteración alguna en la capacidad de extracción de agua del sistema radical ubicado bajo los emisores obturados.

Los riegos efectuados en el periodo posterior a T3 fueron más frecuentes y largos, lo que implicó que el máximo diario se mantuviese alrededor del 38% de contenido de agua volumétrico durante las primeras horas de riego para posteriormente descender en función de la demanda de agua o evapotranspiración (ET_C).

Potencial hídrico xilemático

En la Figura 16 se observa la evolución estacional del potencial hídrico xilemático (Ψ_x), el cual registró un valor máximo de -1,2 MPa a los 67 ddc y un mínimo de -1,7 MPa previo a cosecha. Según lo constatado por Buesa et al. (2012) bajo un riego adecuado, el granado ‘Mollar de Elche’ exhibe valores de Ψ_x dentro del rango registrado en este estudio (Figura 16), es decir que el déficit impuesto no indujo un estrés hídrico importante. Por su parte, el Ψ_x mínimo previo a cosecha es explicado por el aumento de la demanda evaporativa atmosférica (Intrigliolo et al., 2011), aunque también ha sido reportado en otras especies frutales como la vid, el cual ha sido asociado al crecimiento del fruto (Sellés y Ferreyra, 2005), y en durazno debido al crecimiento de raíces en zonas muy secas del perfil de suelo (Intrigliolo y Castel, 2004).

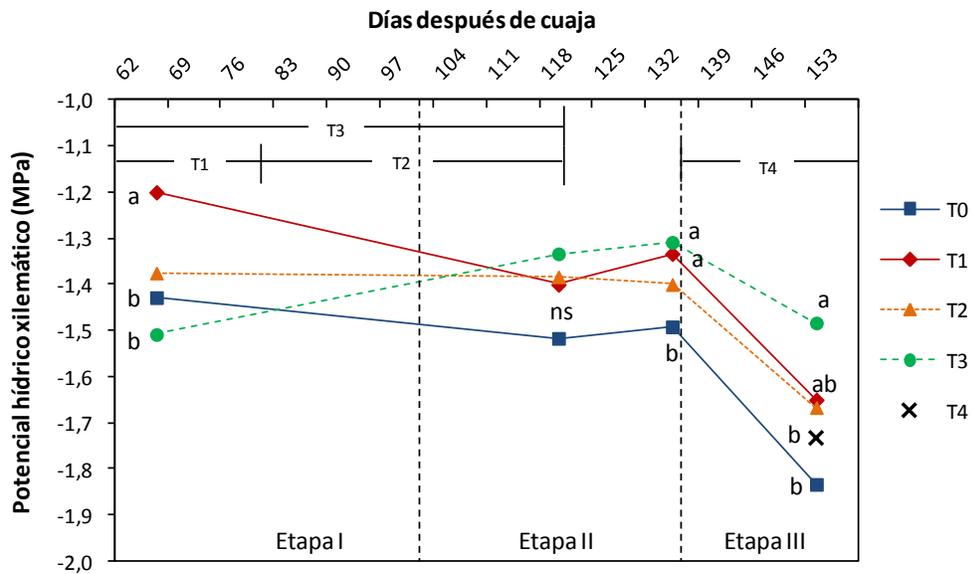


Figura 16. Evolución del potencial hídrico xilemático a lo largo de la temporada (n=6). Se identifican las distintas etapas de crecimiento del fruto. Se indica el período de duración de cada tratamiento de riego (T1, T2, T3 y T4). Letras distintas en el mismo día indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de comparación múltiple LSD de Fisher ($p \leq 0,05$).

En la etapa I del crecimiento del fruto, a dos semanas desde la imposición de T1 y T3 (67 ddc), el Ψ_x de T1 fue significativamente mayor a los demás tratamientos, incluso mayor a T3, a pesar del similar CAS observado entre estos (Figura 13). En la etapa II no se identificaron diferencias significativas entre los tratamientos a pesar de las diferencias reportadas en el contenido de agua en el suelo (Figura 13). Al final de la etapa II, tanto T1 como T3 presentaron un mejor estado hídrico que los demás tratamientos, lo que podría ser atribuido a un buen equilibrio entre el contenido de agua y aire en la zona de raíces. Las evaluaciones no reportaron una correlación significativa entre el contenido de agua en el suelo y el potencial hídrico xilemático, comportamiento que concuerda con el similar potencial hídrico de pre-alba (o potencial hídrico del suelo) registrado entre todos los tratamientos de riego ($p \leq 0,05$, dato no mostrado). En la etapa III de crecimiento, el Ψ_x de

T1 y T3 fue comparativamente mayor al testigo, incluso después del término de los tratamientos, lo cual presupone que el régimen de riego efectuado en etapas iniciales posee un efecto en etapas posteriores sobre esta respuesta fisiológica (Opazo, 2012). Es importante mencionar que la baja disponibilidad hídrica observada en T3 (Figura 14) tuvo un efecto negativo sobre el estado hídrico de la planta sólo en la etapa I de crecimiento del fruto (Figura 16). Según Matthews y Shackel (2005), uno de los primeros procesos que se ven afectados por un déficit hídrico es la expansión celular puesto que es muy sensible a cambios de turgencia en las células. No obstante, en el transcurso de la temporada, el estado hídrico de T3 mejoró e incluso presentó valores de potencial mayor a los demás tratamientos, concordando con la gran adaptación a zonas áridas y suelos marginales que posee esta especie frutal (Prat y Botti, 2002; Holland et al., 2009). Al final de la etapa II de crecimiento, el Ψ_x de T3 fue significativamente mayor a los demás tratamientos, involucrando posiblemente un mayor potencial hídrico del fruto (Ψ_f), según lo postulado por Galindo et al. (2014). De acuerdo a esta aseveración, un mayor Ψ_f implicaría un alto potencial de presión (Ψ_p) en los arilos (Taiz y Zeiger, 2002), es decir, que un mayor valor de Ψ_f está asociado a una menor capacidad de atracción de agua por parte de los arilos (Galindo et al., 2014). En este contexto, Milad y Shackel (1992) trabajando en ciruelos, postularon que un bajo potencial hídrico en la planta está asociado a un bajo potencial osmótico (Ψ_s), componente importante del potencial hídrico total ($\Psi_s + \Psi_p$). Este bajo potencial osmótico en el fruto puede causar una fuerte atracción de agua por la alta concentración de solutos, causando en definitiva un brusco cambio del volumen interno del fruto (Shwartz et al., 2009) en contraste al aumento del volumen externo, favoreciendo la propensión a la partidura (Galindo et al., 2014). En este contexto, y sumado a la presumible alteración de la expansión celular en la etapa I de crecimiento, el nivel de materia seca en los arilos de T3 permitió una menor capacidad de atracción de agua, implicando de este modo, una menor presión interna que en los demás tratamientos.

Según algunas investigaciones, el potencial hídrico xilemático en granado es un buen indicador de la disponibilidad de agua en el suelo (Badal et al., 2012; Intrigliolo et al., 2011; Intrigliolo et al., 2013). Sin embargo, cuando el nivel de déficit impuesto no es de gran magnitud, tal como el observado en este estudio, el Ψ_x no es capaz de detectar diferencias entre los distintos regímenes hídricos (Opazo, 2012). No obstante, se ha demostrado que la conductancia estomática es un buen indicador frente a las condiciones climáticas, y que además, es sensible a la variación del contenido de agua en el suelo (Intrigliolo et al., 2011; Franck et al., 2012; Opazo 2012). Esta respuesta le otorga, a esta especie, un comportamiento de carácter isohídrico. La principal característica de este comportamiento es la capacidad de resistir condiciones de escases hídrica mediante el cierre total o parcial de estomas, lo que limita la tasa transpiratoria para evitar la cavitación dentro del xilema (Jones y Sutherland, 1991; Jones, 2007).

Fotosíntesis neta instantánea y conductancia estomática

La fotosíntesis neta (P_n) y la conductancia estomática (g_s) presentaron un similar comportamiento a lo largo de la temporada en todos los tratamientos de riego (Figura 17A y 17B), reportando una tendencia al aumento desde cuaja hasta cosecha. Concordante tendencia fue reportada por el déficit de presión de vapor (DPV), como reflejo de la

demanda atmosférica, alcanzando un máximo al final de la etapa II de crecimiento, lo que coincidió con las temperaturas máximas de la temporada (dato no mostrado). El alto valor de P_n reportado en la etapa II y III sumado a las altas temperaturas diarias permitieron un rápido transporte de asimilados desde las fuentes (hojas) hacia los sumideros (frutos) (Taiz y Zeiger, 2002), evidenciado en una alta ganancia de peso y acumulación de materia seca en los arilos. Posteriormente, el DPV decayó hasta cosecha, no así la g_s ni la P_n . El testigo manifestó un mayor valor de g_s , y por tanto en la P_n , induciendo probablemente una mayor disponibilidad de azúcares destinados tanto para su acumulación en los distintos órganos de la planta, como también para su importante rol en los procesos metabólicos (Taiz y Zeiger, 2002). Sin embargo, estadísticamente esta diferencia con respecto a los demás tratamientos no fue significativa.

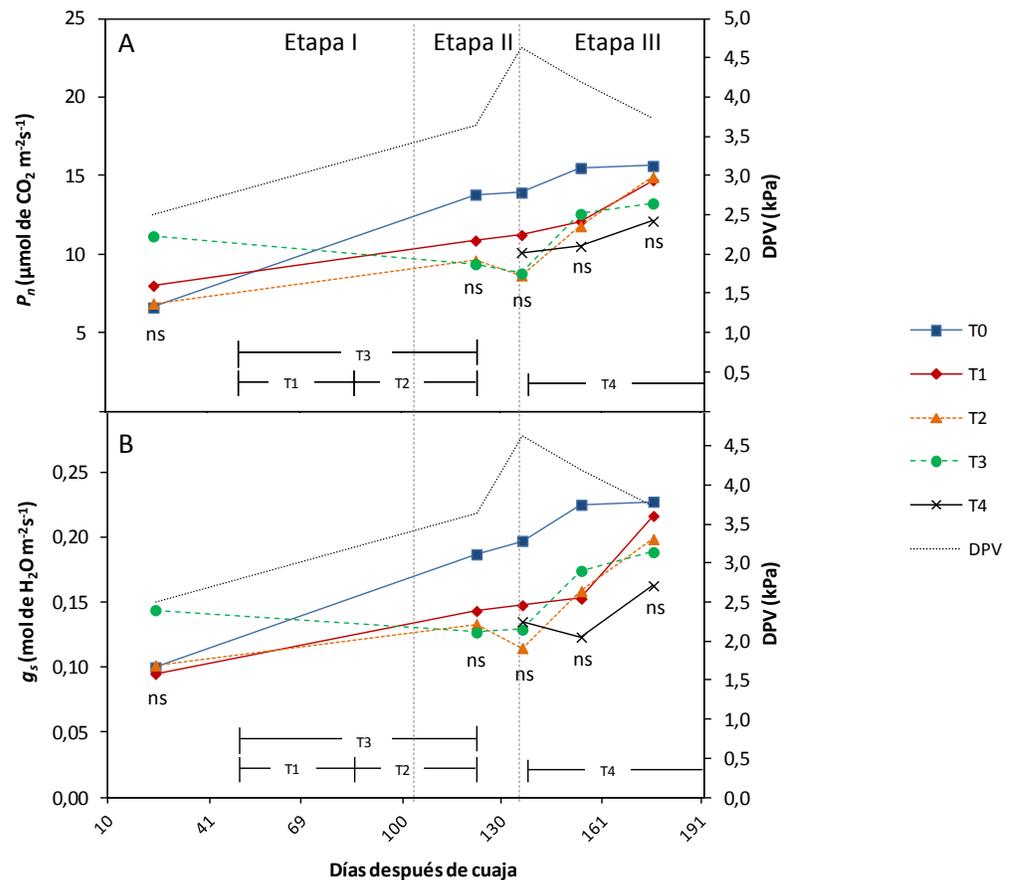


Figura 17. Evolución estacional de (A) la fotosíntesis neta (P_n) y (B) la conductancia estomática (g_s) en todos los tratamientos de riego. DPV: Déficit de presión de vapor ns: ausencia de diferencias significativas entre las medias de cada tratamiento.

Según Intrigliolo et al. (2011), el granado es una especie de carácter isohídrico, es decir, que la regulación estomática cumple un rol fundamental frente a condiciones medioambientales estresantes que alteran el estado hídrico de las plantas; como la baja disponibilidad de agua en el suelo (Frank et al., 2012) y/o una alta demanda hídrica o DPV (Intrigliolo et al., 2013). En este sentido, se observó una relación inversa y significativa

entre la conductancia estomática y el DPV (Figura 18) pero no frente a distintos regímenes hídricos ($r = 0,04$), sin tampoco ejercer un efecto significativo sobre la fotosíntesis neta. El déficit aplicado en la etapa III correspondiente al 25% del riego del agricultor tampoco tuvo un efecto significativo sobre la conductancia estomática, por lo cual no se vislumbra un efecto sobre el rendimiento. El efecto del DPV sobre la conductancia estomática probablemente enmascaró el efecto de la disponibilidad de agua sobre esta respuesta fisiológica, tal como lo demostró Opazo (2012) cuando observó una baja respuesta de la conductancia frente a distintos déficit hídricos al momento de máxima demanda atmosférica (máximo DPV), pero sí, en las evaluaciones realizadas en la mañana y la tarde. Es la hora de evaluación lo que probablemente explica la ausencia de significancia entre las medias de cada tratamiento.

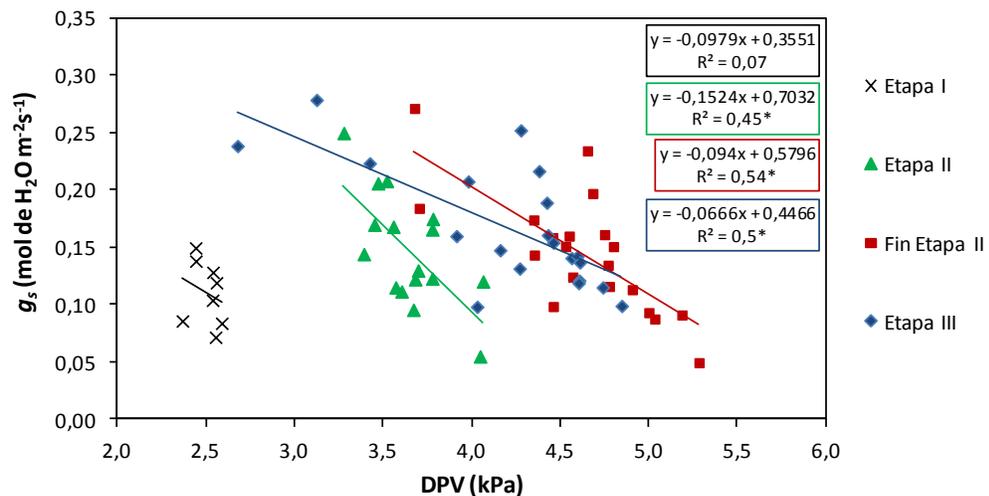


Figura 18. Relación entre la conductancia estomática (g_s) y el déficit de presión de vapor (DPV) al mediodía solar en las distintas etapas de crecimiento del fruto.

El DPV máximo alcanzado al mediodía solar influyó significativamente en el comportamiento estomático, disminuyendo la conductancia del vapor de agua hacia la atmosfera. Esta es una estrategia de las plantas para evitar la pérdida de agua y ocurre a través del cierre parcial de los estomas (Taiz y Zeiger, 2002). Además de disminuir el flujo de vapor de agua hacia la atmosfera (transpiración), el cierre parcial de estomas afecta la captura de CO_2 atmosférico a través de ellos, alterando de esta manera el proceso de fotosíntesis. Lo anterior explica que a mediodía solar existe una disminución temporal de la tasa fotosintética (Katul et al., 2009), atribuida al cierre parcial de los estomas, y puede ser realizada por un desbalance hídrico en el suelo (déficit o exceso de agua). De acuerdo a esto, existe la capacidad de algunas plantas que, a una misma conductancia estomática, alcanzan una mayor o menor fotosíntesis neta. La eficiencia en el uso de agua (EUA) es un índice de tolerancia que tienen las plantas para crecer y producir bajo condiciones de permanente escasez hídrica. En este sentido, el granado es una de las especies frutales con más altos valores de EUA (Holland et al., 2009; Khattab et al., 2011).

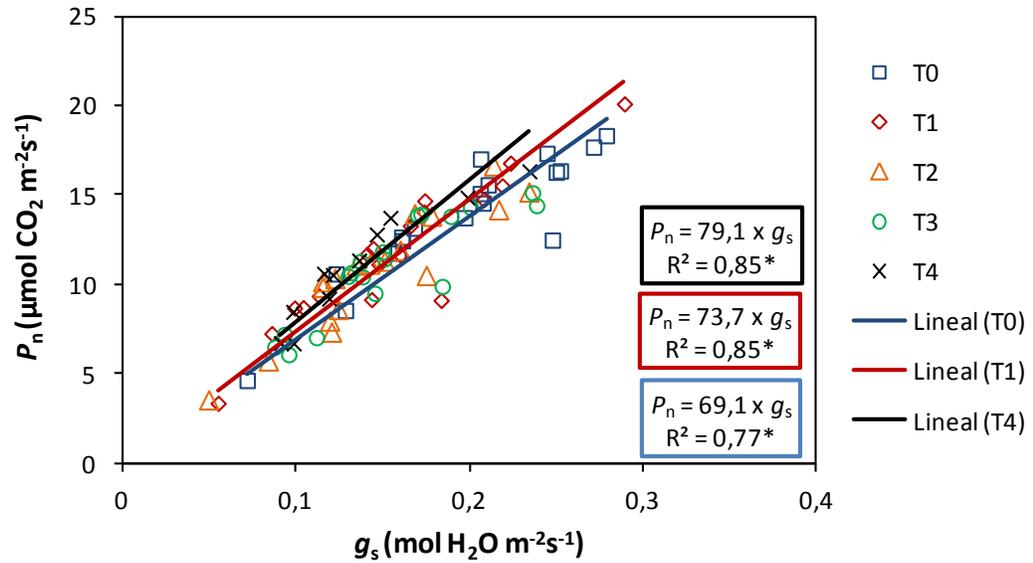


Figura 19. Relación entre la conductancia estomática (g_s) y la fotosíntesis neta instantánea (P_n) en cada tratamiento de riego.

La EUA intrínseca (EUA_i) es reflejo de la relación entre la fotosíntesis neta y la conductancia estomática instantánea (Figura 19). En este estudio, el T4 presentó la mayor EUA_i al mediodía solar, es decir, que para un mismo valor de fotosíntesis, las plantas del T4 lo alcanzaron con la menor conductancia estomática. Sin embargo, este resultado no fue estadísticamente significativo aunque en términos porcentuales la EUA_i en T4 fue un 12,6% más que el testigo, maximizando la fotosíntesis con la menor pérdida de agua. Este comportamiento concuerda con diversos estudios acerca de las respuestas fisiológicas frente a un déficit hídrico (Intrigliolo et al., 2011; Opazo, 2012; Intrigliolo et al., 2013). La EUA_i también puede ser representada en función de la temperatura de la hoja (T_h), cuya determinación se realizó paralelamente a la evaluación de fotosíntesis instantánea. La T_h ha resultado ser un mal indicador del estado hídrico de la planta (Opazo, 2012), puesto que la confianza del dato depende del nivel de déficit impuesto y de la hora de medición (Opazo, 2012). De acuerdo a lo señalado por algunos autores, el aumento de la temperatura es una respuesta al cierre de los estomas afectando temporalmente al proceso de transpiración (Jones, 2007). Es por ello que a temperaturas altas, y por consiguiente un DPV alto, la EUA_i disminuye (Figura 20).

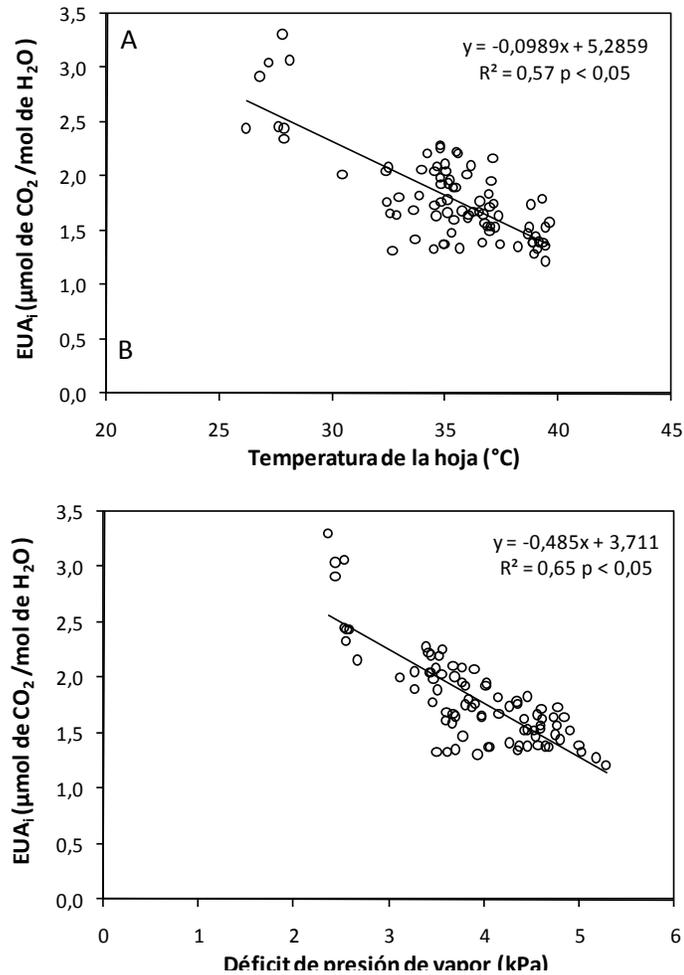


Figura 20. Relación entre EUA_i y temperatura de la hoja (A), y entre EUA_i y déficit de presión de vapor (B).

Temperatura de la hoja y del fruto

Tanto la temperatura de la hoja (T_h) como la temperatura de la superficie del fruto (T_f) no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tratamientos de riego, salvo en algunos períodos y horas del día. La T_h presentó diferencias entre los tratamientos únicamente a los 136 ddc, en las primeras horas del día (Apéndice I) donde T4 presentó la mayor temperatura foliar. Esto podría asociarse a déficit de agua impuesto (25% del riego testigo), sin embargo, en el transcurso de la temporada, la T_h fue similar a los demás tratamientos, respuesta concordante con lo observado por la conductancia estomática.

Por su parte, en la etapa II de crecimiento (102 y 136 ddc), los frutos de T3 y T0 presentaron una mayor temperatura posterior al mediodía solar, mientras que T1 reportó las más bajas (Apéndice II). El T2 alcanzó valores intermedios. La baja respuesta de la temperatura en ambos órganos frente al régimen de riego, puede ser atribuida a la hora de medición y al sombreado total o parcial que recibieron algunos frutos evaluados. Una

vez impuesto el T4, la temperatura de sus frutos fue similar a la observada en los demás tratamientos.

Si bien el régimen de riego no afectó, en gran medida, a la temperatura de ambos órganos, sí se observaron diferencias significativas en cuanto a la exposición de estos (noroeste – sureste). Los frutos y hojas de exposición sureste (SE) presentaron una mayor temperatura superficial que los de exposición noroeste (NO) (Figura 21A y 21B). La diferencia de temperatura entre las exposiciones SE y NO fue menos acentuada en las hojas, debido a sus características físicas y a su capacidad de transpirar en mayor medida que los frutos, permitiendo regular eficientemente su temperatura (Jones, 2004; Jones 2007).

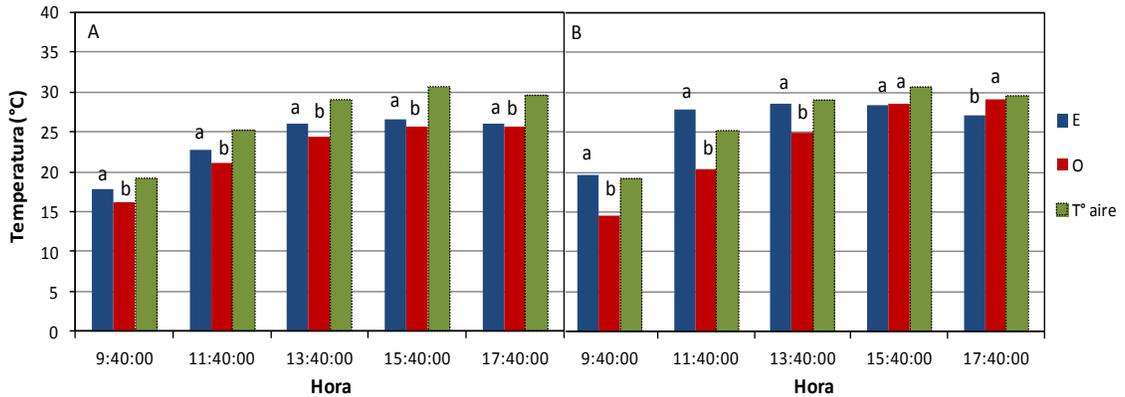


Figura 21. Temperatura de la hoja (A) y del fruto (B) a distintas horas del día, de acuerdo a su exposición, donde E corresponde a la exposición este y O corresponde a la exposición oeste. Letras distintas en la misma hora indican diferencias estadísticamente significativas según la PCM de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Componentes del rendimiento y EUA

Los componentes del rendimiento no fueron afectados por los tratamientos de riego (Cuadro 3), lo cual implica la factibilidad de establecer, frente a escenarios de escasas hídricas, regímenes de riego deficitarios con el objetivo de alcanzar producciones adecuadas ($> 30 \text{ ton ha}^{-1}$) y de calidad en la variedad ‘Wonderful’. La restricción de agua en la etapa III, correspondiente al 25% de riego efectuado por el agricultor, no afectó la respuesta productiva del granado y pese a recibir un 30% menos de agua que el testigo, registró un peso de fruto similar a los demás tratamientos, implicando con esto una alta eficiencia en el uso de agua (Cuadro 3). Resultados similares han sido obtenidos por Franck et al. (2012) e Intrigliolo et al. (2013).

Cuadro 3. Efecto de los distintos regímenes hídricos sobre los componentes del rendimiento de granado ‘Wonderful’ temporada 2012 – 2013.

Tratamiento	Peso del fruto (g)	Rendimiento (ton ha ⁻¹)	g fruto cm ⁻² ASTT	EUA (kg m ⁻³)
0	400,4 a	36,8 a	797,7 a	3,85 b
1	406,7 a	37,7 a	849,7 a	4,09 b
2	410,4 a	33,7 a	705,6 a	3,95 b
3	430,9 a	28,9 a	612,7 a	3,53 b
4	388,4 a	30,2 a	733,5 a	5,06 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la PCM de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

El peso de frutos no fue afectado por los tratamientos, sin embargo, su valor fue alterado por el número de frutos por planta (Figura 22). De acuerdo a esto, la carga frutal fue un dato utilizado como una covariable en cada análisis estadístico.

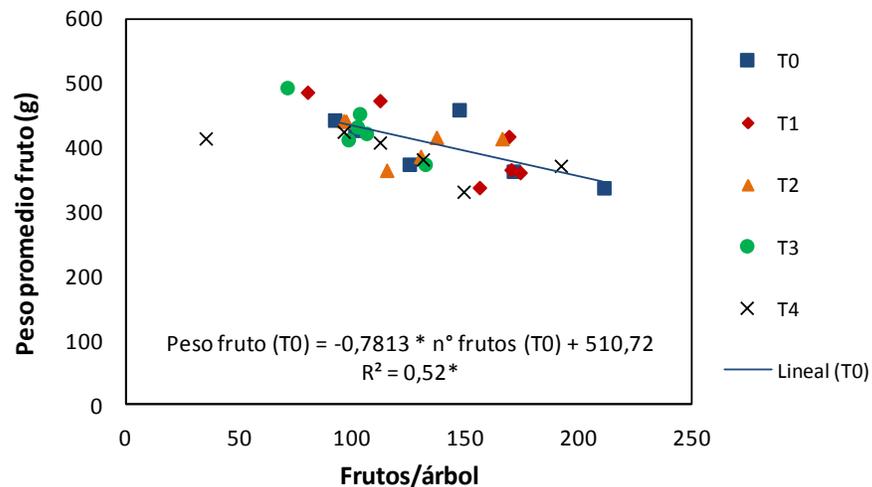


Figura 22. Relación entre la carga frutal (frutos/árbol) y el peso promedio del fruto en cada tratamiento de riego. La línea de tendencia y ecuación de la recta corresponden al testigo (n = 6).

La línea de tendencia observada en la Figura 22 corresponde a la del testigo y predice un peso promedio de frutos potencial de 510,7 g (intercepto). Por otro parte se deduce que por cada 10 frutos soportados por la planta, el peso promedio de estos decae en 7,8 g. Teniendo en cuenta el efecto que ejerce la carga frutal sobre el peso del fruto, se asignó el modelo lineal correspondiente al testigo a todas las plantas para determinar la variación del peso con respecto al testigo obviando el efecto de la carga frutal (Figura 23).

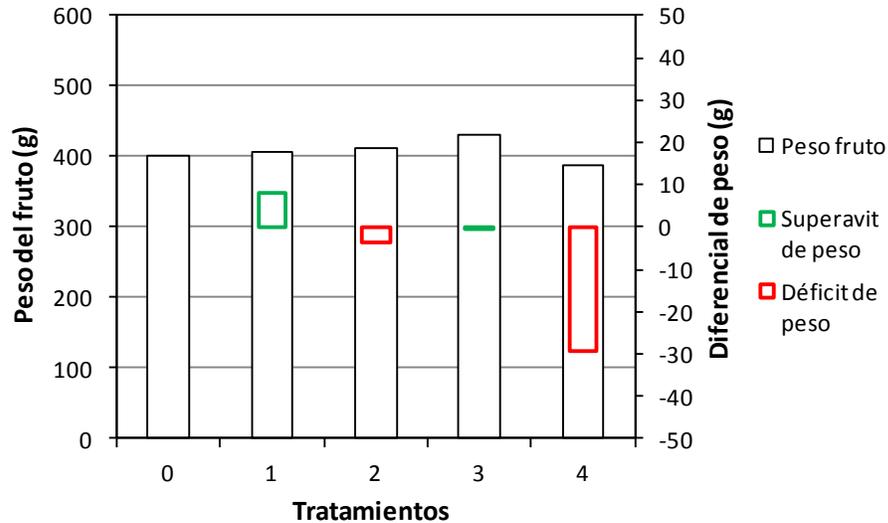


Figura 23. Peso promedio del fruto a cosecha en cada tratamiento de riego y diferencial de peso con respecto al testigo (0).

En términos generales, el peso del fruto no fue afectado por los tratamientos deficitarios (60% del riego del predio). Por otra parte, el régimen de riego impuesto en T4 afectó negativamente el peso del fruto, representando una pérdida media de 30 g por fruto. Esto indica que a pesar que el déficit en T4 no resultó en un efecto significativo sobre los componentes del rendimiento, mostró una tendencia a reducir el peso promedio de los frutos en un 30% y el rendimiento en un 7,5% por lo que, previo a su implementación a escala comercial, estos resultados debieran ser validados en una segunda temporada.

Calidad del fruto

Los tratamientos de riego no afectaron la calidad del fruto en términos de color de cubrimiento, 'russet' y golpe de sol (Cuadro 4). Por otra parte, existió un efecto sobre la partidura potencial de los frutos, experimentando el T3 un menor porcentaje de fruta partida con respecto a los demás tratamientos (Cuadro 4). La incidencia de partidura como respuesta al régimen hídrico ha sido observada en distintas especies frutales: cerezas (Simon, 2006), vid (Matthews y Shackel, 2005), y también en granado (Khattab et al., 2011; Opazo, 2012; Intrigliolo et al., 2013; Galindo et al., 2014). La disminución de la partidura implicó una ganancia de rendimiento correspondiente al 15% y un ahorro de agua total del 14% con respecto al testigo, involucrando un promisorio avance en medidas orientadas a controlar la partidura en condiciones hídricas limitantes. Tratamientos hídricos deficitarios han demostrado efectos positivos sobre la disminución de la partidura (Opazo, 2012; Parvizi et al., 2014), cuya respuesta es atribuida a la baja variación del agua en el suelo durante la el período de maduración del fruto.

Cuadro 4. Efecto de los distintos regímenes hídricos sobre la calidad de la fruta de granado ‘Wonderful’ en la temporada 2012 – 2013.

Tratamiento	Color de cubrimiento (%)	‘Russet’ (%)	Golpe de sol (%)	Partidura (%)
0	87 a	88 a	30 a	36 b
1	88 a	87 a	30 a	38 b
2	91 a	88 a	29 a	35 b
3	86 a	84 a	28 a	21 a
4	88 a	84 a	26 a	31 ab

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la PCM de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Asumiendo como única fuente de variación al régimen hídrico, el menor % de partidura observado en T3, podría asociarse al estado hídrico de las plantas bajo dos conjeturas: en primera instancia, a una menor expansión celular en la etapa I de crecimiento del fruto producto de un bajo potencial hídrico (Hsiao, 1973), que sin afectar el número de arilos por fruto, sí repercutió en el tamaño potencial de estos causando una menor presión interna y, en segunda instancia, a un alto potencial hídrico reportado desde la etapa II hasta cosecha, el que podría haber influido en un menor poder de atracción de agua en estos frutos a causa de un menor potencial de solutos (Milad y Shackel 1992; Galindo et al., 2014) generando del mismo modo, una menor presión interna.

El color de cubrimiento es un índice de madurez (Manera et al., 2012; Mir et al., 2012), por lo que se infiere que los tratamientos de riego no tuvieron efecto sobre la maduración del fruto. Por otro lado, el daño por ‘russet’ y golpe de sol están dados básicamente por las condiciones climáticas y no necesariamente por efecto de la disponibilidad de agua en el suelo. El nivel de daño por ‘russet’, golpe de sol y partidura fue clasificado en: sin daño, daño leve, moderado y severo. Según esta escala, los tratamientos de riego no tuvieron un efecto significativo en el nivel de daño (Figura 24A, 24B y 24C).

En términos generales, el 86% de los frutos sufrieron daño por ‘russet’ (Figura 24A), el cual fue explicado por el roce de ramas y espinas incentivado por las ráfagas de viento que sobrepasaron los 20 km h^{-1} en algunos momentos del desarrollo del fruto. El 50 y 25% de los frutos presentaron daño leve y moderado, respectivamente, mientras que 12% de los frutos presentaron un daño severo (Figura 24A), lo que podría repercutir significativamente sobre la fracción exportable. No obstante, este problema es controlado en el predio mediante el uso de cambuchos de papel, los cuales son utilizados, específicamente, para contrarrestar el daño por golpe de sol (Díaz, 2012).

El daño por golpe de sol es recurrente en zonas con alta temperatura y radiación solar. El lugar del estudio estuvo sujeto a las condiciones mencionadas y por ello alrededor del 30% de los frutos presentaron cierto grado de daño (Figura 24B). El 20% del total correspondió a un daño leve (visualmente casi imperceptible) y no significó una merma de la fracción exportable, mientras que sólo el 3% de los frutos exhibió un daño severo.

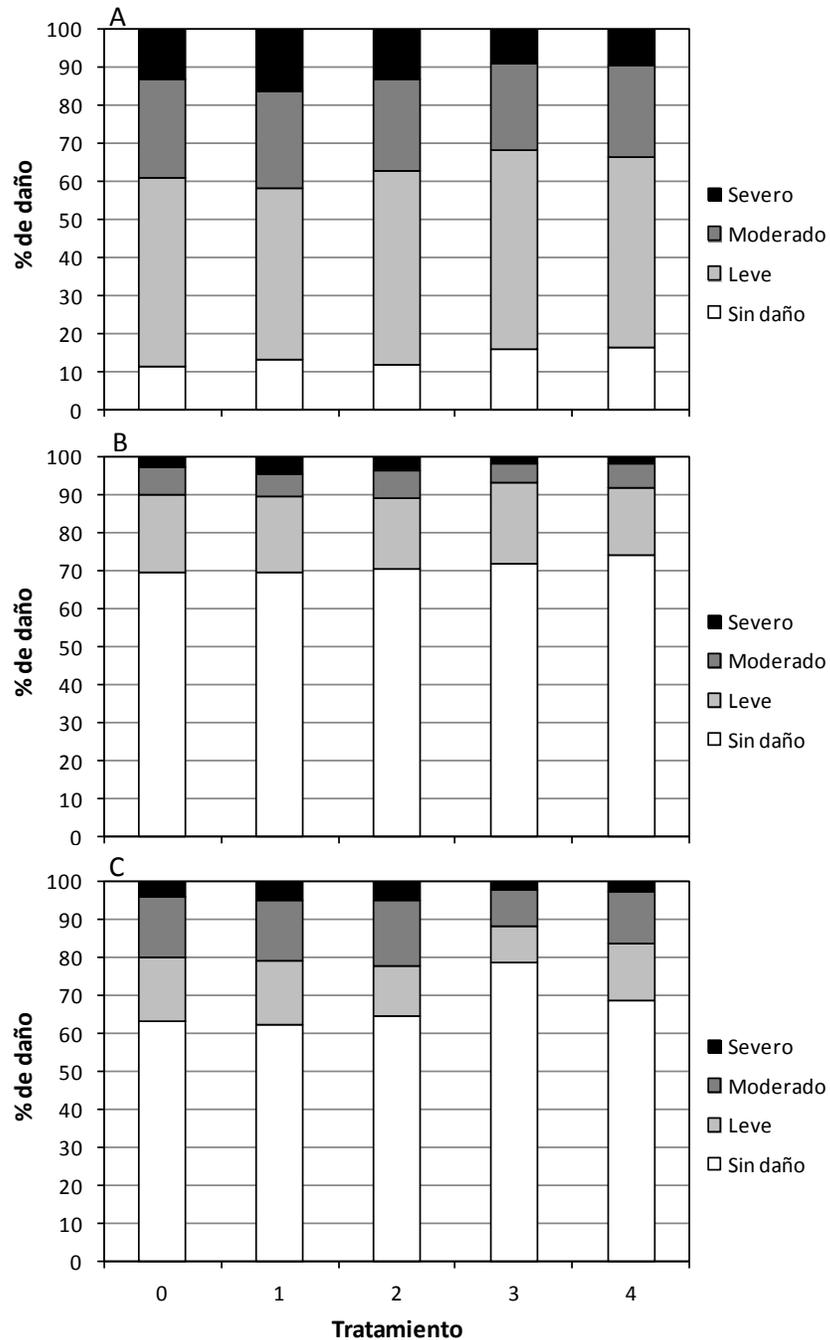


Figura 24. Porcentaje de daño por ‘russet’ (A), golpe de sol (B) y partidura (C) a cosecha en cada tratamiento de riego.

En el tratamiento T3, además de observarse un mayor número de frutos sin partidura (Figura 24C), se obtuvo un menor porcentaje de frutos con daño moderado y severo, lo cual podría indicar que este régimen hídrico favoreció la resistencia física de la cáscara ante la presión interna del fruto. Para determinar con mayor detalle el comportamiento de los tratamientos se evaluó la evolución de la partidura posterior a la cosecha comercial, y con ello también algunas características físicas del fruto

Partidura del fruto

La partidura acumulada en el tiempo se determinó evaluando la fruta partida retenida en la planta una vez realizada la cosecha comercial, lo que permitió evaluar la tasa de partidura diaria (Figura 25). Hasta los 198 ddc, la tasa de partidura en T3 fue significativamente más baja que los demás tratamientos de riego, registrando un promedio de 0,4%/día de partidura en contraste al 1,2%/día observado en T1 (Apéndice III). Después de los 198 ddc no se reportaron diferencias significativas de la tasa de partidura entre los tratamientos, alcanzando un valor promedio de 1,9%/día.

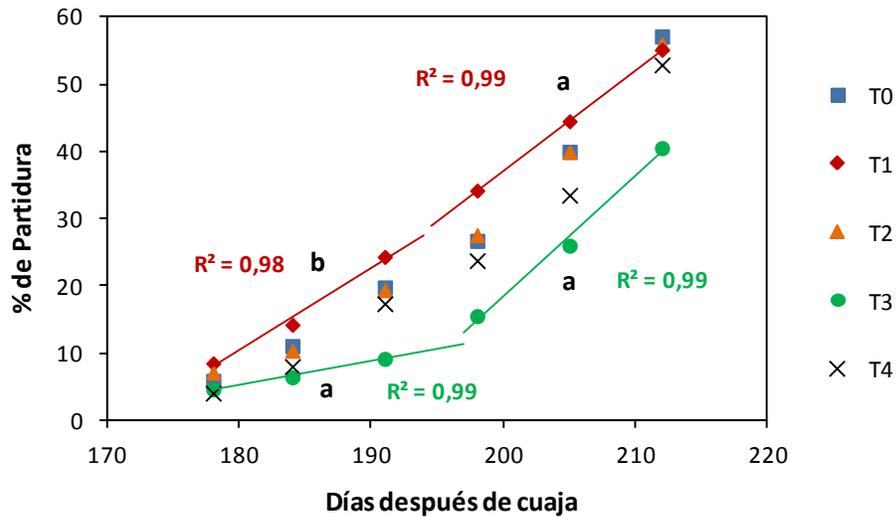


Figura 25. Variación del porcentaje de partidura diaria en dos períodos de maduración de la fruta en el ensayo de riego. Período 1: 178 a 197 días después de cuaja (ddc); Período 2: 197 a 212 ddc. Líneas de tendencia corresponden a T1 y T3.

Adicionalmente, a los 198 ddc se observó una partidura acumulada de 16% comparada al 27% registrada por el testigo (Apéndice IV), es decir, que además de poseer una menor cantidad de fruta partida, la fruta del T3 resiste más tiempo sin partirse, lo que podría estar atribuido, como se discutió anteriormente, a una menor presión dentro del fruto. Según lo observado por Opazo (2012), un déficit de agua en gran parte del período de crecimiento del fruto genera arilos de menor peso, respuesta que, según Hsiao (1973), es explicada por una alteración en la elongación celular de la semilla. De acuerdo a lo señalado por Galindo et al. (2014), es precisamente la presión interna del fruto la causante fisiológica de la partidura en frutos de granado. Sin embargo, la incidencia de partidura también está asociada a la variedad (Holland et al., 2009), la cual puede presentar una mayor o menor susceptibilidad de la cáscara a la partidura. El grado de susceptibilidad está dado por características físicas como el grosor, la permeabilidad y la humedad de la cáscara (Yuan et al., 2012).

Ensayo de aplicación de calcio y caolinita

Temperatura del fruto

Independientemente del nivel de calcio aplicado, los frutos con caolinita presentaron una temperatura levemente inferior que los no aplicados, precisamente en el momento de mayor temperatura en el día (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto de la aplicación de caolinita y la exposición de los frutos sobre la temperatura media de la cáscara a distintas horas del día.

Condición	Temperatura del fruto				
	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00
Sin caolinita	13,4 a	20,9 a	25,3 b	26,7 a	28,1 b
Con caolinita	13,2 a	20,7 a	24,4 a	26,2 a	27,7 a
Sureste	13,9 b	23,5 b	26,2 b	26,1 a	27,1 a
Noroeste	12,6 a	18,1 a	23,5 a	26,8 a	28,7 b
T° aire	16,4	24,8	28,2	30,5	30,4

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la PCM de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

A pesar de esta leve diferencia entre los frutos con y sin caolinita, estos presentaron una media de 3,6 y 3,1 °C por debajo de la temperatura ambiente, respectivamente. Según un análisis de regresión realizado para determinar el comportamiento entre la temperatura ambiente y la del fruto (Apéndice V), indicó que los frutos con caolinita presentaron una menor oscilación térmica que los frutos sin caolinita (Figura 26), es decir, que la película superficial formada por la caolinita permitió, en parte, mantener aislada la cáscara del fruto frente a la radiación solar.

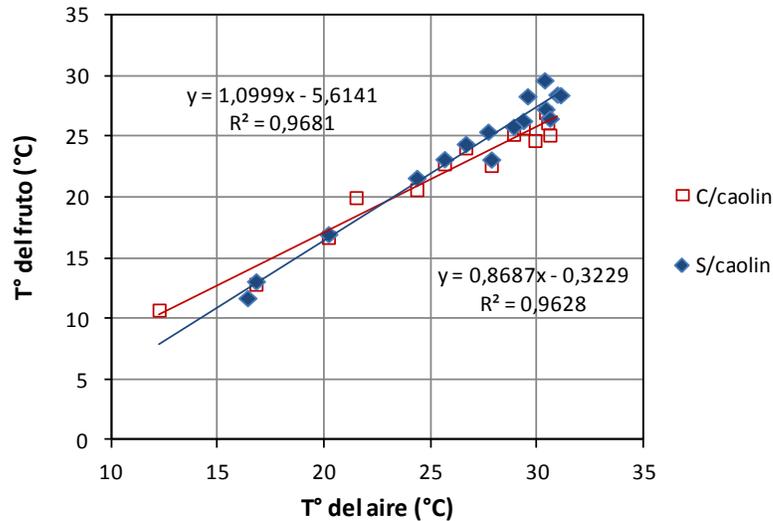


Figura 26. Temperatura de la cáscara en función de la temperatura del aire en frutos con (C) y sin (S) aplicación de caolinita.

Si bien la aplicación de caolinita disminuyó levemente la temperatura de la cáscara, en términos de exposición existieron importantes diferencias en el transcurso del día. La superficie de los frutos de exposición sureste (SE) presentaron una mayor temperatura durante gran parte del día, y solo a las 17 horas, esta fue mayor en la exposición noroeste (NO), momento en el cual alcanzó un máximo medio de 29 °C (Cuadro 5).

Durante gran parte del desarrollo del fruto se registraron temperaturas máximas absolutas que alcanzaron los 38 y 40 °C en la exposición SE y NO respectivamente. Según Holland et al. (2009), la alteración de la cáscara se produce generalmente a finales del período de crecimiento y es más frecuente en frutos sometidos repentinamente a fuertes niveles de radiación y temperatura. Por otro lado, los frutos que enfrentan estos niveles, durante gran parte de su desarrollo, generan un grado de resistencia mayor al daño por golpe de sol que los anteriores. Hay quienes postulan que la superficie del fruto de granado se ve afectada con una temperatura ambiental superior a los 40 °C y con una radiación directa al fruto superior a los 650 Wm⁻² (Yazici y Kaynak, 2009b). En el presente estudio la aplicación de caolinita disminuyó significativamente el daño por golpe de sol y, pese a que no controló sustancialmente la temperatura superficial, evitó que por efecto de la radiación solar directa (Mitra et al., 2010) y la radiación ultravioleta (Glenn et al., 2002) resultara dañada la cáscara del fruto (Figura 27). El efecto de protección de la caolinita duró hasta dos semanas después de la cosecha comercial.

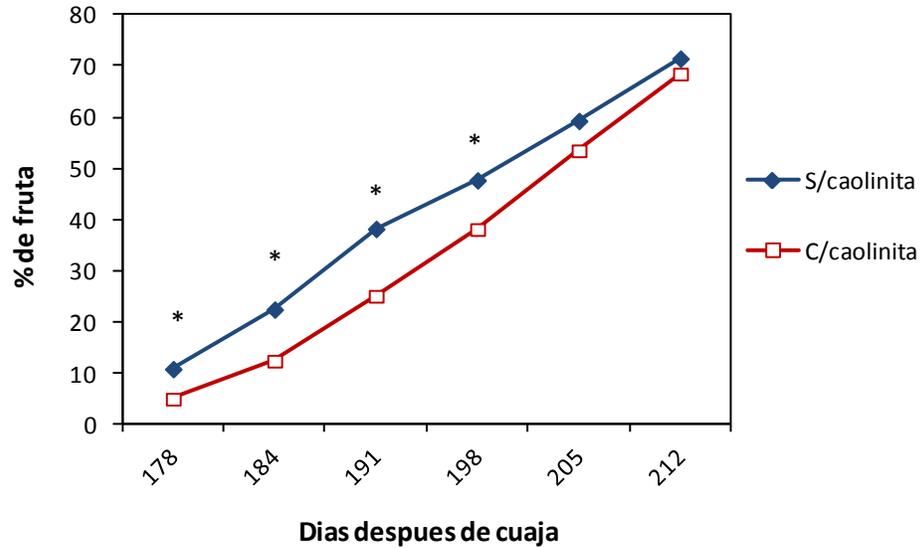


Figura 27. Evolución del porcentaje de fruta con golpe de sol (daño leve, moderado y severo) en frutos con (C) y sin (S) la aplicación de caolinita. Cosecha efectuada a los 184 días después de cuaja. (*) indica diferencias estadísticamente significativas entre las medias ($p \leq 0,05$).

El efecto positivo de la caolinita sobre la disminución del golpe de sol también ha sido reportado en otras especies frutales (Glenn et al., 2002; Wünsche et al., 2004; Gindaba y Wand, 2005) y también en granado (Melgarejo et al., 2004; Yazici y Kaynak, 2009a; Weerakkody et al., 2010; Díaz, 2012), reportándose un efecto positivo sobre la reducción de la partidura del fruto (El-Rhman, 2010; Mitra et al., 2012; Yuan et al., 2012).

Componentes del rendimiento

No se identificó una interacción significativa entre la aplicación de calcio y caolinita (Cuadro 6A y 6B), es decir, que la respuesta del rendimiento frente a la aplicación de caolinita fue independiente del nivel de calcio aplicado.

Cuadro 6. Efecto de la aplicación de calcio (A) y caolinita (B) sobre los componentes del rendimiento en granado ‘Wonderful’.

A				
Aplicaciones de calcio	Peso del fruto (g)	g fruto cm ⁻² ASTT	Kg/planta	Rendimiento (ton ha ⁻¹)
0	395,8 a	715,8 b	45,7 a	30,5 a
1	393,0 a	877,2 a	48,3 a	32,2 a
2	410,4 a	808,1 ab	50,4 a	33,6 a

B				
Aplicación de caolinita	Peso del fruto (g)	g fruto cm ⁻² ASTT	Kg/planta	Rendimiento (ton ha ⁻¹)
Sin	391,7 a	763,8 a	45,8 a	30,5 a
Con	407,7 a	836,9 a	50,6 a	33,7 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la PCM de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

El peso del fruto no fue afectado por las aplicaciones de calcio y presentó una media de 400 g. Por otro lado, al excluir el efecto del tamaño del árbol sobre el peso del fruto, este último aumentó con una aplicación de calcio, sin embargo este resultado no necesariamente se debe al efecto del calcio puesto que, al menos en la cáscara, las dos aplicaciones efectuadas no ejercieron un efecto significativo sobre su concentración (Apéndice VI). Este macronutriente es importante en la rigidez de las paredes celulares, y su cantidad en el fruto determina su firmeza. La rigidez de la pared celular limita la expansión del protoplasto (Taiz y Zeiger, 2002) por lo cual podría alterar la capacidad de elongación celular. Además, aplicaciones de este elemento, por sí solas, no han tenido implicancias importantes sobre el tamaño del fruto (Ramezani et al., 2007).

Por su parte, la aplicación de caolinita en el transcurso de la temporada tampoco tuvo un efecto significativo sobre los componentes del rendimiento, lo que concuerda con lo observado por Melgarejo et al. (2004) y Weerakkody et al. (2010), sin embargo, al aplicar una regresión lineal entre el peso del fruto y la carga frutal el resultado fue distinto. Al igual que en el ensayo de riego y con el objetivo de uniformar los datos en función de la carga frutal, se realizó una correlación lineal entre ambas variables (carga vs peso) en el tratamiento T5 (aplicación de calcio y caolinita), resultando un modelo significativo ($r = -0,95^*$), y mediante el cual se determinó el nuevo peso promedio utilizando la carga frutal como co-variable (Figura 28).

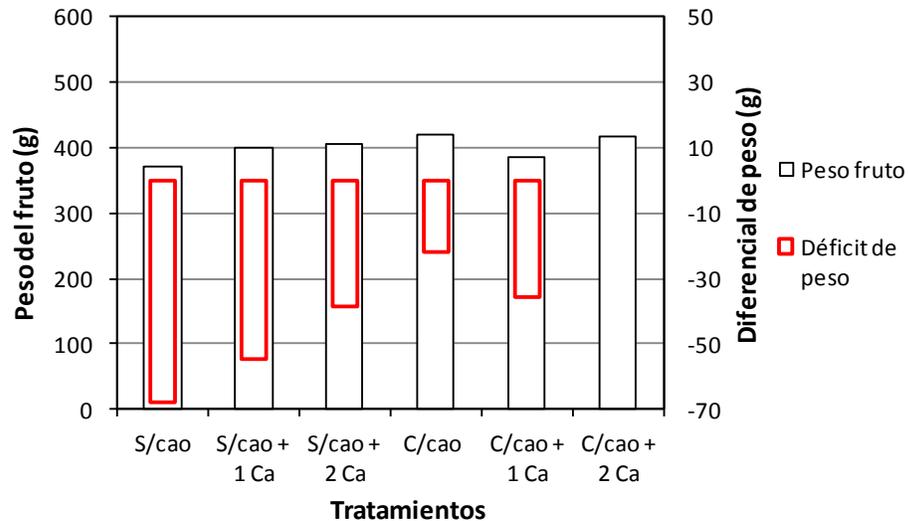


Figura 28. Peso promedio del fruto en cada tratamiento y diferencial de peso con respecto a T5 (C/cao + 2 Ca), según regresión lineal entre el peso y la carga frutal ($n = 6$; $p \leq 0,05$).

Asumiendo que la carga frutal fue igual en todos los tratamientos, el testigo obtuvo la mayor pérdida en el peso promedio de fruto en comparación a T5, registrando una diferencia de 70 g por fruto. En general, las mayores pérdidas de peso se registraron en los tratamientos sin aplicación de caolinita lo cual es concordante con lo reportado por Yazici y Kaynak (2009a), quienes detectaron un incremento de la materia seca provocada por la aplicación de caolinita, lo que podría tener relación con el balance de carbono asociado a una mayor fotosíntesis neta (Glenn et al., 2002).

Calidad del fruto

La aplicación de calcio, independientemente de la aplicación de caolinita, solo tuvo un leve efecto positivo sobre el color de cubrimiento (Cuadro 7A), lo que podría tener relación con un efecto sobre la maduración del fruto (Shwartz et al., 2009). Asimismo, la aplicación del calcio tampoco afectó la partidura del fruto (Cuadro 7A). La concentración de calcio en la cáscara, al momento de la cosecha, no presentó diferencias significativas entre los tratamientos lo que podría estar explicado por el momento y la baja cantidad de aplicaciones realizadas (Apéndice VI). Este resultado contradice lo postulado por algunos autores, quienes indican que la aplicación foliar de calcio (Sheikh y Manjula, 2012), y en combinación con algunos micronutrientes (Mir et al., 2012; Messaoudi et al., 2012), favorece la resistencia a la partidura. Asimismo, se ha observado que frutos no partidos poseen un mayor contenido de calcio estructural (Mitra et al., 2010), sin embargo la aplicación foliar no tiene mayor efecto puesto que su absorción a través de la superficie del fruto es muy baja, tal como lo comprobó Opazo (2012) en frutos de granado y Huang et al. (2008) en estudios con litchi.

Cuadro 7. Efecto de la aplicación de calcio (A) y caolinita (B) sobre los algunos parámetros de calidad del fruto.

A				
Aplicaciones de calcio	Color de cubrimiento (%)	'Russet' (%)	Golpe de sol (%)	Partidura (%)
0	91,7 b	84,9 a	37,1 a	46,3 a
1	94,4 a	86,9 a	41,0 a	50,4 a
2	92,3 b	84,7 a	40,3 a	45,3 a

B				
Aplicación de caolinita	Color de cubrimiento (%)	'Russet' (%)	Golpe de sol (%)	Partidura (%)
Sin	91,8 a	86,5 a	42,1 b	51,3 b
Con	93,9 a	84,5 a	36,8 a	43,3 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la PCM de LSD Fisher ($p \leq 0,05$)

Por otra parte, lo que efectivamente controló el porcentaje de partidura fue la aplicación de caolinita (Cuadro 7B). Este efecto positivo de la caolinita también se reflejó en un menor daño por golpe de sol, identificándose diferencias significativas en ambas variables. Se ha identificado que la condición de temperatura ambiental y humedad relativa en el período previo a cosecha, es la principal razón por la cual ocurre la partidura en granado (Parvizi et al., 2014). De acuerdo a lo observado por Yuan et al. (2012), al aislar el fruto de las condiciones climáticas en maduración mediante el uso de bolsas de papel, junto con disminuir significativamente el daño por golpe de sol, también se reduce la partidura debido a que evita la degeneración de algunas propiedades de la cáscara como la capacidad de expansión (Jackman y Stanley, 1995), el porcentaje de materia seca (Yazici y Kaynak, 2009a); y, el grosor e hidratación de la cáscara (El-Rhman, 2010).

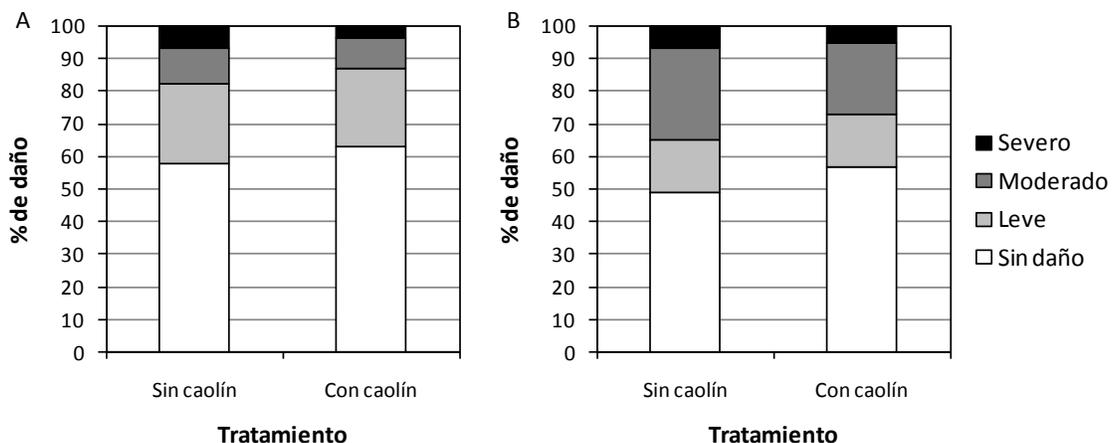


Figura 29. Porcentaje de daño por golpe de sol (A) y partidura (B) en frutos sin y con aplicación de caolinita evaluado al momento de cosecha (184 días después de cuaja).

El menor daño por golpe de sol en la fruta con aplicación de caolinita estuvo asociado a una mayor cantidad de frutos sin daño y una menor cantidad de frutos con daño moderado y severo con respecto a los no aplicados (Figura 29A). Por su parte, el menor porcentaje de fruta partida observado, fue atribuido a un mayor número de frutos sanos y una menor cantidad con daño moderado que los frutos sin aplicación (Figura 29B).

El control del daño por golpe de sol, implicó que efectivamente la cáscara fuese menos afectada por las condiciones ambientales y con ello aumentó su resistencia a la partidura (Mitra et al., 2010), lo que fue explicado por una estrecha relación reportada entre ambas variables ($r = 0,64$; $p \leq 0,05$). En este sentido, mantener la integridad de la cáscara mediante el uso de protectores solares como bolsas de papel, mallas y partículas reflectantes, disminuiría el daño por golpe de sol y, con ello, controlaría en gran medida la partidura del fruto.

Partidura del fruto

Junto con controlar el golpe de sol, la caolinita también tuvo un efecto positivo en dos componentes importantes; en la disminución de la tasa diaria de partidura (Figura 30) y en el retraso del inicio de esta (Cuadro 8).

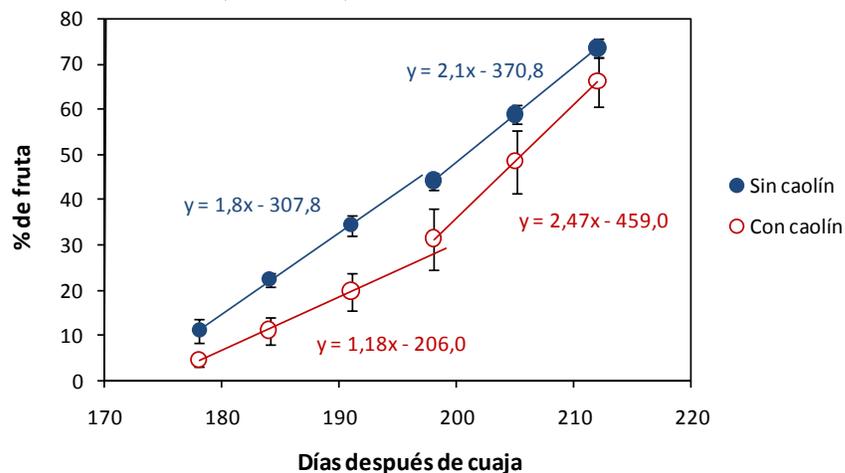


Figura 30. Variación del porcentaje de partidura diaria en dos períodos de maduración de la fruta en el ensayo de calcio y caolinita. Período 1: 178 a 197 días después de cuaja (ddc); Período 2: 197 a 212 ddc.

Posterior a la cosecha comercial en el predio, la tasa de partidura diaria de los tratamientos sin caolinita fue comparativamente mayor que los frutos con aplicación. Esta tendencia se mantuvo hasta los 200 DDC, período en el cual, el 1,8 % de los frutos sin caolinita se partieron diariamente, mientras que los frutos con aplicación se partieron a una tasa diaria del 1,18% (Apéndice VII). Esta diferencia fue significativa e independiente del nivel de calcio. Por su parte, desde los 200 hasta los 215 DDC, la tasa de partidura fue levemente superior en los tratamientos sin caolinita. Esta dinámica de partidura también ha sido

observada en granados de la variedad ‘Manfaluty’ (Shehata (1984), citado por El-Rhman, 2010), donde la partidura presentó un comportamiento de tipo exponencial. Asimismo, este resultado permite definir una fecha de cosecha óptima en términos productivos, debido a que el fruto sigue aumentando de peso luego de la cosecha comercial (Figura 5). Sin embargo, el retrasar dos semanas la cosecha, y asumiendo un total de 100 frutos por planta, implicaría una ganancia de peso diario de 3 g/fruto (300 g/planta), pero a la vez, si se considera una pérdida diaria del 1,2% asociada a la partidura, provocaría una pérdida de peso diaria de 400 g/planta. Sin embargo, si la tasa de partidura diaria fuese inferior a 0,75%, convendría dejar fruta en la planta, ya que la pérdida de peso por partidura sería inferior a la ganancia de peso por mantener la fruta en la planta.

Por otro lado, además de disminuir la tasa de partidura, el efecto de la caolinita permitió retrasar el inicio de esta (Cuadro 8). La significancia de una regresión lineal ($p \leq 0,05$) entre los días después de cuaja (ddc) y la partidura acumulada desde cosecha hasta los 30 días después de esta, permitió extrapolar el inicio de la partidura en cada tratamiento. El Cuadro 8 muestra el inicio de la partidura en frutos con y sin aplicación de caolinita, presentándose una diferencia de tiempo significativa aproximada de una semana. La caolinita permitió que esta respuesta se mantuviera en el tiempo, es decir, cuando se alcanzó un 50% de frutos partidos (207 y 200 ddc para los frutos con y sin caolinita, respectivamente), el desfase temporal también resultó significativo. Es importante mencionar que el 50% de partidura del total de frutos se alcanzó en las dos semanas posteriores a la cosecha comercial, lo cual indica que un problema severo de partidura podría controlarse con una cosecha oportuna (Franck, 2010).

Cuadro 8. Momento en el que se inicia y se alcanza el 50% de partidura (días después de cuaja). Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según prueba de comparación múltiple de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Tratamiento	Inicio de partidura (ddc)	Delta con respecto al testigo (días)	50% de partidura (ddc)	Delta con respecto al testigo (días)
Sin caolín + 0 Ca	171 ± 6	0 a	202 ± 10	0 a
Sin caolín + 1 Ca	173 ± 7	2 a	200 ± 9	-2 a
Sin caolín + 2 Ca	172 ± 8	1 a	200 ± 9	-2 a
Con caolín + 0 Ca	177 ± 5	6 b	208 ± 8	6 b
Con caolín + 1 Ca	177 ± 3	6 b	204 ± 10	2 b
Con caolín + 2 Ca	179 ± 1	8 b	209 ± 3	7 b

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la PCM de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

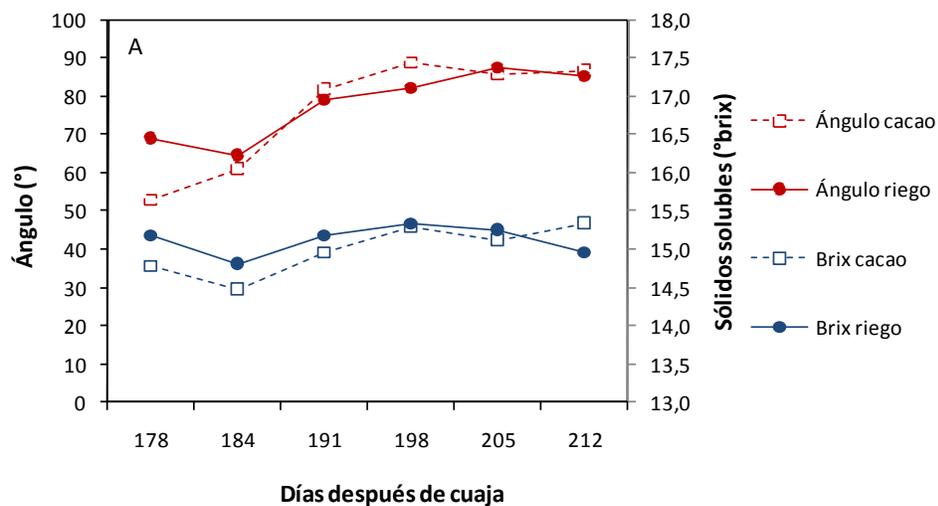
En resumen, la aplicación de caolinita, además de reducir el golpe de sol, podría implicar una barrera física que, además de proteger el fruto de las condiciones extremas de radiación, temperatura y humedad relativa (Sheikh y Manjula, 2012; Yuan et al., 2012), también mantuvo asilada a la cáscara de las condiciones climáticas previas a cosecha, consideradas determinantes sobre la partidura del fruto (Parvizi et al., 2014). Esta primicia podría haber favorecido algunas características fisicoquímicas promotoras de una mayor o

menor susceptibilidad a la partidura, tales como el grosor (Messaoudi et al., 2012), la permeabilidad y el porcentaje de materia seca de la cáscara (Yuan et al., 2012). Dichas características físicas fueron evaluadas semanalmente en la fruta que permaneció en la planta destinada a partirse. De esta manera, mediante el análisis de regresión, se generó un modelo empírico de partidura contemplando un indicador que funcione como predictor de partidura en ambos ensayos.

Modelo de partidura

Tras la cosecha comercial, semana a semana se recolectó fruta partida y no partida para evaluar las características físicas y químicas de la cáscara (humedad, permeabilidad, contenido de sólidos solubles, grosor). Esto permitió generar correlaciones entre las variables señaladas para encontrar la significancia estadística para crear un modelo ajustado capaz de establecer un parámetro o indicador del nivel de partidura en función del comportamiento fisicoquímico de la cáscara.

A una escala temporal, y en ambos ensayos, el ángulo de contacto entre una gota y la superficie del fruto tuvo una tendencia gradual al aumento (Figura 31A), mientras que los sólidos solubles oscilaron entre los 14,5 y 15,3 °brix después de cosecha. Por otro lado, el grosor se comportó de manera totalmente opuesta al ángulo (Figura 31B), presentando disminución que se correlacionó inversa y significativamente con este ($r = -0,85$; $p \leq 0,05$). Del mismo modo, la humedad de la cáscara exhibió una tendencia decreciente al cabo de cuatro semanas posteriores a cosecha, con valores de humedad que oscilaron entre un 71,6% inicial y un 66,8% final. En definitiva, la cáscara dejó de acumular agua hasta los 171 ddc (Figura 8), iniciando una disminución gradual de la humedad, como consecuencia de los altos niveles diarios de radiación y temperatura que se mantuvieron después de cosecha.



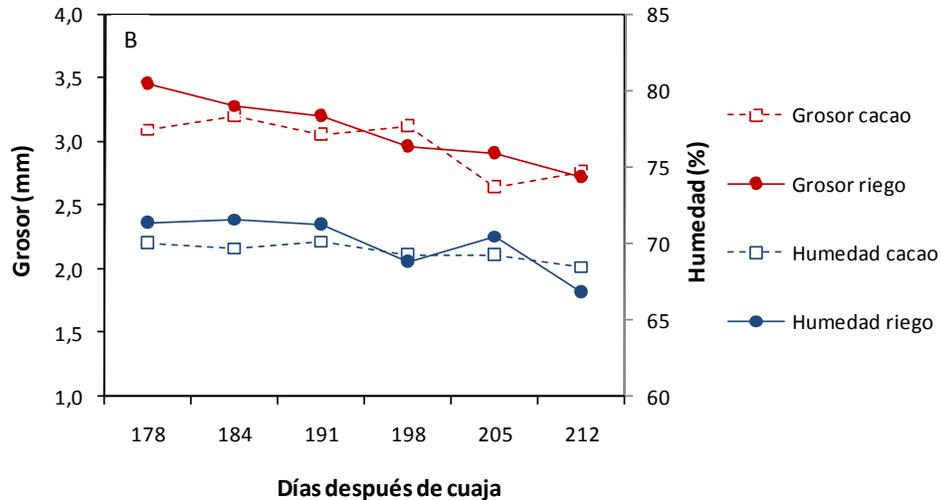


Figura 31. Evolución de los sólidos solubles y el ángulo de contacto (A); y, el grosor y humedad de la cáscara (B), desde cosecha hasta un mes postcosecha en el ensayo de riego y en el ensayo de calcio y caolinita (cacao). Cosecha: 184 ddc.

De acuerdo a esto, se puede concluir que desde cosecha, e incluso previo a esta, el grosor de la cáscara se redujo gradualmente entre un 10 a un 20% de su valor inicial, mientras que paralelamente la superficie del fruto se tornó más impermeable, afectando probablemente su capacidad de elasticidad (Jackman y Stanley 1995; Yuan et al., 2012). En este estudio además fue posible determinar que la materia seca (MS) de los arilos aumentó hasta cosecha e incluso posterior a ésta, sin embargo, este comportamiento fue en desmedro de la acumulación de materia seca en la cáscara, lo cual podría estar explicando la disminución del grosor.

En ambos ensayos se observó un efecto significativo de los tratamientos establecidos sobre el grosor y el ángulo de contacto, aunque solamente fue detectado en el período de cosecha. El grosor de la cáscara fue favorecido tanto por la aplicación de caolinita (Cuadro 9) como por la restricción en un 60% del riego del predio durante la transición entre la etapa I y II de crecimiento del fruto (Cuadro 9). Del mismo modo, estas dos condiciones produjeron un efecto positivo en el retraso y disminución de la partidura (Figuras 25 y 30). Por un lado, un mayor grosor de cáscara en frutos aplicados con caolinita, otorgó cierta resistencia ante la partidura, mientras que en el ensayo de riego el mayor ángulo de contacto y grosor observados en el T3, implicaron una superficie de carácter más hidrofóbico, es decir, una cáscara más impermeable y de menor capacidad de absorción de agua que, junto a una menor presión interna del fruto, favorecieron a disminuir la tasa e incidencia de partidura.

Cuadro 9. Efecto de la aplicación de caolinita y los tratamientos de riego sobre el grosor y el ángulo de contacto al momento de cosecha.

Ensayo	Tratamiento	Grosor (mm)	Ángulo (°)
Ca-cao	Sin caolinita	3,0 b	50,4 a
	Con caolinita	3,3 a	55,9 a
Riego	T0 - Riego Predio (RP)	3,0 b	64,2 ab
	T1 - 60% RP Etapa I	3,2 b	77,9 bc
	T2 - 60% RP Etapa II	3,3 b	61,7 a
	T3 - 60% RP Etapa I y II	4,1 a	80,5 c
	T4 - 25% RP Etapa III	3,5 b	60,2 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la PCM de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

En ambos ensayos, la humedad de la cáscara y la acumulación de sólidos solubles no se vieron afectadas estadísticamente por los distintos tratamientos. Sin embargo, cada una de las variables evaluadas en la fruta sin daño y partida se correlacionó directa e inversamente con la partidura acumulada (Figura 32). Los sólidos solubles y el peso de la fruta presentaron una relación directa frente al nivel de partidura, lo que explica el comportamiento natural, que posee el granado, de partir sus frutos alcanzado un cierto nivel de maduración. A partir de la significancia de estas relaciones, se pudo establecer un indicador de partidura que involucre estas variables y con ello definir un valor crítico en el cual se inicia la partidura.

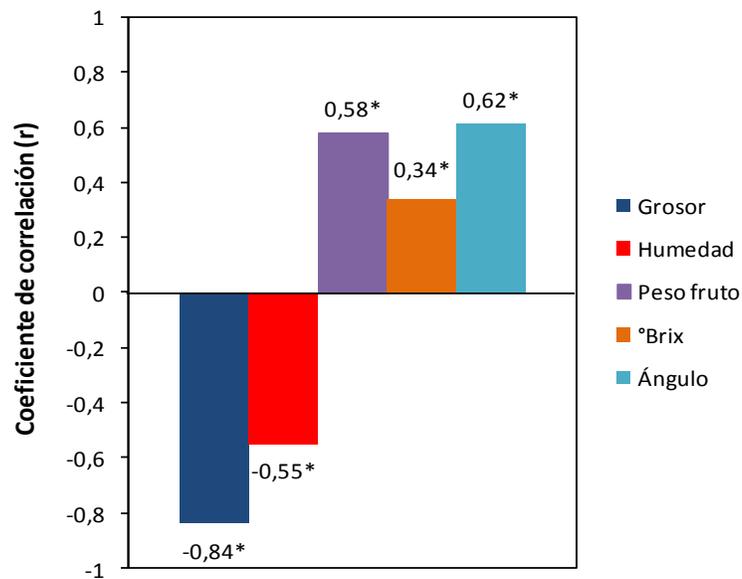


Figura 32. Coeficiente de correlación entre el porcentaje de partidura y diferentes variables biométricas del fruto y cáscara. (*) indica correlación significativa ($p \leq 0,05$).

Tanto la humedad como el grosor de la cáscara se correlacionaron inversamente con el nivel de partidura (%). Ambas correlaciones resultaron estadísticamente significativas por lo cual se comprueba que la fruta que posee una cáscara de mayor grosor y humedad es menos susceptible a la partidura. De esto se infiere que la aplicación de caolinita, al presentar una menor cantidad de frutos partidos, tuvo un efecto positivo sobre la disminución paulatina del grosor de la cáscara (Figura 9), además de conferir cierta resistencia a la deshidratación (Figura 33).

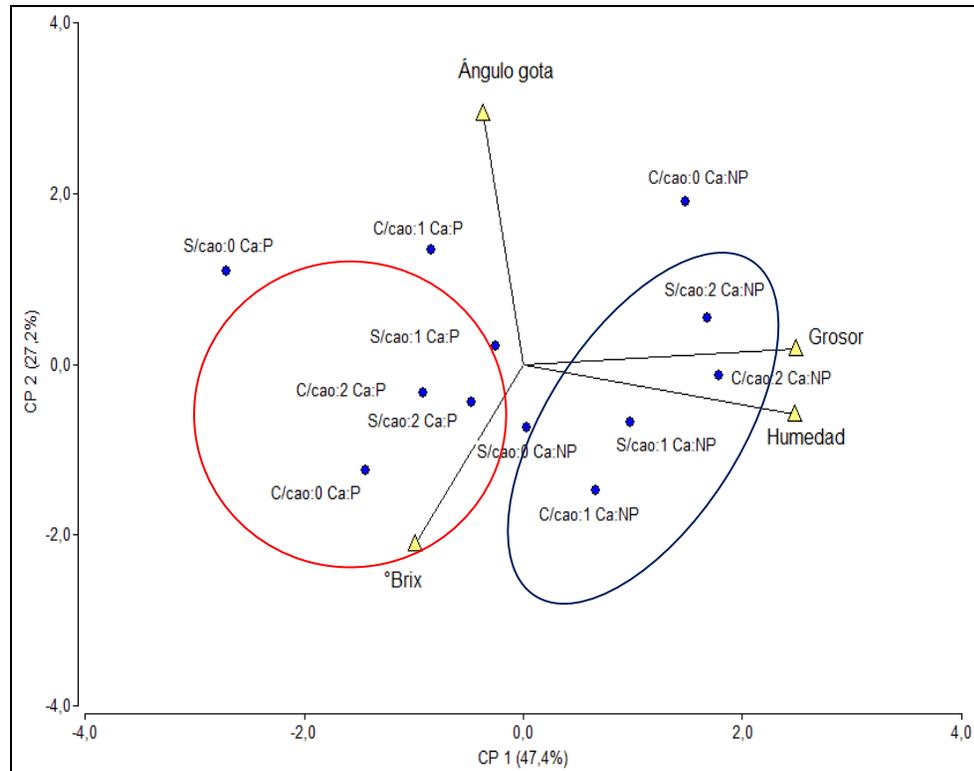


Figura 33. Análisis de componentes principales entre algunas variables biométricas y la fruta partida (P) y no partida (NP) en el ensayo de aplicación de calcio y caolinita.

La Figura 33 representa un Gráfico biplot, el cual fue realizado mediante un análisis multivariado utilizando como variables el grosor, humedad, ángulo de contacto y °brix de la fruta no partida (NP) y partida (P) en el ensayo de aplicación de calcio y caolinita. Esto grafica, según un modelo lineal, el conjunto de variables observables a través de un conjunto menor de variables “artificiales” llamadas componentes principales (CP). En este gráfico se evidenció que la fruta no partida estuvo asociada a mayores valores de grosor y humedad de cáscara, mientras que la fruta partida estuvo asociada a menores valores de ambas variables. Con la ayuda de este análisis también fue posible determinar la estrecha relación entre el grosor y la humedad de la cáscara.

En el ensayo de riego (Figura 34), al igual que lo observado en el ensayo de calcio y caolinita, la fruta no partida estuvo asociada a un mayor grosor de la cáscara, sin embargo,

la humedad dejó de ser importante en la fruta no partida, teniendo mayor relevancia el ángulo de la gota. Por otro lado, la fruta partida presentó un mayor contenido de sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix) y también un menor grosor. Una alta relación entre el grosor y el ángulo de contacto fue encontrada en este ensayo, lo que concuerda con lo reportado anteriormente en cosecha (Cuadro 9).

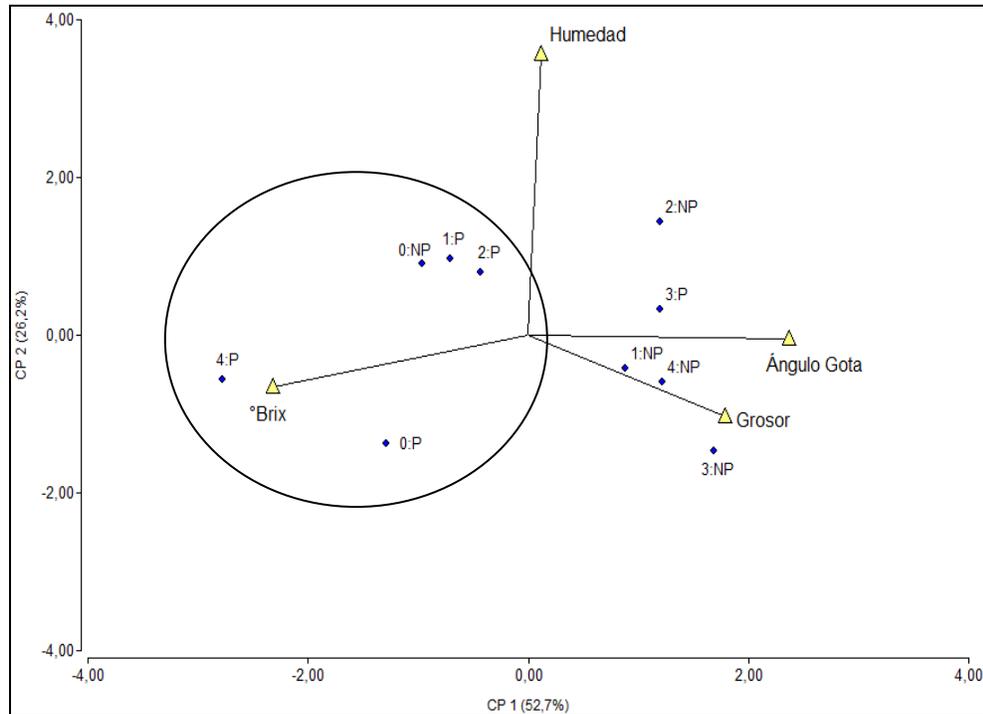


Figura 34. Análisis de componentes principales entre algunas variables biométricas y la fruta partida (P) y no partida (NP) en el ensayo de riego.

En consecuencia, la respuesta de la partidura en el ensayo de calcio y caolinita estuvo dada básicamente por la humedad de cáscara y el grosor, mientras que en el ensayo de riego la incidencia de partidura estuvo dada por el contenido de sólidos solubles y el grosor de la cáscara. Esto concuerda con lo observado por El Sayed et al. (2014), quienes determinaron que la fruta partida estuvo asociada a un menor grosor de la cáscara.

De acuerdo a lo anterior, el modelo de partidura predicha o estimada fue determinado mediante las correlaciones significativas entre las variables evaluadas y la partidura observada, con el fin de proponer un indicador biométrico capaz de definir un punto crítico de inicio de partidura (susceptibilidad a partidura). La agrupación de los datos de ambos ensayos determinó que el cociente entre los sólidos solubles y el grosor de la cáscara ($^{\circ}$ Brix/mm) reportó un fuerte ajuste y significancia (Figura 35). Similar resultado fue observado entre el peso del fruto y el grosor de la cáscara (g/mm).

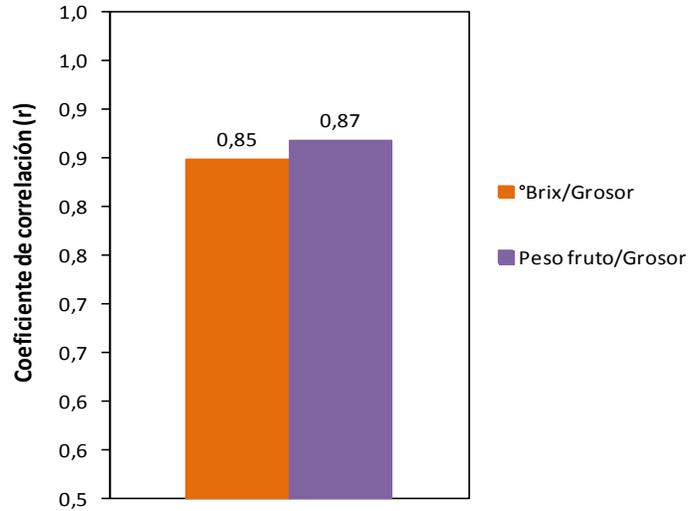


Figura 35. Coeficiente de correlación entre el porcentaje de partidura y dos indicadores resultantes del cociente entre algunas variables biométricas del fruto y cáscara.

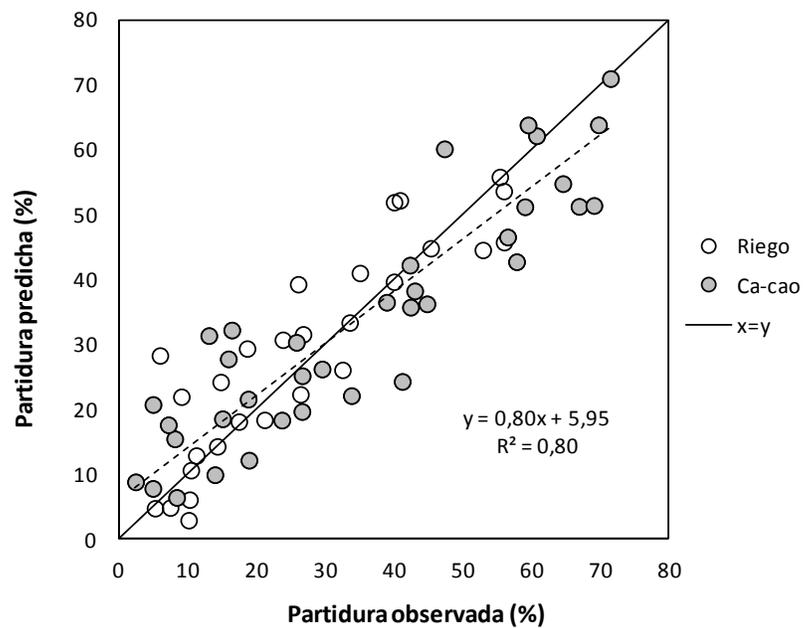


Figura 36. Relación entre la partidura predicha y la observada en el ensayo de riego y en el de aplicación de calcio y caolinita (Ca-caio). La partidura observada corresponde al porcentaje de partidura acumulada durante el mes posterior a la cosecha.

La relación °Brix/grosor junto con el peso del fruto, permitieron determinar un modelo estimador de partidura el cual presentó un ajuste estadístico significativo (Figura 36). La variación total observada fue explicada en un 80% por la regresión ($r^2 = 0,80$; $p \leq 0,05$), es

decir, que las variables evaluadas, permiten predecir fielmente la partidura desde los 180 días después de cuaja.

La representación matemática de dicho modelo quedó definida en la siguiente ecuación:

$$Partidura\ predicha = \left(24,4 \times \frac{^{\circ}Brix}{Grosor\ (mm)} \right) + (0,12 \times Peso\ del\ frutos\ (g)) - 138,8$$

De esto se deduce que a medida que el fruto va madurando y acumulando peso fresco y sólidos solubles ($^{\circ}Brix$), el riesgo de partidura aumenta. Por otro lado, un mayor valor de grosor de cáscara influye en una menor incidencia de partidura (Figura 37). En este contexto, la partidura se iniciaría alcanzándose un valor de grosor de cáscara equivalente a $3,7 \pm 1,1$ mm.

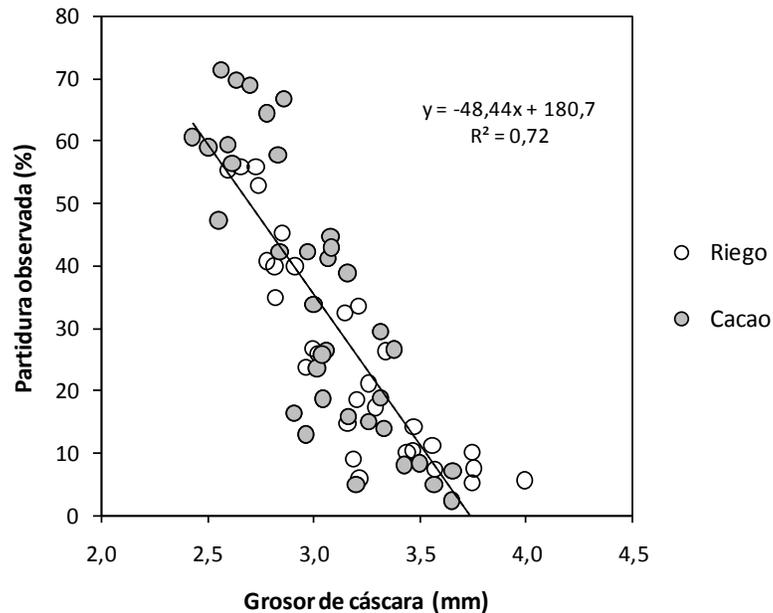


Figura 37. Relación significativa entre la partidura observada y el grosor de la cáscara en ambos ensayos.

Por su parte, la significancia estadística de las relaciones entre los sólidos solubles (SS) y el peso del fruto (PF) con respecto al grosor de la cáscara, implicó considerarlos como indicadores de riesgo de partidura debido a su fuerte asociación con la partidura acumulada (Figura 38 A y B). En este sentido, la partidura se iniciaría cuando el cociente SS/grosor alcance un valor de $3,85 \pm 0,58$ $^{\circ}Bx/mm$, mientras que el valor crítico para la relación PF/grosor es de $85,5 \pm 13,1$ g/mm.

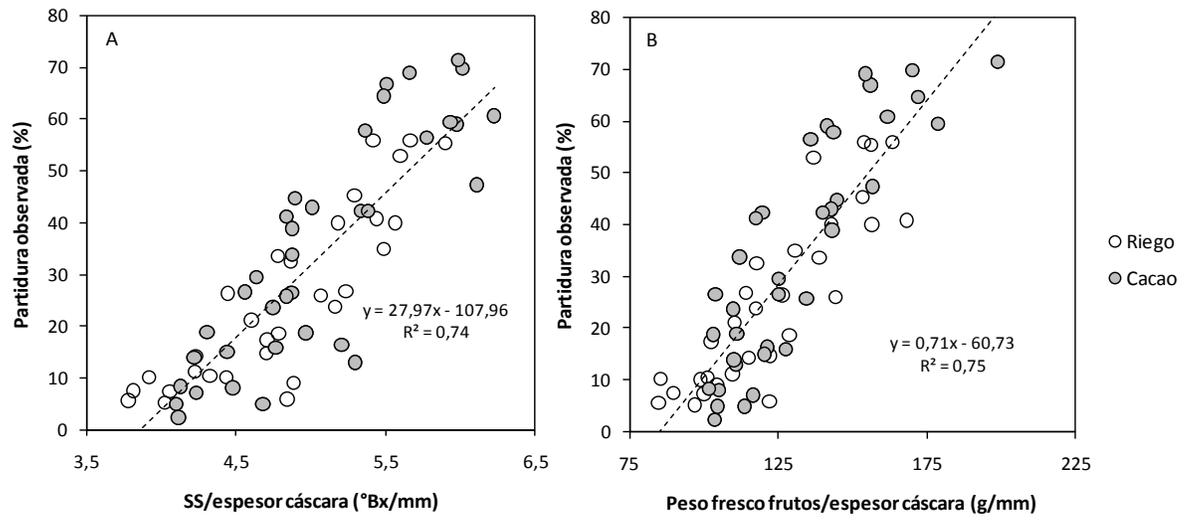


Figura 38. Relación significativa entre la partidura observada y los indicadores: Sólidos solubles/grosor cáscara (A) y Peso fruto/grosor cáscara (B).

CONCLUSIONES

El peso fresco del fruto aumenta a una tasa constante durante todo el período de crecimiento, incluso después de la fecha óptima de cosecha. Durante el crecimiento del fruto existe un aumento en el porcentaje de materia seca en los arilos y una disminución del grosor y porcentaje de materia seca de la cáscara.

El porcentaje de frutos partidos aumenta linealmente con el tiempo a partir del momento en que los frutos alcanzan un determinado nivel de madurez. Esto implica que la tasa de partidura (% frutos partidos por día) es constante.

El grosor de cáscara, la relación sólidos solubles/grosor de cáscara (SS/GC) y peso fresco/grosor de cáscara (PF/GC), se relacionan lineal y significativamente con el porcentaje de partidura por lo que pueden ser utilizados para predecir el momento en el que comienza la partidura de frutos. Bajo las condiciones del ensayo, la partidura se inicia cuando el grosor de la cáscara alcanza los $3,7 \pm 1,1$ mm e, independientemente, el cociente de las relaciones SS/GC y PF/GC alcanzan un valor de $3,85 \pm 0,58$ °Bx/mm y $85,5 \pm 13,1$ g/mm, respectivamente (95% de confianza).

Un déficit hídrico moderado durante 8 semanas en el período intermedio del crecimiento del fruto, reduce el porcentaje de partidura a cosecha debido a una menor tasa inicial de partidura. Tampoco tiene un efecto negativo sobre el potencial hídrico, la fotosíntesis neta y los componentes del rendimiento. Un déficit hídrico severo durante el mes previo a la cosecha, no afecta el peso promedio del fruto, aumentando así la eficiencia en el uso del agua (kg m^{-3}) de la variedad “Wonderful”.

La aspersión de calcio a la copa en frutos de 7 cm, con o sin repetición a los 15 días, no tiene un efecto significativo sobre la disminución de la partidura ni sobre los componentes del rendimiento. Por su parte, la aplicación de caolinita, independientemente del nivel de calcio, disminuye el porcentaje de partidura a cosecha debido a que retrasa el inicio de ésta. La aplicación de caolinita no disminuye la temperatura de los frutos, pero sí tiene un efecto significativo sobre el daño por golpe de sol, reduciendo el porcentaje de frutos dañados. Adicionalmente, existe una estrecha relación entre el daño por golpe de sol y la partidura del fruto, que puede asociarse a la protección de la cáscara otorgada por la caolinita frente a la elevada radiación solar.

Debido a que el crecimiento del fruto del granado no se detiene hasta que los frutos se parten, el contar con indicadores que permiten predecir el momento del inicio de la partidura y manejos para retrasar dicho momento (caolinita) o disminuir su tasa inicial (déficit hídrico moderado) permiten retrasar el momento de cosecha respecto de las fechas actualmente utilizadas comercialmente, y aumentar así, el peso promedio de los frutos a cosecha.

LITERATURA CITADA

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and M. Smith. 2006. Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio para Riego y Drenaje 56, FAO, Roma, Italia. 298p.

Badal, E., I. Buesa, D. Guerra, H. Puerto, L. Bonet, F. Perán, E. Nicolas, J. Bartual and D. Intrigliolo. 2012. Usefulness of maximum diurnal trunk shrinkage as a continuous water stress indicators of pomegranate (*Punica granatum*) trees. Options Méditerranéennes. 103: 121-128

Buesa, I., E. Badal, D. Guerra, J. García, A. Lozoya, J. Bartual, D. Intrigliolo and L. Bonet. 2012. Development of an irrigation scheduling recommendation for pomegranate trees (*Punica granatum*). Options Méditerranéennes 103:141-145.

Castillo, M., F. Alfaro, C. Kremer y N. Franck. 2009. Efecto de diferentes niveles de restricción hídrica sobre el desarrollo y producción del granado (*Punica granatum* L.) cv. Wonderful. In: 60° Congreso Agronómico de Chile. Talca, Chile. 27-31 de octubre, 2009.

Del Amor, F. and L. Marcelis. 2006 Differential effect of transpiration and Ca supply on growth and Ca concentration of tomato plants. Scientia Horticulturae 111(1): 17-23.

Díaz, I. 2012. Evaluación de tres métodos para el control del golpe de sol en frutos de granado (*Punica granatum* L.). Fac. Cs. Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 44p.

El-Khawaga, A. 2007. Reduction in fruit cracking in manfaluty pomegranate following a foliar application with paclobutrazol and zinc sulphate. Journal of Applied Sciences Research 3(9): 837-840.

El-Rhman, A. 2010. Physiological studies on cracking phenomena of pomegranates. Journal of Applied Sciences Research 6(6): 696-703.

El Sayed, O.M., O.H. El Gammal and A.S. Salama. 2014. Effect of proline and tryptophan aminoacids on yield and fruit quality of Manfalouty pomegranate variety. Scientia Horticulturae 169: 1-5.

Franck, N. 2009. Seminario “Granados, perspectivas y oportunidades de un negocio emergente”: Producción y manejo de plantaciones de granado. Fundación Chile. Santiago, Chile. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/44529052/Estudio-de-Granada>. Leído el 10 de julio de 2012.

Franck, N. 2010. ABC del Cultivo del Granado. Aconex 105 (enero – marzo): 12-19.

- Franck, N., F. Alfaro, M. Castillo, C. Kremer, I. Opazo and P. Mundaca. 2012. Effects of different periods and levels of water deficit on physiological, productive and quality parameters of pomegranate cv. Wonderful fruits. *Options Méditerranéennes* 103:137-140.
- Galindo, A., P. Rodríguez, J. Collado-González, Z. Cruz, E. Torrecillas, S. Ondoño, M. Corell, A. Moriana and A. Torrecillas. 2014. Rainfall intensifies fruit peel cracking in water stressed pomegranate trees. *Agricultural and Forest Meteorology* 194: 29–35.
- García, K. 2011. Estimación de la acumulación de biomasa y extracción estacional de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en plantas de granado (*Punica granatum* L.). Fac. Cs. Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 95p.
- Gindaba, J. and S. Wand. 2005. Comparative effects of evaporative cooling, kaolin particle film and shade net on sunburn and fruit quality in apples. *HortScience* 40(3): 592-596.
- Glenn, D., E. Prado, A. Erez, J. Mcferson and G. Puterka. 2002. A reflective, processed-kaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection, and solar injury in apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127(2): 188-193.
- Goulao, L. and C. Oliveira. 2008. Cell wall modifications during fruit ripening: when a fruit is not the fruit. *Trends in Food Science and Technology* 19: 4-25
- Holland, D., Hatib, K. and I. Bar-Ya'akov. 2009. Pomegranate: Botany, Horticulture, Breeding. *Horticultural Reviews* 35: 127-191.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*. 24: 519-570.
- Huang, X.M., H.C. Wang, W.L. Zhong, W.Q. Yuan, J.M. Lu and J.G. Li. 2008. Spraying calcium is not an effective way to increase structural calcium in litchi pericarp. *Scientia Horticulturae* 117: 39-44.
- Intrigliolo, D. S. and J. Castel. 2004. Feasibility of using LVDT and water mark sensor for irrigation scheduling in plums. *Acta Horticulturae* 664: 317-323.
- Intrigliolo, D., E. Nicolas, L. Bonet, P. Ferrer, J. Alarcón and J. Bartual. 2011. Water relations of field grown Pomegranate trees (*Punica granatum* L.) under different drip irrigation regimes. *Agricultural Water Management* 98: 691–696.
- Intrigliolo, D., L. Bonet, P. Nortes, H. Puerto, E. Nicolas and J. Bartual. 2013. Pomegranate trees performance under sustained and regulated deficit irrigation. *Irrigation Science* 31: 959–970
- Jackman, R.L. and D.W. Stanley. 1995. Perspectives in the textural evaluation of plant foods. *Trends in Food Science and Technology* 6: 187–194.

- Jones, H. 2004. Irrigation Scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany* 55: 2427-2436.
- Jones, H. 2007. Monitoring plant and soil water status: established and novel methods revisited and their relevance to studies of drought tolerance. *Journal of Experimental Botany* 58: 119-130.
- Jones, H.G. and R.A. Sutherland. 1991. Stomatal control of xylem embolism. *Plant, Cell and Environment*. 11: 111–121.
- Katul, G., S. Palmroth and R. Oren. 2009. Leaf stomatal responses to vapour pressure deficit under current and CO₂-enriched atmosphere explained by the economics of gas exchange. *Plant, Cell and Environment* 32: 968–979.
- Khattab M., A. Shaban, A. El-Shrief and A. El-Deen Mohamed. 2011. Growth and productivity of pomegranate trees under different irrigation levels. III: leaf pigments, proline and mineral content. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants* 3(3): 265-269.
- Legua, P., P. Melgarejo, H. Abdelmajid, J. Martínez, R. Martínez, H. Ilham, H. Hafida and F. Hernández. 2012. Total phenols and antioxidant capacity in 10 moroccan pomegranate varieties. *Journal of Food Science* 71(1): 115-120.
- Manera, F., P. Legua, P. Melgarejo, R. Martínez, J.J. Martínez and F. Hernández. 2012. Effect of air temperature on rind colour development in pomegranates. *Scientia Horticulturae* 134: 245–247
- Matthews, M. and K. Shackel. 2005. Growth and water transport in fleshy fruit. *In*: Holbrook, N. and M. Zwieniecki (eds.). *Vascular transport in plants*. Elsevier co-Imprint Academic Press. Oxford, U.K. pp 181-197.
- Melgarejo, P. y D. Salazar. 2003. Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Volumen II: el granado, el algarrobo y el jjonero. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 430 p.
- Melgarejo, P., J. Martínez, F. Hernández, R. Martínez-Font, P. Barrows and A. Erez. 2004. Kaolin treatment to reduce pomegranate sunburn. *Scientia Horticulturae* 100: 349–353.
- Messaoudi, Z., Z. Il-Idrissi et F. Khatib. 2012. Effets de quelques pulvérisations foliaires sur l'éclatement des grenades sous les conditions du Tadla (Maroc). *Options Méditerranéennes* 103:155-158.
- Milad, R.E. and K.A. Shackel. 1992. Water relations of fruit end cracking in French Prune (*Prunus domestica* L. cv. French). *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117: 824–828.

Mir, M., I. Umar, S. Mir, M. Rehman, G. Rather and S. Banday. 2012. Quality Evaluation of Pomegranate Crop – A review. *International Journal of Agriculture and Biology* 14: 658–667.

Mirdehghan, S. and M. Rahemi. 2007. Seasonal changes of mineral nutrients and phenolics in pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit. *Scientia Horticulturae* 111: 120–127.

Mitra, S.K., P.K. Pathak, S. Debnath, A. Sarkar and D. Mondal. 2010. Elucidation of the factors responsible for cracking and sunburn in litchi and integrated management to minimize the disorders. *Acta Horticulturae* 863: 225-234.

Novoa, R. y S. Villaseca. 1989. Mapa agroclimático de Chile. INIA. Santiago, Chile. 221p.

Odepa. 2011. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Estadísticas: Superficie de frutales. Disponible en: <http://www.odepa.gob.cl/util/Web.action;jsessionid=7ECBBAF23462C1924FB766BCFE1C3504>. Leído el 10 de julio de 2012.

Opazo, I. 2012. Evaluación de diferentes estrategias de riego deficitario en granado (*Punica granatum* L. var, Wonderful), que permitan aumentar la productividad del agua y reducir la incidencia de partidura de frutos. Fac. Cs. Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 103p.

Ozgen, M., C. Durgaç, S. Serçe and C. Kaya. 2008. Chemical and antioxidant properties of pomegranate cultivars grown in Mediterranean region of Turkey. *Food Chemistry* 111: 703-706.

Parvizi, H., A.R. Sepaskhaha and S.H. Ahmadi. 2014. Effect of drip irrigation and fertilizer regimes on fruit yields and water productivity of a pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Rabab) orchard. *Agricultural Water Management* 146: 45–56

Prat, L. y C. Botti. 2002. El granado (*Punica granatum* L.). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile. 64p.

Quéré, D. 2002. Surface chemistry: Fakir droplets. *Nature Materials* 1: 14-15.

Quiroz, I. 2009. Seminario “Granados, perspectivas y oportunidades de un negocio emergente”: Antecedentes de mercado. Fundación Chile. Santiago, Chile. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/44529052/Estudio-de-Granada>. Leído el 10 de julio de 2012.

Ramezani, A., M. Rahemi and M. Vazifehshenas. 2009. Effects of foliar application of calcium chloride and urea on quantitative and qualitative characteristics of pomegranate fruits. *Scientia Horticulturae* 121:171-175.

Scholander, P., E. Bradstreet, E. Hemmingsen and H. Hammel. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148: 339-346.

Sellés, G. y R. Ferreyra. 2005. Criterios para controlar el riego en uva de mesa. INIA. Disponible en: <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33607.pdf>. Leído el 10 de julio de 2012.

Sharfrin, E. 1960. Constitutive relations in the wetting of low energy surfaces and the theory of the retraction method of preparing monolayers. *The Journal of Physical Chemistry* 64 (5): 519–524.

Sharma, N. and C. Belsare. 2011. Effect of plant bio-regulators and nutrients on fruit cracking and quality in pomegranate (*Punica granatum* L.) 'G-137' in Himachal Pradesh. *Acta Horticulturae* 890: 347-352.

Sheikh, M.K. and N. Manjula. 2012. Effect of chemicals on control of fruit cracking in pomegranate (*Punica granatum* L.) var. Ganesh. *Options Méditerranéennes* 103:132-135.

Shwartz, E., I. Glazer, I. Bar-Ya'akov, I. Matityahu, I. Bar-Ilan, D. Holland and R. Amir. 2009. Changes in chemical constituents during the maturation and ripening of two commercially important pomegranate accessions. *Food Chemistry* 115. 965–973.

Simon, G. 2006. Review on rain induced fruit cracking of sweet cherries (*Prunus avium* L.). It's causes and the possibilities of prevention. *International Journal of Horticultural Science*. 12(3): 27-35.

Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. *Plant Physiology*. 3th ed. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Massachusetts. 592p.

Turner, N. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant Soil* 58: 339–366

Verner, L. 1935. A physiological study of cracking in 'Stayman Winesap' apples. *Journal of Agricultural Research* 51: 191–222.

Weerakkody, P., J. Jobling, M. Infante and G. Rogers. 2010. The effect of maturity sunburn and the application of sunscreens on the internal and external qualities of pomegranate fruit grown in Australia. *Scientia Horticulturae* 124(1): 57-61.

Wünsche, J., J. Bowen, I. Ferguson and A. Woolf. 2004. Sunburn on apples-causes and control mechanisms. *Acta Horticulturae* 636: 631-636.

Yazici, K. and L. Kaynak. 2009a. Effects of kaolin and shading treatments on sunburn on fruit of Hicaznar cultivar of pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Hicaznar). *Acta Horticulturae* 818: 169-173.

Yazici, K. and L. Kaynak. 2009b. Effects of air temperature, relative humidity and solar radiation on fruit surface temperatures and sunburn damage in pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Hicaznar). *Acta Horticulturae* 818: 181-186.

Yildiz, H., E. Obuz and G. Bayraktaroglu. 2009. Pomegranate: Its antioxidant activity and its effect on health. I International Symposium on Pomegranate and Minor Mediterranean Fruits. Acta Horticulturae 818: 265-270.

Yilmaz, C. and A. Özgüven. 2006. Hormone physiology of preharvest fruit cracking in pomegranate (*Punica granatum* L.). Acta Horticulturae 727: 545-550.

Yilmaz, C. and A. Özgüven. 2009. The effects of some plant nutrients, gibberellic acid and pinolene treatments on the yield, fruit quality and cracking in pomegranate. Acta Horticulturae 818: 205-212.

Yuan, Z.H., Y.L. Yin, L.J. Feng, X.Q. Zhao, L.F. Hou and Y.X. Zhang. 2012. Evaluation of pomegranate bagging and fruit cracking in Shandong, China. Acta Horticulturae 940: 125-130.

APÉNDICE

Apéndice I

Temperatura foliar en distintas horas del día en la cara este (E) y oeste (O) del árbol

Ddc	Tto	Hora									
		9:40 am		11:40 am		1:40 pm		3:40 pm		5:40 pm	
		E	O	E	O	E	O	E	O	E	O
102	0	-	-	-	-	23,3	26,5	24,3	24,1	21,8	25,0
	1	-	-	-	-	25,6	27,8	25,3	25,1	22,5	24,2
	2	-	-	-	-	24,7	28,4	25,7	24,7	22,5	23,5
	3	-	-	-	-	25,0	26,8	25,2	24,5	22,1	23,1
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
122	0	15,5	13,3	20,4	20,6	26,4	24,2	24,5	25,6	26,7	27,0
	1	16,1	14,1	21,1	20,3	25,0	22,8	25,2	24,7	26,9	26,0
	2	16,9	15,5	18,0	20,1	25,9	22,7	25,2	25,3	26,8	25,7
	3	15,8	14,2	20,8	19,1	26,7	23,0	25,9	25,6	28,9	27,1
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
136	0	19,4 ab	16,1	22,3	21,5	25,5	24,9	27,1	27,7	26,8	26,6
	1	19,7 ab	17,0	23,7	21,4	25,9	23,4	27,4	26,3	26,6	27,1
	2	16,5 c	17,1	23,1	21,6	24,8	23,5	27,3	26,9	25,3	26,9
	3	18,3 bc	17,6	21,8	20,7	26,2	24,3	28,0	27,6	26,9	27,8
	4	20,8 a	16,2	24,1	22,3	26,9	26,1	27,5	27,1	26,9	27,1
155	0	14,8	13,5	23,2	20,4	28,5	24,4	28,0	28,0	27,3	28,5
	1	12,6	13,4	21,5	22,0	27,8	23,3	27,0	25,1	27,2	25,4
	2	13,3	14,6	22,8	18,9	27,4	25,7	27,6	27,0	26,5	24,6
	3	15,1	14,1	23,1	18,8	28,6	23,9	26,9	27,2	28,1	26,2
	4	15,6	13,0	23,2	21,6	28,5	24,7	28,2	26,3	27,6	27,1
172	0	21,7	19,6	24,3	23,5	24,8	23,9	26,2	23,6	25,8	24,4
	1	21,1	20,5	24,8	21,8	26,0	22,1	26,9	24,0	26,1	24,3
	2	21,7	19,3	24,3	21,6	25,0	21,9	27,4	24,0	26,8	23,7
	3	22,5	19,8	25,1	22,3	25,9	22,3	27,1	23,7	26,8	23,7
	4	21,4	19,3	26,3	22,8	25,7	23,4	27,2	24,6	26,0	24,5

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de comparación múltiple de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Apéndice II

Temperatura del fruto en distintas horas del día en la cara este (E) y oeste (O) del árbol.

Ddc	Tto	Hora									
		9:40 am		11:40 am		1:40 pm		3:40 Ppm		5:40 pm	
		E	O	E	O	E	O	E	O	E	O
102	0	-	-	-	-	29,8	29,5	27,3	30,8	23,2 ab	29,3
	1	-	-	-	-	28,6	30,3	28,2	29,3	22,7 c	27,6
	2	-	-	-	-	29,4	28,6	30,4	31,1	22,7 bc	28,7
	3	-	-	-	-	27,4	28,8	28,8	28,5	23,6 a	28,7
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
122	0	16,8	12,5	25,2	19,1	28,8	25,5 a	26,1	27,1	27,5	27,8
	1	15,9	13,6	24,2	19,5	28,2	23,1 b	26,8	25,9	27,5	29,4
	2	16,0	13,4	24,2	19,2	27,7	23,5 ab	24,8	27,1	27,4	28,5
	3	15,8	13,1	24,1	19,3	28,3	23,5 ab	26,4	27,5	27,6	29,8
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
136	0	22,5	13,7	28,5	21,6	27,4	25,8	29,7	28,9	28,3	30,5
	1	22,3	14,9	28,5	22,6	29,2	24,7	29,5	29,8	28,5	30,6
	2	19,1	14,5	27,0	21,5	27,1	24,2	29,1	29,4	28,3	29,5
	3	19,0	15,1	24,5	21,8	26,9	25,0	29,2	30,2	28,0	31,4
	4	19,5	13,9	29,0	21,9	27,8	24,4	29,4	29,2	28,0	29,2
155	0	16,6	12,5	26,3	17,7	29,2	24,4	29,2	28,9	28,8	30,5
	1	20,3	13,3	28,6	17,7	30,4	23,8	29,1	29,9	29,4	31,6
	2	17,2	12,2	29,0	17,3	29,8	24,0	28,3	29,2	28,3	31,2
	3	18,9	12,4	26,4	19,1	28,8	24,9	27,3	30,3	28,1	27,9
	4	20,5	12,5	29,0	18,4	31,0	24,8	29,7	29,7	28,9	30,5
172	0	22,6	17,8	27,9	22,4	28,9	23,0	29,5	25,0	27,4	26,2
	1	21,3	18,3	30,8	21,6	28,3	22,5	28,5	27,2	27,0	28,8
	2	23,2	18,5	32,8	21,6	31,4	22,5	28,1	26,9	27,3	27,5
	3	25,7	17,7	31,0	21,7	27,2	22,2	28,0	26,5	27,5	26,6
	4	20,9	18,0	31,6	22,4	27,3	23,1	29,1	27,0	27,5	29,0

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de comparación múltiple de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Apéndice III

Efecto de los tratamientos de riego sobre la tasa de partidura en dos períodos de postcosecha.

Tratamiento	Tasa de partidura (% día ⁻¹)	
	178 a 198 ddc	198 a 212 ddc
T0 - Riego Predio (RP)	1,1 b	2,2 a
T1 - 60% RP Etapa I	1,2 b	1,5 a
T2 - 60% RP Etapa II	1,0 ab	2,0 a
T3 - 60% RP Etapa I y II	0,4 a	1,8 a
T4 - 25% RP Etapa III	1,0 b	2,0 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de comparación múltiple de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Apéndice IV

Efecto de los tratamientos de riego sobre la fracción de fruta partida acumulada. Cosecha: 184 ddc.

Tratamiento	Días después de cuaja					
	178	184	191	198	205	212
0	0,06 a	0,11 ab	0,20 b	0,27 ab	0,40 a	0,57 a
1	0,08 a	0,14 b	0,24 b	0,34 b	0,45 a	0,55 a
2	0,07 a	0,10 ab	0,19 ab	0,28 ab	0,40 a	0,56 a
3	0,05 a	0,06 a	0,09 a	0,16 a	0,26 a	0,41 a
4	0,04 a	0,08 a	0,17 ab	0,24 ab	0,33 a	0,53 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de comparación múltiple de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Apéndice V

Análisis de correlación entre la temperatura ambiental y la temperatura de la cáscara en frutos sin y con aplicación de caolinita.

Análisis de varianza para los frutos sin aplicación de caolinita

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	429,35225	429,35225	424,54	7,1794E-12
Residuos	14	14,158583	1,01132735		
Total	15	443,510833			

Sin cao	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-5,61405109	1,44594303	-3,88262259	0,0016575	-8,71529045	-2,51281173
T aire	1,09987071	0,05338025	20,6044485	7,1794E-12	0,98538145	1,21435997

Análisis de varianza para los frutos con aplicación de caolinita

	Grados De libertad	Suma De cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	319,973789	319,973789	310,16	6,1237E-10
Residuos	12	12,379655	1,03163791		
Total	13	332,353444			

Con cao	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-0,3228854	1,27958287	-0,25233645	0,80505125	-3,11085696	2,46508616
T aire	0,86872939	0,04932771	17,6113868	6,1237E-10	0,76125355	0,97620524

Apéndice VI

Efecto de la aplicación de calcio sobre su concentración en la cáscara de los frutos

Tratamiento	Caolinita	Calcio	Concentración
			(mg Ca/ g de cáscara)
T0	Sin	0	0,29 a
T1	Sin	1	0,25 a
T2	Sin	2	0,25 a
T3	Con	0	0,22 a
T4	Con	1	0,28 a
T5	Con	2	0,25 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de comparación múltiple de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Apéndice VII

Efecto de la aplicación de caolinita sobre la tasa de partidura en dos períodos de postcosecha.

Tratamiento	Caolinita	Calcio	Tasa de partidura	
			(% día ⁻¹)	
			178 a 198 ddc	198 a 212 ddc
T0	Sin	0	1,507 b	2,041 a
T1	Sin	1	2,192 b	2,124 a
T2	Sin	2	1,648 b	2,134 a
T3	Con	0	1,337 a	2,505 a
T4	Con	1	1,326 a	2,358 a
T5	Con	2	0,987 a	2,550 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de comparación múltiple de LSD Fisher ($p \leq 0,05$).