

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO DE ECOSISTEMAS AGROFORESTALES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN SANIDAD Y PRODUCCIÓN
VEGETAL



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Riego deficitario controlado precosecha para inducir precocidad en níspero japonés [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.]

TRABAJO FIN DE MÁSTER EN SANIDAD Y PRODUCCIÓN VEGETAL

ALUMNA: MARIA TASA I CANDELA

TUTOR: BERNARDO PASCUAL ESPAÑA

COTUTOR: JUAN GABRIEL PÉREZ PÉREZ

Curso Académico 2018/2019

València, 13 de septiembre de 2019

Título: Riego deficitario controlado precosecha para inducir precocidad en níspero japonés [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.].

Resumen:

En el níspero japonés, los cultivares más precoces son especialmente rentables al alcanzar un mayor valor en el mercado. El color externo del fruto se ha establecido como el principal factor determinante de la época de recolección, por lo que proporcionar a los productores herramientas para obtener una maduración temprana de la fruta es un aspecto de interés agronómico.

En este trabajo se estudia el efecto del déficit hídrico durante la fase II de crecimiento del fruto en el adelanto de la precocidad de la cosecha.

Para ello se aplicó una estrategia de riego deficitario controlado (RDC) durante la fase II del crecimiento del fruto en la que se suprimió por completo el agua de riego aplicada, que se restituyó al inicio de la fase III de desarrollo del fruto. Se estudió el efecto sobre el estado hídrico de la planta (potencial hídrico de tallo y fruto y el intercambio gaseoso), el diámetro del fruto, el color del fruto, y en el momento de la recolección, también se determinó la calidad externa e interna del fruto y la clasificación en calibres comercial.

Los resultados indicaron que la estrategia de RDC provocó un estrés hídrico moderado en la planta que aceleró los procesos de maduración relacionados con el cambio de color del fruto y, con ello, se consiguió aumentar la precocidad del cultivo y su rentabilidad. El estrés hídrico aplicado, además no afectó al rendimiento de la cosecha y mejoró la calidad interna del fruto. Por lo que la aplicación del RDC precosecha aumentó la sostenibilidad económica y medioambiental del cultivo.

Palabras clave: déficit hídrico; *Eriobotrya japonica*; maduración; producción; RDC; relaciones hídricas.

Títol: Reg deficitari controlat precollita per induir precocitat en nispro japonés [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.].

Resum:

En el nispro, les varietats més precoces són especialment rendibles a l'aconseguir un major valor al mercat. El color extern del fruit s'ha establert com el principal factor determinant de l'època de recol·lecció, per la qual cosa proporcionar als productors eines per obtenir una maduració primerenca de la fruita és un aspecte d'interès agronòmic.

En aquest treball s'estudia l'efecte del dèficit hídric durant la fase II de creixement del fruit en l'avançament de la precocitat de la collita.

Per tant, es va aplicar una estratègia de reg deficitari controlat (RDC) durant la fase II del creixement del fruit, es va suprimir per complet l'aigua de reg aplicada, sent restituida a l'inici de la fase III de desenvolupament del fruit. L'efecte sobre l'estat hídric de la planta (potencial hídric de tija i fruit i l'intercanvi gasós), el diàmetre del fruit, el color del fruit, i en el moment de la recol·lecció van ser estudiats, també es va determinar la qualitat externa i interna del fruit, així com la classificació en calibres comercials.

Els resultats van indicar que l'estratègia de RDC va provocar un estrès hídric moderat a la planta que va accelerar els processos de maduració relacionats amb el canvi de color del fruit i, amb això, es va aconseguir augmentar la precocitat del cultiu. L'estrès hídric aplicat, a més, no va afectar el rendiment de la collita i va millorar la qualitat interna del fruit. Per tant, l'aplicació d'un RDC precollita augmenta la sostenibilitat econòmica i medioambiental del cultiu.

Paraules clau: déficit hídric; *Eriobotrya japonica*; RDC, maduració, producció, relacions hídriques,

Title: Pre-harvest regulated deficit irrigation to induce fruit earliness in loquat [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.].

Abstract:

In loquat, the most precocious cultivars are especially profitable due to they reach higher value in the market. The external color of the fruit has been established as the main determinant of the harvest time, so providing producers tools to obtain early fruit ripening is an aspect of agronomic interest.

This paper studies the effect of deficit irrigation (RDI) during phase II of fruit growth in the advancement of the fruit earliness.

For this, a Regulated deficit irrigation (RDI) was applied during phase II of fruit growth in which the applied irrigation water was completely suppressed, which was restored at the beginning of phase III of fruit development. Plant water status was monitored by midday stem water potential, fruit water potential, stomatal conductance and net photosynthesis measurements. The diameter of the fruit, the color of the fruit, and at the time of harvesting, the internal and external quality of the fruit was also studied, as well as the classification in commercial sizes.

The results indicated that the RDC strategy caused a moderate water stress in the plant that accelerated the ripening processes related to the change of fruit color and, with this, it was possible to increase the precocity of the crop and its profitability. The applied water stress did not affect the yield of the crop and improved the internal quality of the fruit. Therefore, the application of pre-harvest DRC increased the economic and environmental sustainability of the crop.

.

Key words: *Eriobotrya japonica*; deficit irrigation; production; RDI; ripening; water relation.

AGRADECIMIENTOS

La consecución del presente Trabajo de Fin de Máster ha sido posible gracias a la ayuda, de un número amplio de personas, por lo que agradezco a todo el equipo humano que ha trabajado en la realización del mismo:

Agradezco a Juan Gabriel Pérez Pérez por sus conocimientos, correcciones, dedicación y ayuda.

A Amparo Martínez Gimeno y Eduardo Badal Marín, por vuestra preocupación, ayuda respaldo y correcciones. Al resto del equipo del Servicio de riegos del IVIA.

A Esteve Soler López por darme la oportunidad de realizar este trabajo, por su preocupación dedicación y confianza. A la Cooperativa Agrícola de Callosa d'en Sarrià.

Agradezco a Bernardo Pascual España su ayuda prestada y sus correcciones.

Gracias a todos.

ÍNDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | Introducción | 1 |
| 1.1. | El cultivo del níspero japonés..... | 1 |
| 1.1.1 | Descripción botánica | 2 |
| 1.1.2 | Ciclo fenológico | 2 |
| 1.2. | La maduración del fruto | 3 |
| 1.2.1 | Factores ambientales | 4 |
| 1.2.2 | Factores hormonales..... | 4 |
| 1.3 | Influencia del riego sobre los procesos de maduración del fruto..... | 5 |
| 2. | Hipótesis y objetivos | 7 |
| 3. | Material y métodos | 8 |
| 3.1 | Parcela experimental | 8 |
| 3.2 | Diseño experimental y tratamientos..... | 9 |
| 3.3 | Determinaciones | 9 |
| 3.3.1 | Parámetros climáticos..... | 9 |
| 3.3.2 | Estado hídrico del cultivo | 9 |
| 3.3.3 | Parámetros de intercambio gaseoso | 10 |
| 3.3.4 | Crecimiento del fruto | 10 |
| 3.3.5 | Evolución del color externo del fruto..... | 10 |
| 3.3.6 | Control de la recolección..... | 11 |
| 3.3.7 | Parámetros de calidad interna del fruto | 12 |
| 3.4 | Análisis estadístico | 12 |
| 4. | Resultados | 13 |
| 4.1 | Datos meteorológicos y agua aplicada..... | 13 |
| 4.2 | Evaluación del estado hídrico..... | 14 |
| 4.3 | Intercambio de gases | 16 |
| 4.4 | Evolución del diámetro del fruto | 17 |
| 4.5 | Evolución del color | 19 |
| 4.6 | Control de la recolección..... | 20 |
| 4.7 | Calidad del fruto | 22 |
| 5. | Discusión | 24 |
| 6. | Conclusión | 27 |
| 7. | Bibliografía | 28 |

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución temporal de la evapotranspiración potencial (ET_0 , mm), precipitación (mm), temperatura media ($^{\circ}C$) y dosis de riego (mm) aplicada en los tratamientos de riego Control y déficit hídrico (RDC). Las líneas de puntos verticales indican inicio (DDA 38) y fin (DDA 88) del periodo de déficit hídrico. DDA: día del año. 13

Figura 2: Evolución del (A) potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallo}) y (B) potencial hídrico de fruto (Ψ_{fruto}) en los árboles de los tratamientos Control y déficit hídrico (RDC). Las barras verticales indican el error estándar. Dentro de cada fecha, * denota diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos. Las flechas indican inicio y fin de la recolección. Las líneas de puntos verticales indican inicio (DDA 38) y fin (DDA 88) del periodo de déficit hídrico. Las barras azules verticales indican la precipitación (mm). DDA: día del año. 15

Figura 3: (A) Tasa de fotosíntesis neta (ACO_2) y (B) conductancia estomática al vapor de agua (g_s), en los árboles Control y los árboles sometidos a Déficit hídrico (RDC) en la fase II de crecimiento del fruto. La restricción de riego se aplicó desde el DDA 38 hasta el 88. Las barras verticales indican el error estándar para cada fecha de medición. Dentro de cada fecha específica, * denota diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos. DDA: día del año. 16

Figura 4: (A) Evolución del diámetro del fruto (mm) y (B) tasa de crecimiento diario del fruto ($mm \cdot día^{-1}$) en el Control y Déficit hídrico (RDC) en la fase II de crecimiento del fruto aplicados a los árboles durante el período de ensayo). Las barras verticales indican el error estándar para cada fecha de medición. Dentro de cada fecha específica, * denota diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos. Líneas de puntos verticales indican inicio (DDA 38) y fin (DDA 88) del periodo de déficit hídrico. DDA: día del año. 18

Figura 5: (A) 'a' y (B) 'b' de las coordenadas Hunter, (C) ratio a/b y (D) IC para el Control y déficit hídrico en la fase II de crecimiento del fruto (RDC), aplicados a los árboles durante los meses de realización del ensayo. Las barras verticales indican el error estándar para cada fecha de medición. Dentro de cada fecha específica, * denota diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos. Las flechas indican el inicio de la recolección. Las líneas de puntos horizontales indican el cambio de color. DDA: día del año. 19

Figura 6: Fruta recolectada ($kg \cdot árbol^{-1}$) en cada fecha de recolección, en los árboles Control y en los árboles sometidos a un Déficit hídrico en la fase II de crecimiento del fruto (RDC). El déficit hídrico se aplicó desde el DDA 38 hasta el DDA 88. Las barras verticales indican el error estándar para cada fecha de recolección. * indica diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). DDA: día del año. 20

Figura 7: Distribución final de calibres comerciales (%) en los árboles Control y los árboles sometidos a Déficit hídrico (RDC) en la fase II de crecimiento del fruto. 22

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: precios liquidados al agricultor ($\text{€}\cdot\text{kg}^{-1}$) según semana y calibre comercial durante la temporada 2018-2019. (Fuente: Cooperativa agrícola Callosa d'en Sarrià)..... | 11 |
| Tabla 2: Cosecha recolectada en los dos primeros pases de recolección ($\text{kg}\cdot\text{árbol}^{-1}$ precoz) y cosecha recolectada de media temporada ($\text{kg}\cdot\text{árbol}^{-1}$ temporada), rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{árbol}^{-1}$), ingreso bruto ($\text{€}\cdot\text{árbol}^{-1}$), Eficiencia Productiva en el Uso del Agua (EPUA, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) y Eficiencia Económica en el Uso del Agua (EEUA, $\text{€}\cdot\text{m}^{-3}$) para el Control y Déficit Hídrico en la fase II de crecimiento del fruto (RDC) aplicado a los árboles durante los meses de realización del ensayo. Valores expresados como la media \pm el error estándar. P-valor $< 0,05$ indica diferencias estadísticamente significativas..... | 21 |
| Tabla 3: Características del fruto maduro : diámetro final, firmeza e índice de color(IC), tras la recolección de los árboles Control y los árboles sometidos a Déficit hídrico (RDC) en la fase II de crecimiento del fruto. Valores expresados como la media \pm el error estándar. P-valor $< 0,05$ indica diferencias estadísticamente significativas | 23 |
| Tabla 4: Características internas del fruto maduro: sólidos solubles totales (SST), acidez e índice de maduración (IM) tras la recolección de los árboles Control y los árboles sometidos a Déficit hídrico (RDC) en la fase II de crecimiento del fruto. Valores expresados como la media \pm el error estándar. P-valor $< 0,05$ indica diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos..... | 23 |
| Tabla 5: incidencia de las principales fisiopatías: mancha púrpura ($\text{kg}\cdot\text{árbol}^{-1}$) y rajado del fruto ($\text{kg}\cdot\text{árbol}^{-1}$) para el Control y Déficit hídrico (RDC) en la fase II de crecimiento del fruto. Valores expresados como la media \pm el error estándar. P-valor $< 0,05$ indica diferencias estadísticamente significativas | 23 |

1. Introducción

1.1. El cultivo del níspero japonés

El níspero japonés [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl] es un árbol frutal subtropical perennifolio perteneciente a la familia *Rosaceae*, subfamilia *Maloideae* (Lin et al., 1999), originario del Sur de China, donde se conoce desde hace 2000 años (Calabrese, 2006). Desde China pasó a Japón, donde su cultivo se documenta desde 1180 (Morton, 1987). El níspero se introdujo en Europa en el s. XVIII, y a España llegó por el Mediterráneo, a Sagunto (Valencia), expandiéndose posteriormente por el este y sur de la península (Rodríguez, 1983).

En la actualidad, el níspero se cultiva en áreas situadas entre los paralelos 25° y 38° Norte y Sur, siendo Asia y el sur de Europa las principales zonas productoras (Agustí et al., 2006). El principal país productor de níspero es China, con alrededor de 400.000 t (Lin, 2007). Las principales zonas productivas en España son la Comunitat Valenciana, con una superficie de 1.045 ha y una producción de 15798 t, y Andalucía con una superficie de 1.000 ha y 12.864 t en 2018. La provincia de Alicante lidera la producción nacional con 14.727 t (MAPA, 2019). En Alicante la producción se concentra en la comarca de La Marina Baixa entre los valles de los ríos Algar y Guadalest (Soler et al., 2007), donde municipios como Callosa d'en Sarrià han desarrollado en los últimos 40 años, un cultivo intensivo de níspero japonés en terrazas y bajo malla. A pesar de ser un cultivo minoritario, se consiguen altas producciones y rentabilidades debido a su alto grado de tecnificación (Llácer, 2008). Desde el 14 de enero de 1992, los nísperos producidos en Callosa d'en Sarrià son distinguidos con la Denominación de Origen 'Nísperos de Callosa d'en Sarrià'.

El níspero se empieza a recolectar a inicios de primavera por lo que llega al mercado antes que cualquier otra fruta de primavera-verano, de modo que la competencia con otras frutas es escasa. La variedad 'Algerie' es la más importante con cerca del 70% de la superficie destinada a este cultivo (Agustí, 2010). En concreto, en Alicante la variedad cultivada por excelencia es 'Algerie' (95%), cuya recolección se extiende desde mediados de abril hasta mediados de mayo, produciéndose el mayor volumen de recolección a finales de abril y principios de mayo (Martínez-Calvo et al., 2000). Los cultivares más precoces (recolección hasta finales de marzo) son especialmente rentables al alcanzar un mayor valor en el mercado. Por ello, proporcionar a los productores herramientas para obtener una maduración temprana de la fruta, es un aspecto de interés agronómico, por lo que la obtención de variedades precoces es uno de los

principales objetivos de los programas de mejora que se desarrollan en la actualidad (Badenes et al. 2013). En este sentido el híbrido 158 obtenido como resultado de dicho programa es una de las variedades más prometedoras debido a su precocidad (recolección en marzo), elevada calidad organoléptica y baja incidencia de la fisiopatía conocida como 'mancha púrpura'. Además, las técnicas capaces de adelantar la fecha de recolección son de gran interés para los productores por aumentar la rentabilidad del cultivo (Cuevas et al., 2009; Hueso y Cuevas et al., 2008).

1.1.1 Descripción botánica

El árbol de níspero japonés se caracteriza por su elevado vigor y rápida entrada en producción (2-3 años), presenta un buen porte, con tendencia a la verticalidad, y elevada productividad (Agustí, 2010). Las hojas son coriáceas, elíptico lanceoladas, de bordes aserrados, de gran tamaño, y están cubiertas por pelos o tricomas que le permiten adaptarse con facilidad a las condiciones del clima mediterráneo. Presenta inflorescencias en panículas de forma piramidal, con un eje principal en el que se insertan de 5 a 10 ejes transversales en los que se forman un número variable de flores en racimo (más de cien). Dentro de la panícula las flores apicales de cada eje son las primeras en alcanzar la antesis (Rodríguez, 1983). Sus flores son pequeñas, de pétalos blancos y cáliz marrón y pubescente. El fruto es un pomo, oval piriforme de color amarillo-anaranjado, con un número variable de semillas que suele oscilar entre 2 y 5 (Agustí, 2010).

1.1.2 Ciclo fenológico

El ciclo del níspero japonés comprende una etapa vegetativa, desde el final de la cosecha en primavera hasta el verano, y una etapa reproductiva que tiene lugar en otoño e invierno. A lo largo de todo el ciclo se produce la senescencia de hojas del ciclo anterior, sin que exista un periodo claro de caída. (Rodríguez, 1983). En zonas de clima templado, como es la zona mediterránea, presenta tres brotaciones (Agustí et al., 2006). La brotación principal es la de primavera, seguida por la de invierno y la de otoño que es de menor importancia (Agustí y Reig, 2006; Gariglio et al., 2002).

El desarrollo radical coincide con el crecimiento vegetativo, particularmente durante las brotaciones de otoño y verano, En primavera se reduce progresivamente como consecuencia del rápido crecimiento de los frutos, reiniciándose tras la recolección (Reig y Agustí, 2006).

La inducción floral se produce a finales de primavera, y durante el verano el meristemo detiene su crecimiento, en lo que se conoce como *parada estival*, que reinicia a finales de verano con la diferenciación floral. La floración se produce en otoño, desde mediados de septiembre en los cultivares más precoces hasta finales de diciembre en los más tardíos. Este periodo comprende entre tres y cinco semanas (Martínez-Calvo et al., 2000).

El crecimiento del fruto tiene lugar durante el invierno y la maduración se produce a principios de primavera. El crecimiento y el desarrollo del fruto sigue una curva sigmoideal simple característica de los frutales de pepita (Rodríguez, 1983; Cuevas et al., 2003), en la que se diferencian tres fases: la primera fase (Fase I) se desarrolla durante las diez semanas siguientes al cuajado, en la que el fruto forma sus tejidos por división celular, presentando una baja tasa de crecimiento; durante la segunda fase (Fase II) se produce el crecimiento celular, y el fruto aumenta de tamaño de forma lineal, a gran velocidad, gracias a un aumento considerable de la tasa de crecimiento; por último, en la tercera fase (Fase III) el crecimiento del fruto se detiene y suceden una serie de cambios físicos y bioquímicos que conducen a su maduración (Agustí, 2008).

1.2. La maduración del fruto

La maduración del níspero japonés se clasifica como no climatérica, ya que no muestra un aumento de la tasa de respiración y producción autocatalítica de etileno (Blumenfeld, 1980; Alós et al, 2017). Los principales cambios que suceden durante la maduración del fruto son la pérdida de firmeza de la pulpa, el incremento en la concentración de azúcares, la reducción de la concentración de ácidos, la producción de compuestos volátiles que modifican el aroma, y el cambio de color (Agustí, 2008). La maduración de la piel y la pulpa en níspero japonés se produce simultáneamente y está regulada por los mismos mecanismos, ya que estos tejidos están conectados vascularmente. Los cambios en el color observados durante la maduración del fruto, están relacionados con un aumento de peso, diámetro y sólidos solubles totales y una disminución de la firmeza, acidez y taninos solubles (Besada et al., 2011).

Desde el punto de vista agronómico, el color externo del fruto se ha establecido como el principal factor determinante de la época de recolección (Cautín et al., 2006). El cambio de

color consiste en la transformación de cloroplastos en cromoplastos, proceso en el que se produce, entre otros cambios, la degradación de las clorofilas y la síntesis de carotenoides que transforman la coloración del fruto de verde a naranja. El proceso biológico es complejo y está regulado por factores nutricionales y hormonales, y por las condiciones ambientales (Agustí, 2008).

1.2.1 Factores ambientales

Los frutos de níspero crecen durante los meses fríos de invierno y maduran en la primavera, después de un corto período de tiempo con una tasa de crecimiento muy alta (Blumenfeld, 1980). La síntesis de carotenoides y su acumulación en el fruto está influida por factores ambientales. En el níspero japonés cultivado en la zona de Callosa d'en Sarrià, la precocidad de la cosecha correlaciona negativamente con las bajas temperaturas, en particular, con la temperatura mínima del día. Así, en función de los años, el porcentaje de fruta recolectada a mediados de abril puede variar entre el 5% y el 40% (Gariglio et al., 2002). La relación entre la baja temperatura, ambiental y del suelo, y el cambio de color también ha sido puesta de manifiesto en otras especies como los cítricos o el manzano (Solomakhin y Blanke, 2007; Mesejo et al., 2012). Por otra parte, es de destacar que a diferencia de otras Rosáceas (Solomakhin y Blanke, 2007), la incidencia de luz sobre el fruto no es necesaria para el desarrollo de su coloración (Gariglio, 2006).

1.2.2 Factores hormonales

A pesar de ser un fruto no climatérico, el fruto de níspero produce etileno coincidiendo con varios procesos de su maduración y senescencia, como la acumulación de azúcares, la disminución de ácidos, el pardeamiento de la pulpa, la actividad de la enzima poligalacturonasa (PG), la aparición de lignina (Wang et al., 2010; Liguori et al., 2015) y el cambio de color (Alós et al., 2017; 2019).

Durante la maduración del níspero japonés, la acumulación de carotenoides es diez veces mayor en la piel que en la pulpa. En particular, en el cv. Algerie, el contenido de luteína en la piel disminuye progresivamente mientras que aumenta la concentración de β -caroteno y 9-cis-violaxantina (Alós et al., 2019).

El inicio del cambio de color en níspero japonés se ha relacionado con el ácido abscísico (ABA) (Reig et al., 2013), ya que su concentración aumenta bruscamente durante la maduración, en paralelo a la acumulación de los carotenoides (Reig et al., 2016). El ABA interviene en los procesos de cambio de color y la maduración del fruto. Un aumento en el contenido de ABA en los frutos están relacionados con el cambio de color y el contenido de pigmentos. Este aumento en la concentración de ABA durante la maduración se produce tanto en frutos climatéricos (Buesa et al., 1994) como no climatéricos (Kim et al., 2019), siendo mínimo en frutos que no han alcanzado la maduración. Además, la aplicación exógena de ABA promueve la maduración del fruto al inducir el cambio de color (Koyama et al., 2010).

En otras especies de pepita como la manzana, se ha observado un aumento del contenido de ABA en paralelo al aumento del contenido de antocianos (Uthaibutra y Gemma, 1991; Vendrell y Buesa, 1989). En cítricos el cambio de color también se ha asociado con un aumento de la concentración de ABA (Agustí et al., 2007). En fresas, se produce un rápido aumento del contenido de ABA coincidente con el desarrollo de color (Symons et al., 2012). Todo esto, sugiere que el ABA endógeno podría estar implicado en la regulación de la biosíntesis de pigmentos coloreados durante la maduración de los frutos.

1.3 Influencia del riego sobre los procesos de maduración del fruto

El ABA está relacionado con las respuestas adaptativas al estrés hídrico y su función principal en las plantas es regular el equilibrio hídrico y la tolerancia al estrés osmótico (Tadeo y Gómez-Cadenas, 2008). Cuando el contenido de agua del suelo disminuye, en las raíces se sintetiza ABA que se transporta vía xilema al resto de la planta en respuesta a este déficit hídrico, actuando como una señal mediante el cual las plantas regulan su estado hídrico para adaptar su funcionamiento antes de que el estrés sea más severo (Zacarías y Lafuente., 2008). Por lo que un déficit hídrico aumenta la concentración de ABA en la planta. Son múltiples los estudios que han demostrado que la acumulación de ABA en los frutos también está correlacionada con el déficit hídrico (Deluc et al., 2007 y 2009).

Numerosos estudios indican que la aplicación de un déficit hídrico podría avanzar la recolección de los frutos (Cañete et al, 2009; Hueso et al. 2013). Por tanto, la utilización de estrategias de riego deficitario controlado (RDC) representa una herramienta potencial para poder conseguir este avance deseado. El RDC es una técnica de cultivo que, mediante el manejo de la dosis de agua de riego y el momento de aplicación, impone períodos de déficit

hídrico para provocar algún tipo de beneficio económico (Behdoudian y Mills, 1997). El RDC se basa en la reducción del riego por debajo de las necesidades hídricas durante los períodos menos críticos del cultivo, satisfaciendo adecuadamente los requerimientos hídricos durante el resto del ciclo fenológico, con el fin de no comprometer ni la cuantía de la cosecha ni la calidad del fruto, y evitar efectos negativos. Por tanto, los factores determinantes para lograr un estrés hídrico adecuado y que la técnica sea efectiva son el periodo de aplicación, la duración del estrés hídrico y la severidad de la restricción. A pesar de que la técnica se inició en plantaciones de melocotonero en Australia, con el objetivo de reducir el desarrollo vegetativo y, por tanto, los costes de poda, (Chalmers et al., 1981; Mitchell y Chalmers, 1982), esta técnica puede ser utilizada para obtener otros beneficios como el adelanto en la recolección. En efecto, en el manzano cv. Delicious, la aplicación de un déficit hídrico en precosecha produjo un avance en la recolección (Ebel et al, 1993). Asimismo, en peral cv. Housini sometido a un riego deficitario precosecha, se recolectó un mayor porcentaje de frutos en la primera recolección (Caspari et al. 1996). Mills et al. (1994) observaron un aumento de la coloración roja en manzanos sometidos a un déficit hídrico que desencadenó un avance en la maduración (Mills et al 1994; 1996). En vid, la aplicación de un déficit hídrico durante el periodo de crecimiento del fruto tuvo como resultado un avance en el cambio de coloración (Castellarín, 2007).

Además, se ha demostrado que la aplicación de RDC durante el crecimiento del fruto puede mejorar la calidad del fruto. En otros cultivos como los cítricos, un déficit hídrico aplicado durante la precosecha aumentó la concentración de sólidos solubles totales (SST) y la acidez (Pérez-Pérez et al 2009). En vid, la aplicación de un déficit hídrico durante el crecimiento del fruto, provocó un aumento de la concentración de antocianos y fenoles (Castellarín, 2007).

La aplicación de un déficit hídrico durante la precosecha en níspero cv. Algerie injertado sobre patrón de membrillero cultivado en Almería con un clima subtropical semiárido, no ha resultado ser consistente, ya que si bien unos experimentos han resultado en un aumento de la precocidad (Cañete et al., 2009; Hueso et al., 2013), en otros, no se ha conseguido este adelanto (Stellfeldt et al, 2011; 2014). La eficacia de la técnica para adelantar la recolección es limitada y muy variable, y depende en gran medida de la interacción entre factores ambientales (suelo y clima), patrón y variedad, por lo que la experimentación a nivel local es necesaria.

2. Hipótesis y objetivos

En el presente estudio se pretende establecer una estrategia de manejo de riego que permita adelantar el cambio de color y la recolección del fruto. Para ello, se plantea la siguiente hipótesis de trabajo: “un estrés hídrico aplicado durante la fase II del desarrollo del fruto anticipa la recolección del níspero japonés”.

Los objetivos establecidos son los siguientes:

Determinar el efecto de la aplicación de una estrategia de RDC durante la fase II de crecimiento del fruto en níspero japonés sobre:

1. El estado hídrico y los parámetros de intercambio gaseoso de la planta.
2. El cambio de color del fruto y la precocidad de la cosecha.
3. La calidad del fruto.
4. El rendimiento de la cosecha.

3. Material y métodos

3.1 Parcela experimental

El experimento se llevó a cabo durante los meses de febrero a mayo de 2019 en una parcela ubicada en el Campo de Experiencias de la Cooperativa Agrícola de Callosa d'en Sarrià (Ruchey), en la provincia de Alicante ($38^{\circ} 38' 58''$ N, $0^{\circ} 6'$ W y 247 m.s.n.m).

El suelo de la parcela experimental presenta una textura arcillosa (45% arcilla, 25% limo, 30% arena), es pedregoso, con un contenido en materia orgánica del 2,80% y una profundidad efectiva de 0,80 m. El clima es Mediterráneo semi-árido con una precipitación media anual de 450 mm, una ET_0 media anual de 750 mm y una temperatura media anual de 18°C . Los meses más fríos son enero y febrero con temperaturas medias de 9°C , y los más calurosos julio y agosto con temperaturas medias mensuales de unos 25°C .

Para el estudio se han utilizado árboles de níspero japonés de la variedad '158' (cv. Cardona \times cv. Algerie) cultivados en terrazas escalonadas con muros de contención de piedra y bajo malla de cubierta de polietileno monofilamento de 1mm de espesor y 6×6 hilos $\cdot\text{cm}^{-2}$ cuya principal función es como cortavientos. Los árboles se plantaron en 2014 sobre patrón franco, con un marco de plantación de $4,5 \times 3,25$ m. La fertilización, la poda, el aclareo, así como el manejo de plagas y enfermedades, se llevaron a cabo de acuerdo con las prácticas comerciales típicas de la zona.

El sistema de riego fue por goteo con 12 emisores autocompensantes por árbol con un caudal de $4 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$. El riego se programó con una frecuencia semanal, estimando la dosis de riego a través de la evapotranspiración del cultivo (ET_c), calculada como el producto de la ET_0 , calculada según el método de FAO-Penman-Monteith (Allen et al., 1998), por el coeficiente de cultivo (K_c) obtenido por el Servicio de Tecnología del Riego (STR) del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). El agua de riego empleada tiene una conductividad eléctrica de $0,46 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ siendo adecuada para el cultivo del níspero japonés.

3.2 Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental consistió en dos tratamientos con cuatro repeticiones por tratamiento. Cada repetición consistió en un árbol, y dos árboles guarda separaban los tratamientos.

Los tratamientos de riego aplicados fueron los siguientes:

- Control: riego al 100% de la ET_c , para cubrir las necesidades hídricas del cultivo durante todo el periodo de estudio.

- Riego deficitario controlado (RDC): aplicación de un déficit hídrico durante la fase II de crecimiento del fruto mediante la supresión completa del riego desde el 14 de febrero hasta el 29 de marzo (44 días), momento a partir del cual se volvieron a satisfacer el 100% de las necesidades (100% ET_c).

3.3 Determinaciones

3.3.1 Parámetros climáticos

Los valores diarios de temperatura, radiación solar, humedad relativa, precipitación y velocidad del viento se obtuvieron de la estación agroclimática situada en la parcela experimental y bajo malla, procedente de la red de estaciones meteorológicas del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (Red SIAR).

3.3.2 Estado hídrico del cultivo

El estado hídrico de la planta se determinó mediante la evaluación del potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallo}), utilizando una cámara de presión (Scholander et al., 1965). Las medidas se realizaron al mediodía solar sobre dos hojas maduras por árbol de todos los árboles del experimento. Cada hoja fue previamente embolsada con bolsas de aluminio y cierre hermético al menos una hora antes de la medida. Para el control del estado hídrico del fruto se empleó el potencial hídrico del fruto (Ψ_{fruto}) que se determinó también mediante la cámara de presión en un fruto por árbol de todos los árboles controlados en el ensayo. Ambas medidas se realizaron con una frecuencia semanal.

3.3.3 Parámetros de intercambio gaseoso

La tasa de fijación de CO₂ o fotosíntesis neta (A_{CO_2} , $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) y la conductancia estomática al vapor de agua (g_s , $\text{molH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), fueron medidos con un sistema de fotosíntesis portable LI-6400 (LI-COR, Nebraska, USA) equipado con una cámara foliar (6 cm²) y las medidas se realizaron con una frecuencia quincenal. Las medidas se tomaron en hojas sanas, maduras y completamente expandidas expuestas al sol. La tasa de flujo de aire molar dentro de la cámara de la hoja fue de 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$. Todas las mediciones se tomaron a una concentración de CO₂ de referencia similar al ambiente (400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) y un flujo fotónico fotosintético saturado de 1.200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, mediante el uso de una fuente de luz roja / azul (6400-02B LED) conectada a la cámara foliar. Los parámetros de intercambio de gases fueron calculados automáticamente por el programa interno del LI-6400, basado en las ecuaciones de von Caemmerer y Farquhar (1981).

3.3.4 Crecimiento del fruto

El tamaño del fruto se determinó a través de la medida del diámetro del fruto (mm). Las medidas se tomaron semanalmente en 5 frutos por árbol, marcados previamente con etiquetas y enumerados, mediante un pie de rey digital con una consola registradora de datos, realizando dos medidas ecuatoriales por fruto en diferentes orientaciones.

3.3.5 Evolución del color externo del fruto

El color externo del fruto fue determinado mediante la medición de las coordenadas Hunter 'a', 'b' y 'L' según el método CIELAB, utilizando un colorímetro portátil (Konica Minolta Optics Inc., Osaka, Japan). Para ello se realizaron dos medidas por fruto de cinco frutos por árbol de todos los árboles controlados. La coordenada 'a' indica color verde si es negativa y color rojo si es positiva, la 'b' indica color azul si es negativo y color amarillo cuando es positiva, y la coordenada 'L' indica la luminosidad. Para determinar la coloración del fruto se calculó la ratio a/b y el índice de color (IC) descrito por Jiménez-Cuesta et al. (1981) como $1000\cdot a/b\cdot L$.

3.3.6 Control de la recolección

Los frutos fueron recolectados de acuerdo con los estándares comerciales de color y tamaño propuestos por la Cooperativa Agrícola de Callosa d'en Sarrià. Se realizaron cinco pases de recolección. El criterio utilizado para la determinar el momento de la recolección de los frutos en cada pase fue la observación visual del color externo de la fruta. El rendimiento de cada árbol se determinó como los kg totales recolectados por árbol (kg árbol^{-1}), y se calculó de todos los árboles del ensayo.

Los frutos recolectados se clasificaron según los calibres comerciales basados en el diámetro de los frutos: GGG > 53 mm, GG 46-52 mm, G 32-45 mm, M 31-28 mm y P < 28 mm. Además, durante la recolección, se determinó la cantidad de frutos (kg árbol^{-1}) que presentaron las fisiopatías: mancha púrpura y rajado.

Para evaluar el impacto de los tratamientos de riego sobre la respuesta económica, se evaluó el ingreso bruto (€ árbol^{-1}) calculado teniendo en cuenta la evolución de precios respecto a las semanas y calibres a los que se liquida al agricultor durante la temporada 2018-2019 (Tabla 1).

Tabla 1: precios liquidados al agricultor (€ kg^{-1}) según semana y calibre comercial durante la temporada 2018-2019. (Fuente: Cooperativa agrícola Callosa d'en Sarrià).

| SEMANA | Calibres comerciales (€ kg^{-1}) | | | | | |
|----------------------------|---|------|------|------|------|------|
| | GGG | GG | G | M | MGG | MG |
| 25 de marzo al 31 de marzo | 4,27 | 4,70 | 2,43 | 1,50 | 1,45 | 1,07 |
| 8 de abril al 14 de abril | 3,01 | 2,11 | 1,43 | 1,01 | 1,07 | 0,93 |
| 15 de abril al 21 de abril | 2,35 | 1,65 | 1,20 | 0,84 | 0,87 | 0,68 |
| 22 de abril al 28 de abril | 2,02 | 1,34 | 1,01 | 0,73 | 0,78 | 0,62 |
| 29 de abril al 5 de mayo | 1,87 | 1,12 | 0,95 | 0,61 | 0,73 | 0,55 |

La eficiencia productiva en el uso del agua (EPUA, kg m^{-3}), se calculó como la ratio entre el rendimiento total anual y el agua de riego aplicada en esa misma campaña (Loomis, 1983) y la eficiencia económica en el uso del agua (EEUA € m^{-3}), fue calculada como la ratio entre los ingresos brutos y el agua de riego aplicado en esa misma campaña.

3.3.7 Parámetros de calidad interna del fruto

Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre la calidad interna del fruto, se realizó un muestreo de dos frutos por árbol en cada pase de la recolección, y se evaluó la madurez interna del fruto, a través de los parámetros de firmeza, acidez y SST. La firmeza del fruto (N) se determinó mediante un penetrómetro FT-011 (Facchini, Italia), utilizando una varilla de 8 mm de diámetro. Para la obtención de la acidez y los SST se extrajo el zumo de una muestra de dos frutos por árbol en cada tratamiento. La acidez se valoró con hidróxido sódico 0,1N y usando como indicador fenolftaleína, expresando el resultado en g de ácido málico/100mL. La concentración de SST del zumo (°Brix) se evaluó con un refractómetro digital ATAGO PR100 (Atago, Japón). El índice de madurez (IM) se determinó como la ratio entre SST y acidez (g de ácido málico/100mL).

3.4 Análisis estadístico

Los datos obtenidos en el experimento se sometieron a un análisis estadístico de la varianza (ANOVA) empleando el programa Statgraphics Centurión XVIII (Statpoint Technologies Inc., Warrenton, VA, USA). A los valores porcentuales se le aplicó la transformación arcsen (\sqrt{p}) para ser evaluados mediante un ANOVA.

4. Resultados

4.1 Datos meteorológicos y agua aplicada

La ET_0 acumulada durante los meses de realización del experimento fue de 238 mm, y la temperatura media osciló entre 9,7°C y 24,1°C (Figura 1). La restricción de riego se aplicó desde el día del año (DDA) 38 hasta el día 88, suprimiendo por completo los aportes de agua durante dicho periodo, y restableciendo después el riego al 100% de la ET_c . La precipitación acumulada durante el periodo de estudio fue de 222 mm y la precipitación efectiva fue de 84 mm. Durante la fase de restricción de las necesidades hídricas se registraron 12,2 mm. Durante la fase de recuperación con riego al 100% de la ET_c , se acumuló la mayor parte de las precipitaciones en dos momentos puntuales: 38 mm se registraron entre los DDA 90-92, seis y ocho días después de haber restablecido el riego del tratamiento RDC, y 147 mm se registraron entre los DDA 109-111. (Figura 1). El valor de K_c promedio durante la época de realización del ensayo fue de 0,64. La dosis de agua aplicada mediante el riego a los árboles Control fue de 202 mm, mientras que en los árboles RDC fue de 109 mm, lo que supone una reducción del 46% en el periodo de estudio. En términos anuales, el agua aplicada durante toda la campaña 2018-2019 fue de 5.661 m³·ha⁻¹ a los árboles Control y de 4.688 m³·ha⁻¹ a los árboles RDC, por lo que el tratamiento supuso un ahorro anual de agua del 17%.

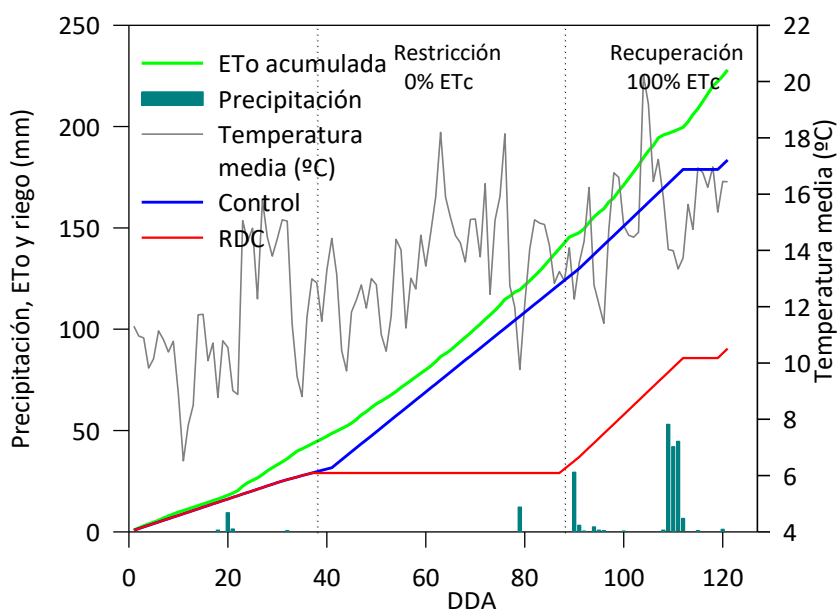


Figura 1: Evolución temporal de la evapotranspiración potencial (ET_0 , mm), precipitación (mm), temperatura media (°C) y dosis de riego (mm) aplicada en los tratamientos de riego Control y déficit hídrico (RDC). Las líneas de puntos verticales indican inicio (DDA 38) y fin (DDA 88) del periodo de déficit hídrico. DDA: día del año.

4.2 Evaluación del estado hídrico

Los árboles de ambos tratamientos mostraron valores de Ψ_{tallo} similares antes de la imposición de la restricción hídrica, situándose en torno a los -0,75 MPa. El tratamiento Control presentó valores de Ψ_{tallo} comprendidos entre -0,71 y -1,00 MPa durante todo el experimento. Por otra parte, tras el inicio de la restricción hídrica (día 38), y como era esperable, los árboles RDC mostraron valores de Ψ_{tallo} más negativos que los árboles Control, produciéndose un descenso progresivo del potencial por efecto del estrés. La primera diferencia estadísticamente significativa respecto del control apareció a los 11 días, en el DDA 59, con un valor de -1,14 MPa en los árboles RDC y de -0,81 MPa en los árboles Control. El valor mínimo de los árboles RDC se obtuvo el DDA 86 (-1,35 MPa) siendo significativamente inferior al obtenido en el tratamiento Control (-1,01 MPa) (Figura 2A). Las precipitaciones registradas en el DDA 79 (12,2 mm), causaron una recuperación del Ψ_{tallo} , que provocó la desaparición de las diferencias entre tratamientos.

El DDA 88 se repuso el riego en los árboles RDC al 100% ETc, coincidiendo con el inicio de las precipitaciones registradas los DDA 90-92, por lo que todos los árboles se recuperaron rápidamente del estrés hídrico impuesto, alcanzando valores similares de Ψ_{tallo} a los del Control (Figura 2A). Posteriormente se registraron nuevas precipitaciones los DDA 109-112, que ocasionaron un nuevo aumento del Ψ_{tallo} en todos los tratamientos (Figura 2A).

El valor inicial de Ψ_{fruto} , en frutos de los árboles Control y RDC se situó en torno a -0,60 MPa, disminuyendo progresivamente con el tiempo hasta el DDA 88. Pero tras la imposición de la restricción hídrica en el DDA 38, el Ψ_{fruto} de los árboles RDC se redujo aún más, y a los 8 días (DDA 46) éste fue significativamente inferior que el de los frutos Control (Control, -0,79 MPa y RDC, -1,09 MPa). Durante todo el periodo de déficit hídrico, los frutos de los árboles RDC mostraron valores inferiores de Ψ_{fruto} , alcanzando diferencias significativas en el DDA 80 y 46 (figura 2B). Tras la reposición del riego en el DDA 88 y las precipitaciones registradas, el Ψ_{fruto} aumentó rápidamente en todos los tratamientos, desapareciendo las diferencias. A partir del DDA 114, los valores de Ψ_{fruto} se estabilizaron en torno a -0,9 MPa (Figura 2B).

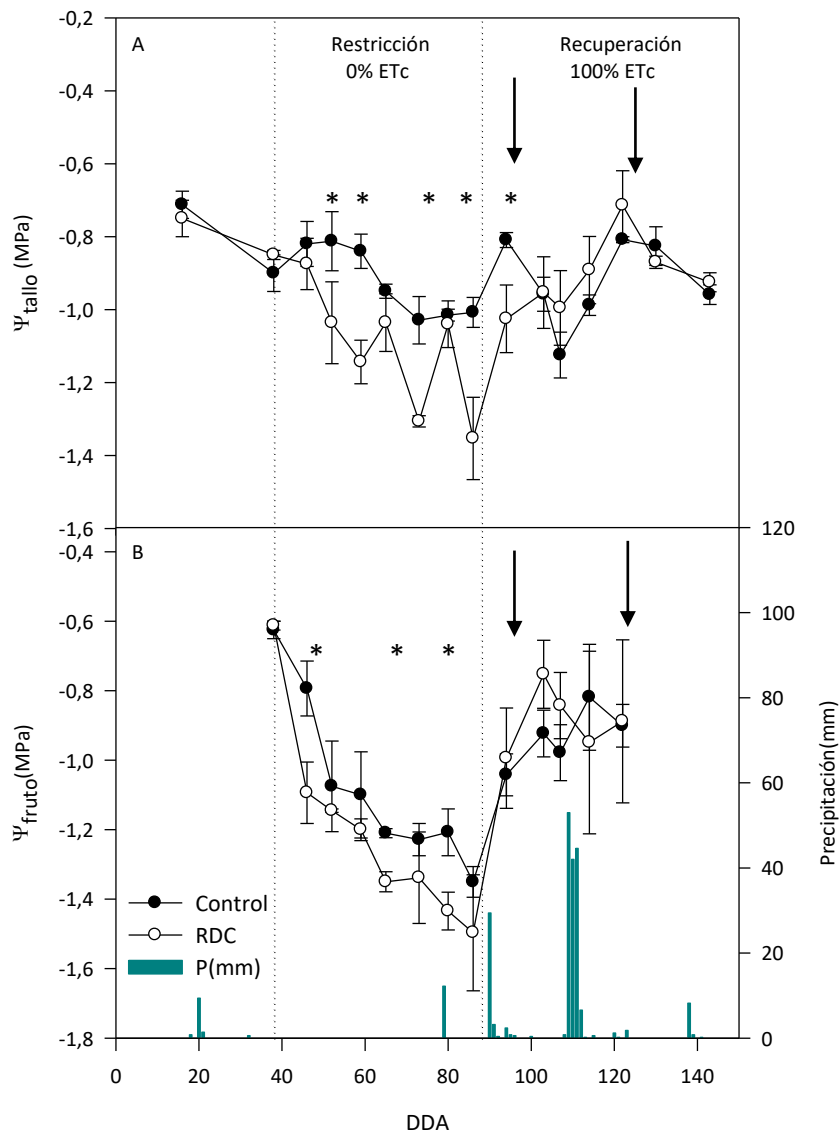


Figura 2: Evolución del (A) potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallos}) y (B) potencial hídrico de fruto (Ψ_{frutos}) en los árboles de los tratamientos Control y déficit hídrico (RDC). Las barras verticales indican el error estándar. Dentro de cada fecha, * denota diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos. Las flechas indican inicio y fin de la recolección. Las líneas de puntos verticales indican inicio (DDA 38) y fin (DDA 88) del periodo de déficit hídrico. Las barras azules verticales indican la precipitación (mm). DDA: día del año.

4.3 Intercambio de gases

Respecto a los parámetros de intercambio de gases, la fotosíntesis neta (ACO_2) nunca difirió significativamente entre los tratamientos (Figura 3A), sin embargo, en el DDA 88, RDC mostró una disminución si bien no llega a ser significativa. En cambio, los valores de la conductancia estomática (g_s) sí que se redujeron por efecto del estrés impuesto. En particular, el DDA 65 g_s se redujo prácticamente a la mitad, alcanzando diferencias significativas respecto al Control (Figura 3B).

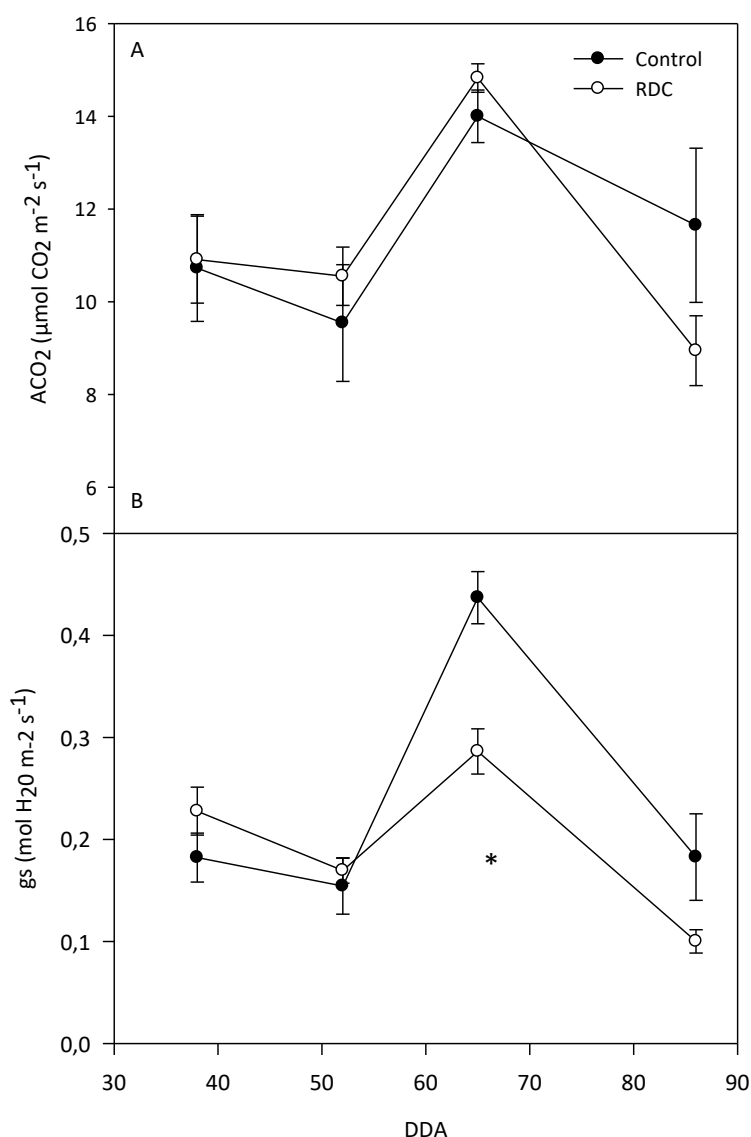


Figura 3: (A) Tasa de fotosíntesis neta (ACO_2) y (B) conductancia estomática al vapor de agua (g_s), en los árboles Control y los árboles sometidos a Déficit hídrico (RDC) en la fase II de crecimiento del fruto. La restricción de riego se aplicó desde el DDA 38 hasta el 88. Las barras verticales indican el error estándar para cada fecha de medición. Dentro de cada fecha específica, * denota diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos. DDA: día del año.

4.4 Evolución del diámetro del fruto

El diámetro de los frutos de los árboles Control y RDC no mostró diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las fechas de medición (Figura 4A). La tasa de crecimiento diario del fruto de los árboles del ensayo no se vio reducida significativamente debido a la imposición de una restricción hídrica, el valor promedio de la tasa de crecimiento diario durante el ensayo fue en el Control de $0,36 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$ y RDC de $0,32 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$.

Sin embargo, el estrés hídrico aplicado, produjo una reducción de la tasa de crecimiento diaria de los frutos en los árboles RDC respecto de los frutos Control (Control, $0,41 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$; RDC, $0,19 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$) entre los DDA 73 y 80 (Figura 4B). Tras este periodo las diferencias desaparecieron, e incluso la tasa de crecimiento de los frutos RDC fue ligeramente superior a la de los frutos control, aunque sin alcanzar la significación estadística (Figura 4B). Al finalizar el ensayo, la restricción hídrica aplicada no afectó al diámetro final del fruto que fue de 41,85 mm en el Control y 40,67 mm en RDC, sin presentar diferencias significativas entre tratamientos (Figura 4A).

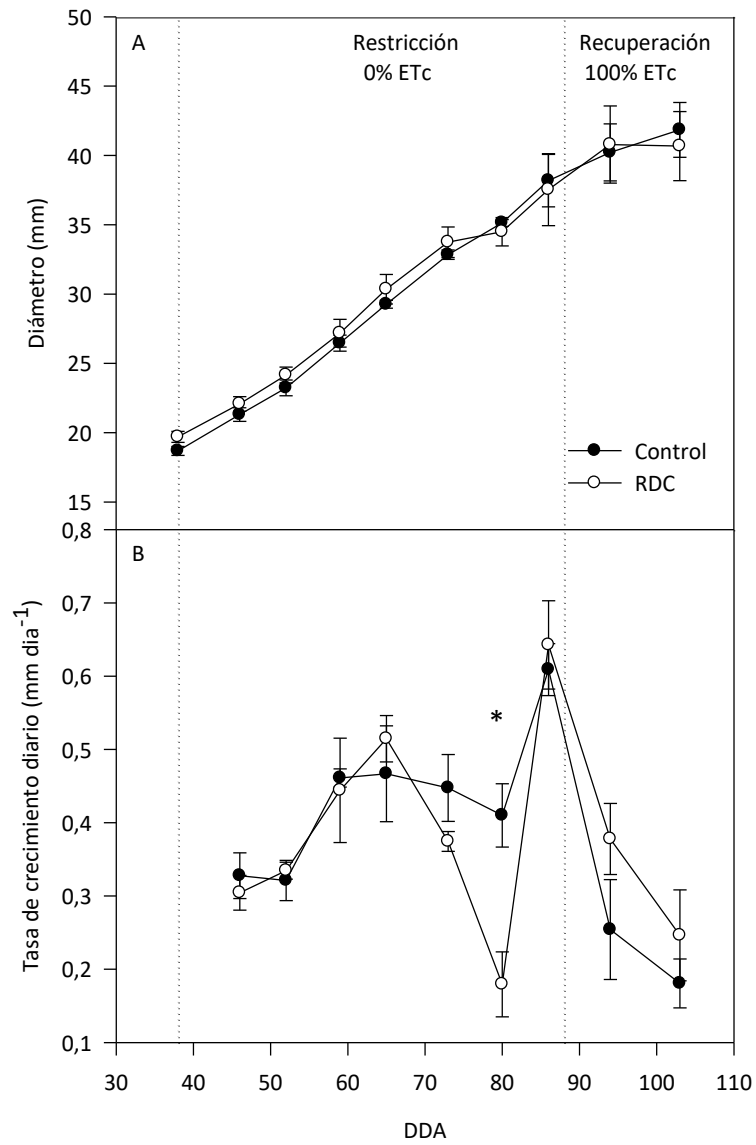


Figura 4: (A) Evolución del diámetro del fruto (mm) y (B) tasa de crecimiento diario del fruto (mm·día⁻¹) en el Control y Déficit hídrico (RDC) en la fase II de crecimiento del fruto aplicados a los árboles durante el período de ensayo). Las barras verticales indican el error estándar para cada fecha de medición. Dentro de cada fecha específica, * denota diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos. Líneas de puntos verticales indican inicio (DDA 38) y fin (DDA 88) del periodo de déficit hídrico. DDA: día del año.

4.5 Evolución del color

El color de los frutos seleccionados en los árboles Control y RDC presentó diferencias estadísticamente significativas en la coordenada de Hunter 'a', entre DDA 80-86 (Figura 5A). Los frutos en los árboles RDC cambiaron de color ('a' > 0, IC > 0 y ratio a/b > 0) el DDA 104, mientras que los frutos de los árboles Control presentaban valores negativos de 'a', por lo que los frutos del tratamiento RDC ya habían iniciado los procesos de maduración del fruto mientras que los frutos Control aún seguían verdes (Figura 5A, 5C y 5D). Los frutos evaluados de los árboles RDC iniciaron con anterioridad la pérdida de color verde, alcanzando valores significativamente mayores que los de los frutos Control. Respecto a la coordenada Hunter 'b' (Figura 5B), RDC mostró valores significativamente superiores en el DDA 104. Por tanto, los frutos de los árboles del tratamiento RDC perdieron antes la coloración verde y anticiparon la coloración naranja característica de la maduración del níspero.

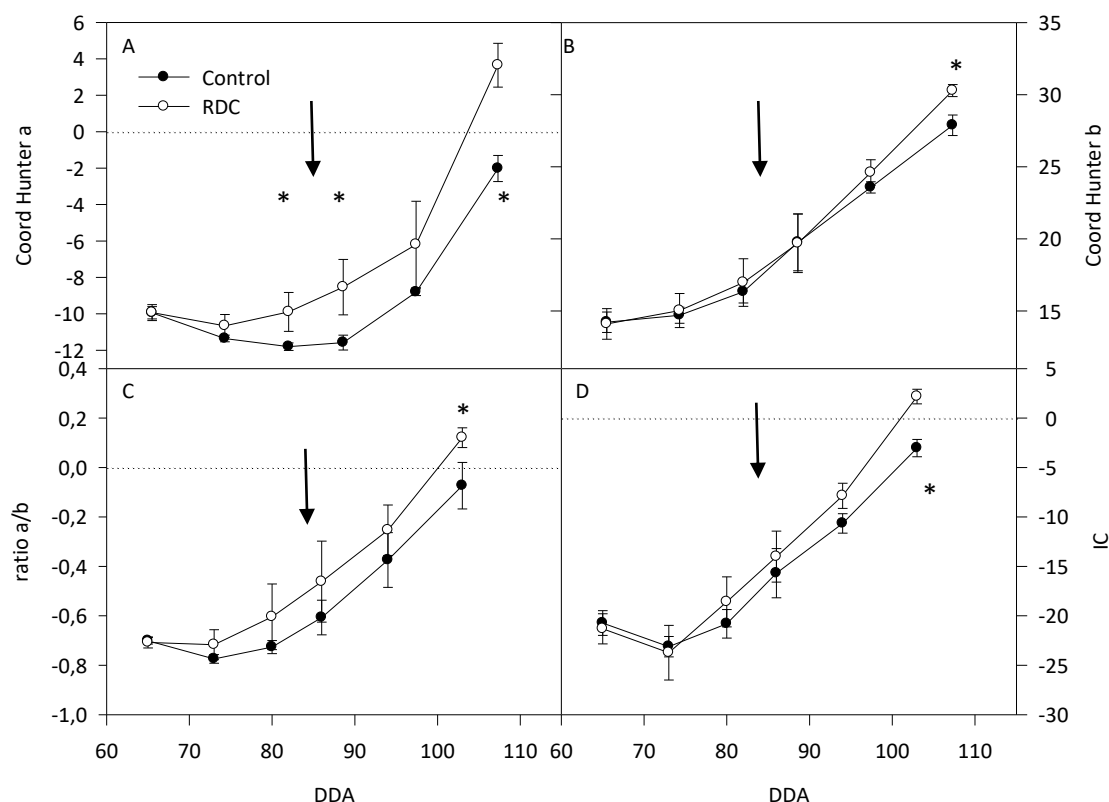


Figura 5: (A) 'a' y (B) 'b' de las coordenadas Hunter, (C) ratio a/b y (D) IC para el Control y déficit hídrico en la fase II de crecimiento del fruto (RDC), aplicados a los árboles durante los meses de realización del ensayo. Las barras verticales indican el error estándar para cada fecha de medición. Dentro de cada fecha específica, * denota diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos. Las flechas indican el inicio de la recolección. Las líneas de puntos horizontales indican el cambio de color. DDA: día del año.

4.6 Control de la recolección

La recolección se inició el DDA 89 en los árboles del tratamiento RDC, en los que se recolectó el 6,4% de la cosecha. Por el contrario, la recolección de los árboles Control no se inició hasta el DDA 100 (11 días después), cuando se recolectó el 12,8% de la producción. En esa misma fecha, la producción acumulada del tratamiento RDC supuso un 32% de la cosecha, de nuevo significativamente mayor a la del control (Figura 6). En ambos casos la recolección se prolongó durante 5 semanas hasta el DDA 122, se realizaron 5 y 4 pases para la recolección de los frutos RDC y Control respectivamente. La mayor cuantía de fruta se recogió entre el tercer y cuarto pase en los dos tratamientos, con producciones acumuladas del 68 y 88% para Control y RDC, respectivamente. Cabe destacar que, en los dos primeros pases, la cantidad de fruta recolectada fue significativamente mayor en los árboles RDC que en los árboles Control, mientras que, en el cuarto pase de recolección, la cantidad de fruta recolectada fue mayor en los árboles Control que en los árboles RDC, aunque sin alcanzar la significación estadística (Figura 6).

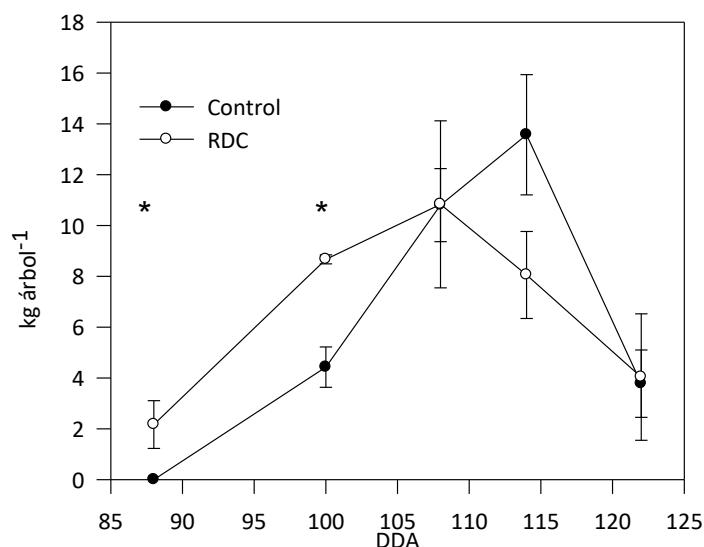


Figura 6: Fruta recolectada (kg·árbol⁻¹) en cada fecha de recolección, en los árboles Control y en los árboles sometidos a un Déficit hídrico en la fase II de crecimiento del fruto (RDC). El déficit hídrico se aplicó desde el DDA 38 hasta el DDA 88. Las barras verticales indican el error estándar para cada fecha de recolección. * indica diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). DDA: día del año.

La cantidad de fruta recolectada en los primeros pases de recolección (DDA 88 y 100) fue significativamente superior ($P \leq 0,01$) en los árboles RDC que en el Control. Respecto a los frutos recolectados de media temporada (DDA 108, 114 y 122), no aparecieron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 2).

El rendimiento total ($\text{kg}\cdot\text{árbol}^{-1}$) del tratamiento RDC fue similar al del tratamiento Control, no viéndose reducido debido a la imposición de una restricción hídrica (Tabla 2). Por otra parte, el ingreso bruto ($\text{€}\cdot\text{árbol}^{-1}$) en el tratamiento RDC fue superior al Control, aunque no alcanzó la significancia estadística (Tabla 2). Finalmente, en la EPUA ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) y la EEUA ($\text{€}\cdot\text{m}^{-3}$) no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, no obstante, los valores del tratamiento RDC fueron superiores en ambos indicadores (Tabla 2).

Tabla 2: Cosecha recolectada en los dos primeros pases de recolección ($\text{kg}\cdot\text{árbol}^{-1}$ precoz) y cosecha recolectada de media temporada ($\text{kg}\cdot\text{árbol}^{-1}$ temporada), rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{árbol}^{-1}$), ingreso bruto ($\text{€}\cdot\text{árbol}^{-1}$), Eficiencia Productiva en el Uso del Agua (EPUA, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) y Eficiencia Económica en el Uso del Agua (EEUA, $\text{€}\cdot\text{m}^{-3}$) para el Control y Déficit Hídrico en la fase II de crecimiento del fruto (RDC) aplicado a los árboles durante los meses de realización del ensayo. Valores expresados como la media \pm el error estándar. P-valor < 0,05 indica diferencias estadísticamente significativas.

| TRATAMIENTOS | $\text{Kg}\cdot\text{árbol}^{-1}$ precoz | $\text{Kg}\cdot\text{árbol}^{-1}$ temporada | Rendimiento total ($\text{Kg}\cdot\text{árbol}^{-1}$) | Ingreso bruto ($\text{€}\cdot\text{árbol}^{-1}$) | EPUA ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) | EEUA ($\text{€}\cdot\text{m}^{-3}$) |
|--------------|---|--|---|--|---|--|
| Control | 4,4 \pm 0,79 | 30,1 \pm 2,69 | 34,5 \pm 2,95 | 51,8 \pm 4,50 | 3,9 \pm 0,36 | 5,8 \pm 0,51 |
| RDC | 10,8 \pm 1,07 | 22,9 \pm 3,13 | 33,8 \pm 2,90 | 57,0 \pm 6,03 | 4,9 \pm 0,42 | 7,7 \pm 0,80 |
| P-valor | 0,004 | 0,16 | 0,26 | 0,57 | 0,13 | 0,08 |

4.7 Calidad del fruto

La distribución de calibres comerciales no difirió significativamente entre los árboles Control y RDC. En ambos casos, la población de frutos alcanzó la máxima frecuencia en el calibre GG (Figura 7).

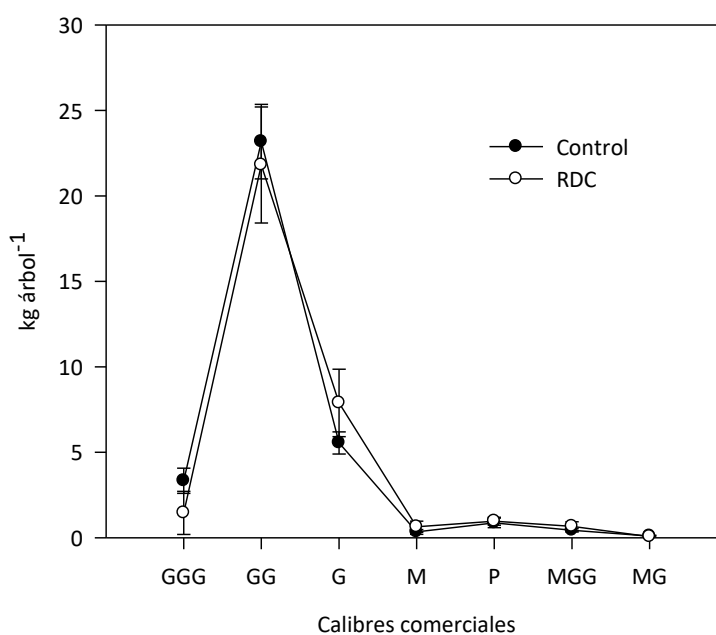


Figura 7: Distribución final de calibres comerciales (%) en los árboles Control y los árboles sometidos a Déficit hídrico (RDC) en la fase II de crecimiento del fruto.

Por ello, el diámetro promedio final del fruto no difirió entre los tratamientos, pero tampoco lo hizo la firmeza y el color (IC) (Tabla 3). Sin embargo, la calidad interna sí se modificó por efecto del tratamiento de estrés. En particular, los frutos procedentes de los árboles RDC mostraron un mayor contenido en SST en el momento de la recolección que los frutos de los árboles del tratamiento Control, aunque con la misma acidez (Tabla 4). El índice de madurez fue mayor en los frutos de los árboles RDC, aunque sin alcanzar la significación estadística (Tabla 4). Finalmente, no se observaron diferencias significativas en la cantidad de fruta afectada de las principales alteraciones fisiológicas del níspero japonés, la mancha púrpura y el rajado del fruto (Tabla 5).

Tabla 3: Características del fruto maduro : diámetro final, firmeza e índice de color(IC), tras la recolección de los árboles Control y los árboles sometidos a Déficit hídrico (RDC) en la fase II de crecimiento del fruto. Valores expresados como la media \pm el error estándar. P-valor < 0,05 indica diferencias estadísticamente significativas

| Tratamientos | Diámetro (mm) | Firmeza (N) | IC |
|--------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Control | 47,96 \pm 2,00 | 4,86 \pm 0,17 | 8,71 \pm 0,90 |
| RDC | 47,12 \pm 2,25 | 4,79 \pm 0,40 | 9,23 \pm 0,31 |
| P-valor | 0,66 | 0,72 | 0,34 |

Tabla 4: Características internas del fruto maduro: sólidos solubles totales (SST), acidez e índice de maduración (IM) tras la recolección de los árboles Control y los árboles sometidos a Déficit hídrico (RDC) en la fase II de crecimiento del fruto. Valores expresados como la media \pm el error estándar. P-valor < 0,05 indica diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

| Tratamientos | SST ($^{\circ}$ Brix) | Acidez (mg ác. málico/100mL) | IM |
|--------------|------------------------|------------------------------|------------------|
| Control | 13,43 \pm 0,07 | 0,54 \pm 0,08 | 24,87 \pm 4,09 |
| RDC | 14,48 \pm 0,31 | 0,41 \pm 0,03 | 35,32 \pm 2,95 |
| P-valor | 0,02 | 0,24 | 0,13 |

Tabla 5: incidencia de las principales fisiopatías: mancha púrpura ($\text{kg} \cdot \text{árbol}^{-1}$) y rajado del fruto ($\text{kg} \cdot \text{árbol}^{-1}$) para el Control y Déficit hídrico (RDC) en la fase II de crecimiento del fruto. Valores expresados como la media \pm el error estándar. P-valor < 0,05 indica diferencias estadísticamente significativas

| Tratamientos | Mancha púrpura ($\text{kg} \cdot \text{árbol}^{-1}$) | Rajado del fruto ($\text{kg} \cdot \text{árbol}^{-1}$) |
|--------------|--|--|
| Control | 0,45 \pm 0,12 | 13,57 \pm 2,36 |
| RDC | 0,73 \pm 0,29 | 8,05 \pm 1,98 |
| P-valor | 0,41 | 0,15 |

5. Discusión

La precocidad de la cosecha de níspero japonés es un factor determinante en la rentabilidad del cultivo, ya que una entrada en el temprana en el mercado aumenta los ingresos percibidos por los agricultores. En este sentido, el estudio realizado evalúa la eficacia de una técnica de manejo del agua de riego basada en la aplicación de una estrategia de RDC en precosecha para mejorar la rentabilidad del cultivo al anticipar el cambio de color del fruto y con ello adelantar la recolección del fruto.

La aplicación de un déficit hídrico durante la fase II de crecimiento del fruto causó cambios en el estado hídrico del cultivo, ya que presentaron un Ψ_{tallo} menor respecto a los árboles Control (Figura 2A). En éstos últimos, el Ψ_{tallo} nunca descendió de -1 MPa, valor similar al que Ballester et al., (2018) obtuvieron en el níspero japonés cv. Algeria cultivado en las mismas condiciones y con una pluviometría similar. El estado hídrico evaluado sobre los frutos mediante el Ψ_{fruto} muestra una respuesta más sensible al déficit hídrico que el Ψ_{tallo} . Los frutos de níspero japonés mostraron una respuesta más rápida a cambios en el estado hídrico en el suelo que el resto de la planta, al disminuir más rápidamente el Ψ_{fruto} al inicio del periodo de estrés, y su alivio debido a las lluvias y a la reanudación del riego provocó una rápida recuperación (Figura 2B). Por tanto, este indicador permite evaluar las variaciones de estado hídrico de una forma más inmediata puesto que refleja más rápidamente el efecto de la restricción y restitución del riego.

Respecto a los parámetros de intercambio gaseoso, el nivel de estrés hídrico alcanzado fue suficiente para reducir la conductancia estomática, pero no lo suficientemente severo como para afectar a la fotosíntesis neta (Figura 3). Estos resultados sugieren que, pese al haber restringido por completo el aporte hídrico, el estrés alcanzado por los árboles fue moderado, debido, probablemente, a la rusticidad de la especie y su buena adaptación al clima Mediterráneo (Llácer et al., 1995).

La tasa de crecimiento del fruto se redujo cuando se alcanzaron valores de Ψ_{tallo} inferiores a -1.30MPa ($\Delta\Psi \approx 0.30$ MPa inferior al control) y Ψ_{fruto} inferiores a -1.40MPa ($\Delta\Psi \approx 0.40$ MPa inferior al control). El efecto más importante de un estrés hídrico es la reducción del crecimiento, siendo especialmente sensible a él la expansión celular (Sánchez-Díaz y Aguirreolea, 2013). La reducción en el crecimiento del fruto en respuesta a un estrés hídrico puede estar asociada con cambios en el estado hídrico del árbol, que conllevó a la disminución del estado hídrico del fruto ocasionado por la translocación de agua de la fruta hacía las hojas que transpiran. Con ello la pérdida de turgencia en la fruta provocó la disminución de su peso

fresco (Figura 2B). Pero debido a la reposición de las necesidades hídricas y a las precipitaciones registradas, el estado hídrico del fruto se recuperó rápidamente, lo que permitió un crecimiento compensatorio del fruto (Figura 4), que evitó que el tamaño final del fruto se viera afectado, ni consecuentemente, la distribución de calibres y el rendimiento productivo de los árboles (Tabla 2 y 3). Estos resultados concuerdan con resultados previos obtenidos en níspero japonés en los que el diámetro final del fruto no se vio afectado como consecuencia de un déficit hídrico en la fase II de crecimiento del fruto (Cañete et al, 2009; Hueso et al. 2013). En otros frutales, en los que se aplicó un déficit hídrico en la fase de crecimiento lineal del fruto, también se observó un crecimiento compensatorio del fruto tras la recuperación del estado hídrico, por lo que en estos casos el tamaño del fruto tampoco se vio reducido por efecto del riego deficitario (Caspari et al., 1994; Chalmers et al., 1984).

El estrés hídrico durante la fase II de crecimiento del fruto causó alteraciones en los procesos de cambio de color del fruto (Figura 4). Estos cambios se observaron, principalmente, en la coordenada Hunter 'a' que es la que mejor refleja el cambio de color del níspero al indicar colores comprendidos entre el verde (fruto inmaduro) hasta rojo (fruto maduro), los frutos sometidos al déficit hídrico perdieron con anterioridad la coloración verde y empezaron a cambiar a tonos naranjas característicos de la maduración, por lo que el cambio de color se adelantó. En estudios realizados en Almería, en níspero japonés cv. *Algerie* sobre patrón membrillero sugieren que se podría adelantar el cambio de color mediante estrés hídrico durante la precosecha (Hueso y Cuevas, 2008; Cañete et al, 2009). Este efecto sobre el cambio de color también se ha observado de un modo similar en otras especies Rosáceas, en las que la aplicación de un déficit hídrico durante la fase de crecimiento del fruto también provocó un adelanto en el cambio de coloración del fruto (Mpelasoka et al., 2000 y 2001; Gelly et al., 2004).

A nivel productivo, la aplicación de un RDC precosecha consiguió aumentar la precocidad en el cultivo de níspero japonés al iniciarse la recolección de los frutos dos semanas antes que en los árboles Control (Figura 5) y recolectarse una mayor cantidad de frutos precoces (Tabla 2). En estudios realizados en níspero cv. *Algerie* se sugiere que se podría adelantar el cambio de color, y consecuentemente la recolección del fruto de níspero mediante un déficit hídrico durante la precosecha (Hueso y Cuevas, 2008; Cañete et al, 2009). No obstante, otros estudios en níspero japonés no consiguieron el adelanto en la recolección deseado (Stelfeld et al., 2011). La respuesta errática de estos últimos estudios indica la importancia de la variedad, el patrón y las condiciones ambientales.

Además, la aplicación de un RDC precosecha tuvo un impacto directo en la mejora de la maduración interna del fruto y en los parámetros de calidad comercial. El estrés hídrico impuesto provocó un incremento en la concentración de SST en la pulpa (Tabla 4). El valor mínimo de SST que debe contener el fruto del níspero japonés según los estándares comerciales es de 10º Brix (Besada et al., 2011), por lo que la aplicación de un déficit hídrico durante la fase de crecimiento del fruto incidió directamente en la calidad, al producir un aumento en los º Brix acumulados (Tabla 4). Estos resultados están en consonancia con los obtenidos por Cañete et al. (2009) y Hueso et al. (2013) en níspero japonés, en los que un estrés hídrico precosecha causó un aumento en SST. En otros cultivos, también se ha utilizado RDC precosecha para mejorar la calidad interna del fruto (Pérez-Pérez et al., 2009; Kili et al., 1996).

El empleo de RDC en precosecha no tuvo efecto sobre la incidencia de frutos afectados por las dos fisiopatías más importantes del cultivo de níspero japonés, la mancha púrpura y el rajado (Tabla 5), a pesar de que las dos están relacionadas con cambios en las relaciones hídricas de los frutos (Gariglio et al., 2002). La mancha púrpura es una alteración fisiológica que afecta a la epidermis del fruto que se deshidrata y muere. Los cultivares más precoces presentan una mayor incidencia (Agustí y Reig, 2006), lo que sugiere que la incidencia de la mancha púrpura está más relacionada con factores varietales que con el déficit hídrico aplicado. El rajado del fruto de níspero japonés se produce por un aumento considerable de la tasa de crecimiento de la pulpa debido a la absorción de agua, que supera la capacidad de flexión de la piel que se rompe apareciendo grietas (Agustí y Reig, 2006). La precipitación en la fase final del desarrollo del fruto es uno de los principales desencadenantes de esta alteración también en otros cultivos como el cerezo, el manzano o los cítricos (Opara et al., 1997). En este caso, la elevada precipitación registrada durante la fase de maduración de los frutos, que provocó una elevada cantidad de frutos rajados, tuvo un mayor efecto que el déficit hídrico sobre la incidencia de esta fisiopatía.

Por tanto, la implementación de un RDC precosecha supone la adopción de una técnica sostenible desde un punto de vista medioambiental y económico. Por una parte, con esta estrategia de riego, se consiguió una reducción sustancial del agua de riego aportada (17 %) respecto al Control. Por otra parte, desde un punto de vista económico, esta estrategia consiguió aumentar la rentabilidad del cultivo, ya que en el níspero japonés la variación del precio de la fruta decrece semanalmente durante las 5-6 semanas que dura la campaña por lo que el avance en dos semanas la recolección, debido al adelanto del cambio de color, repercute directamente en el precio percibido por los agricultores.

6. Conclusión

A la vista de los resultados obtenidos, se puede concluir que la aplicación de una estrategia de RDC en la fase II de crecimiento del fruto de níspero indujo un estrés hídrico moderado que anticipó la recolección de los frutos al avanzar el cambio de color y maduración del fruto.

Además:

1. Aumentó la calidad interna del fruto y no se relacionó con las alteraciones fisiológicas.
2. No modificó el tamaño final del fruto por lo que no redujo el rendimiento de la cosecha.
3. El RDC en precosecha es una estrategia sostenible y rentable, ya que supuso un beneficio medioambiental al reducir el volumen de agua aplicada, y mejoró la rentabilidad del cultivo al anticipar la cosecha.

7. Bibliografía

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9).
- Alós, E., Martínez-Fuentes, A., Reig, C., Mesejo, C., Rodrigo, M.J., Agustí, M. (2017). Ethylene biosynthesis and perception during ripening of loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl.). *Journal of Plant Physiology*, 210: 64-71.
- Alós, E., Martínez-Fuentes, A., Reig, C., Mesejo, C., Zacarías, L., Agustí, M., Rodrigo, M.J. (2019). Involvement of ethylene in color changes and carotenoid biosynthesis in loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl. cv. Algerie). *Postharvest Biology and Technology*, 149: 129-138.
- Agustí, M. y Reig, C. (2006). Fisiología. En: M. Agustí, C. Reig y P. Undurraga (Eds.), *El cultivo del níspero japonés*. Gráficas Alcoy, Alcoy, pp 97-129.
- Agustí, J., Zapater, M., Iglesias, D. J., Cercós, M., Tadeo, F. R., Talón, M. (2007). Differential expression of putative 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenases and abscisic acid accumulation in water stressed vegetative and reproductive tissues of citrus. *Plant Science*, 172(1): 85-94.
- Agustí, M. (2008). Crecimiento y maduración del fruto. En: Azcón J. y Talón M.(Eds.), *Fundamentos de fisiología vegetal (2ª ed.)*. Ed. McGraw-Hill y Ed. UB, Madrid, pp 519-536.
- Agustí, M. (2010). Fruticultura. Ed. Mundi Prensa, Madrid.
- Badenes, M., Janick, J., Zhang, Z., Liang, G., Wang, W. (2013). Breeding loquat. *Plant Breeding Reviews*, 259-289.
- Ballester, C., Buesa, I., Soler, E., Besada, C., Salvador, A., Bonet, L., Salvador, A., Intrigliolo, D.S. (2018). Postharvest regulated deficit irrigation in early and intermediate-maturing loquat trees. *Agricultural Water Management*, 1-8.
- Behboudian, M., Mills, T. (1997). Deficit irrigation in deciduous orchards. *Horticultural Review*, 21: 105-131.
- Besada, C., Gil, R., Navarro, P., Soler, E. and Salvador, A. (2011). Physiological characterization of 'Algeri' loquat maturity: external colour as harvest maturity index. *Acta horticulturae*, 887:351-356
- Blumenfeld, A. (1980). Fruit growth of loquat. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 105: 747-750.
- Calabrese, F. (2006). Origen de la especie. A M. Agustí, C. Reig, P. Undurraga, *El cultivo del níspero japonés* (p. 17-25). Alcoi: Gráficas Alcoi.

- Cañete, M.L., Hueso, J.J., Pinillos, V., Cuevas, J. (2009). Riego deficitario controlado en níspero japonés: efecto sobre la calidad del fruto. *Acta horticulturae*, 54: 214-219.
- Caspari, H. W., Behboudian, M., Chalmers, D. J. (1994). Water Use, Growth, and Fruit Yield of 'Hosui' Asian Pears under Deficit Irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science* *jashs*, 119(3): 383-388.
- Caspari, H.W., Behdoudian, M.H., Chalmers, D.L., Clothier, B.E., Lenz, F.(1996). Fruit characteristics of "Hosui" Asian pear after deficit irrigation. *Horticultural Science*, 31(1): 162.
- Castellarin, S., Matthews, M., Di Gaspero, G., Gambetta, G.A. (2007). Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. *Planta*, 227: 101-112.
- Cautín, R., Castro, M., Reig, C., Agustí, M. (2006). Técnicas de cultivo. En: M. Agustí, C. Reig y P. Undurraga (Eds.), *El cultivo del níspero japonés*. Gráficas Alcoy, Alcoy, pp 163-206.
- Chalmers, D.J., Mitchell, D., VanHeek, L. (1981). Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density and summer pruning. *J.Am. Soc. Hort.Sci.*, 106:307-312.
- Chalmers, D.J., Mitchell, P.D., Jerie, P.H. (1984). The physiology of growth control of peach and pear trees using reduced irrigation. *Acta Horticulturae*, 146:143-149.
- Cuevas, J., Salvador-Sola, F., Gavilan, J., Lorente, N., Hueso, J. (2003). Loquat fruit sink strength and growth pattern. *Sci Hortic.*, 68:131-137.
- Cuevas, J., Hueso, J.J., Rodríguez, M.C. (2008). Deficit irrigation as a tool manipulating flowering date in loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.). *Agricultural Water Management*, 237-253.
- Cuevas, J., Pinillos, V., Cañete, M., González, M., Alonso, F., Fernández, M.D. y Hueso, J.J.(2009) Optimal levels of postharvest deficit irrigation for promoting early flowering and harvest dates in loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.). *Agricultural Water Management*, 96:831-839.
- Deluc, L. G., Grimplet, J., Wheatley, M. D., Tillett, R. L., Quilici, D. R., Osborne, C., Cramer, G.R. (2007). Transcriptomic and metabolite analyses of Cabernet Sauvignon grape berry development. *BMC genomics*, 8(1): 429.
- Deluc, L. G., Quilici, D. R., Decendit, A., Grimplet, J., Wheatley, M. D., Schlauch, K. A., Cramer, G. R. (2009). Water deficit alters differentially metabolic pathways affecting important flavor and quality traits in grape berries of Cabernet Sauvignon and Chardonnay. *BMC genomics*, 10(1): 212.

- Ebel, R.C., E.L. Proebsting, and M.E. Patterson. (1993) . Regulated deficit irrigation may alter apple maturity, quality, and storage life. *HortScience*, 28:141– 143.
- Fernández, M.D.; Hueso, J.J.; Cuevas, J. (2010). Water stress integral for successful modification of flowering dates in 'Algerie' loquat . *Irrigation Science*, 28:127.
- Gariglio, N., Castillo, Á., Juan, M., Almela, V., Agustí, M. (2002). El níspero japonés: técnicas para mejorar la calidad del fruto. Valencia: Generalitat Valenciana: Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación .
- Gariglio N. 2006. Ecofisiología del níspero, en 'El cultivo del níspero japonés'. En: M. Agustí, C. Reig y P. Undurraga (Eds.), *El cultivo del níspero japonés*. Gráficas Alcoy, Alcoy, pp 73-95.
- Gelly, M.; Recasens, I.; Girona, J.; Mata, M.; Arbones, A.; Rufat, J.; Marsal, J. (2004). Effects of stage II and postharvest deficit irrigation on peach quality during maturation and after cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84 (6):561-568.
- Huang XM, Huang HB, Gao FF (2000) The growth potential generated in citrus fruit under water stress and its relevant mechanisms. *Sci Hortic.*, 83:227–240.
- Hueso, J.J y Cuevas, J. (2008). Loquat as a crop model for successful deficit irrigation. *Irrigation Science*, 26(3): 269-276.
- Hueso, J.J.; Alonso, F.; Cañete, M.L. González, M.; Pinillos, V; Cuevas, J. (2013). The combination of pre-and post-harvest deficit irrigation improves loquat fruits earliness and performance at packaging house. *Acta horticulturae*, 229: 275-280.
- Jimenez-Cuesta, M., Cuquerella, J., Martinez-Javega, J. M. (1981). Determination of color index for citrus degreening. *Proceedings of the International Society of Citriculture*, 2: 750–753.
- Kim, J., Lee, J.G., Hong, Y., Lee, E.J. (2019) Analysis of eight phytohormone concentrations, expression levels of ABA biosynthesis genes, and ripening-related transcription factors during fruit development in strawberry. *J. Plant Physiology*, 239: 52-60.
- Kilili, A.W.; Behboudian, M.H.; Mills, T.M. (1996). Composition and quality of 'Braeburn' apples under reduced irrigation. *Scientia Horticulturae*, 67 (1):1-11.
- Koyama, K., Sadamatsu, K., Goto-Yamamoto, N. (2010). Abscisic acid stimulated ripening and gene expression in berry skins of the Cabernet Sauvignon grape. *Functional & integrative genomics*, 10(3): 367-381.
- Liguori, G., Barone, E., Farina, V., Ingelese, P. (2015). 1-Methylcyclopropene delays ripening and improves postharvest quality of white and fresh loquat. *Acta Horticulturae.*, 1092:153-158.

- Lin, S., Sharpe, R., Janick, J. (1999). Loquat: botany and horticulture. *Horticultural review*, 23:233-275.
- Lin, S. (2007). World loquat production and research with special reference to China. *Acta Horticulturariae*, 750:37-43.
- Llácer, G., Aksoy, U., Mars, M. (1995). Underutilized fruit crops in the Mediterranean region. *Cahiers Options Méditerranéenne*
- Llácer, A. (2008). Situación actual, problemas y perspectivas del níspero japonés en España. *Vida Rural*, 70-72.
- Loomis, R.S., (1983). Crop manipulation for efficient use of water: an overview. In: Taylor, H.M., Jordan, W.R., Sinclair, T.R. (Eds.), *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production*. Am. Soc. Agron., Madison, pp. 345-364.
- MAPA. (2019). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Consultado el 14 / 06 / 2019, Encuesta de Superficies y producciones anuales de cultivo: <https://www.mapa.gob.es/ca/estadistica/temas/estadisticasagrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/>.
- Martinez-Calvo, J., Badenes, M.L., y Llácer, G. (2000). Descripción de variedades del níspero japonés. Ed. Generalitat Valenciana, Valencia.
- Mesejo C., Gambetta G., Gravina, A., Martínez-Fuentes A., Reig C., Agustí M. (2012). Relationship between soil temperature and fruit color development of 'Clemenpons' Clementine mandarin (*Citrus clementina* Hort ex. Tan). *J Sci Food Agric.*, 92: 520-525.
- Mills, T. M., M. H. Behboudian, P. Y. Tan, and B. E. Clothier. (1994). Plant water status and fruit quality in 'Braeburn' apples. *HortScience*, 29: 1274-1278.
- Mills, T.M., Behboudian, M.H.; Clothier, B.E. (1996). Preharvest and storage quality of 'Braeburn' apple fruit grown under water deficit conditions. *New Zealand J. Crop Hort. Sci.*, 24: 159-166.
- Mitchell, D. and D.J. Chalmers. (1982). The effect of reduced water supply on peach tree growth and yields. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 107: 853-856.
- Mpelasoka, B.S.; Behboudian, M.H.; Green, S.R. (2000). Improvement of fruit quality and storage potential of 'Braeburn' apple through deficit irrigation. *J. Hort. Sci. Biotech.*, 75: 615-621.
- Mpelasoka, B.S.; Behboudian, M.H.; Mills, T.M. (2001). Effects of deficit irrigation on fruit maturity and quality of 'Braeburn' apple. *Scientia Horticulturae*, 90: 279-290.
- Morton, J. F., Dowling, C. F. (1987). Fruits of warm climates. Ed. Creative Resource Systems, Miami.

- Opara, L.U.; Studman, C.; Banks, N. (1997). Fruit skin splitting and cracking. *Horticultural reviews*, 19: 217-262.
- Pérez-Pérez, J.G., Robles, J.M., Botía, P. (2009). Influence of deficit irrigation in phase III of fruit growth on fruit quality in 'Lane late' sweet orange. *Agricultural Water Management*, 96: 969-974.
- Reig, C. y Agustí, M. (2006). Morfología y anatomía. En: M. Agustí, C. Reig y P. Undurraga (Eds), El cultivo del níspero japonés. Gráficas Alcoy, pp 49-72.
- Reig, C.; Mesejo, C., Martínez-Fuentes, A.; Iglesias, D. J.; Agustí, M. (2013). Fruit Load and Root Development in Field-Grown Loquat Trees (*Eriobotrya japonica* Lindl). *Journal of Plant Growth Regulation*, 32(2): 281-290.
- Reig, C., Martínez-Fuentes, A., Mesejo, C., Rodrigo, M., Zacarías, L., Agustí, M. (2016). loquat fruit lacks a ripening-associated autocatalytic rise in ethylene production. *J. Plant Growth Regul.*, 35:232-244.
- Rodríguez, A. (1983). El cultivo del níspero y el Valle de Algar-Guadalest. Ed. Callosa d'en Sarrià: Sociedad Cooperativa de Crédito, Callosa de Ensarrià.
- Sánchez-Días, M., Aguireolea, J. (2008). Absorción de agua por la raíz y transporte del xilema. Balance hídrico de la planta En: Azcón J. y Talón M. (Eds.), *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed.). Ed. McGraw-Hill y Ed. UB, Madrid, pp 57-80.
- Scholander P.F., Hammel H.T., Bradstreet E.D., Hemmingsen, E.A. (1965). Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148: 339-346.
- Symons, G.M., Chua, Y.J., Ross, J.j., Quatternden, L.J., Davies, N.W., Reid, J.B. (2012) Hormonal changes during non-climateric ripening in strawberry. *J. Exp. Bot*, 63: 4741-4750.
- Soler, E.; Martínez-Calvo, J.; Llácer, G. Badenes. M.L. (2007). Loquat in Spain: production and marketing. *Acta Horticulturae*, 750: 45- 47.
- Solomakhin, A. A., Blanke, M. M. (2007). Overcoming adverse effects of hailnets on fruit quality and microclimate in an apple orchard. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(14): 2625-2637.
- Stellfeldt, A.; Cuevas, J.; Hueso, J.J. (2011). Preharvest irrigation cutoffs during stage II increase water savings and profits in Algeria loquat. *Acta horticulturae*, 322: 303-309.
- Stellfeldt, A.; Hueso, J.J.; Cuevas, J. (2014). Preflowering and preharvest deficit irrigation effects on loquat phenology. *Acta horticulturae.*, 1038: 639-645.

- Tadeo, F.R., Gómez-Cádenas, A. (2008). Fisiología de la planta y el estrés. En: Azcón J. y Talón M.(Eds.), *Fundamentos de fisiología vegetal (2ª ed.)*. Ed. McGraw-Hill y Ed. UB, Madrid, pp 577-598.
- Uthaibutra, J. Gemma, H. (1991). Changes in abscisic acid content of peel and pulp of 'Jonagold' apples during pre- and post-harvest periods. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 60: 443-448.
- Vendrell, M. and Buesa.C. (1989). Relationship between abscisic acid content and ripening of apples. *Acta Hort*, 258: 389-96.
- Von Caemmerer, S. V., Farquhar, G. D. (1981). Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta*, 153(4):376-387.
- Wang, P., Zhang, B., Li, X., Xu, C., Yin, X., Shan, L., et al. (2010). Ethylene signal transduction element involved in chillomg injury in non-climateric loquat fruit. *J.Exp. Bot.* , 61:179-190.
- Zacarías, L.; Lafuente, M.T. (2008) Etileno, ácido abcísico y otros reguladores del desarrollo. En: Azcón J. y Talón M.(Eds.), *Fundamentos de fisiología vegetal (2ª ed.)*. Ed. McGraw-Hill y Ed. UB, Madrid, pp 445-465.

