

EFFECTO DE LA CARGA FRUTAL SOBRE EL ESTADO HÍDRICO DE PLANTAS DE OLIVO (*OLEA EUROPAEA* L.) CV. ARBEQUINA. UN ANÁLISIS DE LA PLASTICIDAD FENOTÍPICA DEL POTENCIAL HÍDRICO DE TALLO

Trentacoste, E. R.^{a*}, C.M. Puertas^a,

^a Estación Experimental INTA Junín. I. Bousquet s/nº, C.C. 78, Gral San Martín, 5570, Mendoza, Argentina. e-mail: etrecoste@correo.inta.gov.ar

RESUMEN

En frutales caducifolios se ha demostrado que la carga frutal podría alterar las relaciones hídricas de las plantas, mientras en olivo, estas relaciones han sido poco estudiadas y resultan de gran interés debido a su naturaleza vecera. Los objetivos fueron estudiar el efecto de la carga frutal sobre el potencial hídrico de tallo, conductancia estomática y tasa de fotosíntesis neta en ausencia de estrés hídrico y explorar la plasticidad fenotípica del estado hídrico de las plantas. En un monte intensivo de olivo, durante las estaciones 2007-08 y 2008-09 se seleccionaron en floración, plantas con similar volumen de copa y tres rangos de carga frutal: alta, media y baja carga. Con el riego se repuso el 100% de la ETC durante toda la estación, acorde al modelo de Pizarro y un $K_c = 0.68$. Quincenalmente se determinó el potencial hídrico de tallo al medio día (PHT), conductancia estomática y fotosíntesis neta. En cosecha los tratamientos fueron confirmados por la estimación directa del número de frutos por planta. La plasticidad fue cuantificada a través del índice de Finlay-Wilkinson, usando modelos lineales. En promedio para los dos años de estudio, los árboles con baja carga presentaron PHT significativamente más alto (-1,34 MPa) que plantas con media (-1,53 MPa) y alta carga (-1,48 MPa). También hubo diferencias entre estaciones, el PHT fue más alto en el ciclo 2007-08 (-1,30 MPa) que en el ciclo 2008-09 (-1,59 MPa). La carga frutal no afectó la conductancia estomática y la fotosíntesis neta. No hubo asociación entre el PHT y fotosíntesis, mientras, PHT se asoció linealmente con la conductancia estomática sólo para valores superiores a $200 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($P < 0,001$). La plasticidad fenotípica del PHT fue modificada por el nivel de carga, mostrando un rango de 0,76 (para árboles con baja carga) a 1,28 (para árboles con alta carga). La alta plasticidad del PHT en árboles con alta carga fue consecuencia de la respuesta en ambientes hídricamente más limitantes (PHT ambiental $\leq -1,4$ MPa). A su vez, los tres rangos de carga frutal mostraron similar plasticidad fenotípica de la conductancia estomática (1,01 en promedio) y de la tasa de fotosíntesis neta (1,03 en promedio). La alta plasticidad (o baja estabilidad) del PHT fue una cualidad indeseable en olivo por asociarse a bajos PHT en ambientes de bajo-PHT (i.e. menor contenido de agua del suelo y/o alto déficit de presión de vapor).

1. INTRODUCCION

1. Introducción

El conocimiento preciso del estado hídrico de planta es fundamental tanto para un ajuste de programaciones de riego basadas en el balance hídrico del suelo (Allen et al. 1998), como para la aplicación de estrategias de riego deficitario. El potencial hídrico de tallo a mediodía (PHT) ha demostrado ser un confiable indicador del estado hídrico de planta en cultivos de árboles deciduos (Goldhamer et al., 1999; Intrigliolo y Castel, 2004), como así también en olivo (Moriani y Fereres, 2002) dado su mayor sensibilidad frente a las distintas estrategias de riego y su menor variabilidad (Naor, 2006)

Estudios realizados en árboles deciduos han demostrado que la carga frutal podría alterar las relaciones hídricas de las plantas, observándose un efecto positivo de la carga frutal sobre la tasa de fotosíntesis de hoja y la conductancia estomática (Wunsche et al., 2000) y sobre la transpiración a nivel de planta (Mpelasoka et al., 2001). Sin embargo, el efecto de la carga sobre el potencial hídrico de tallo (PHT) en estudios previos no son conclusivos. Por ejemplo, Bussakorn et al., 2001 (en manzano); Marsal et al., 2003 (en duraznero) encontraron que la carga frutal disminuyó el PHT en árboles creciendo en ausencia de estrés hídrico o bajo estrés hídrico impuesto en alguna fase de crecimiento de los frutos. En otros estudios, Berman and DeJong, 1996, Naor, 2001 observaron que sólo plantas sometidas a restricciones hídricas el potencial hídrico fue función del nivel de carga frutal. Mientras, otro autores encontraron ausencia de efecto de la carga sobre el estado hídrico de las plantas, en ambas situaciones con y sin estrés hídrico (Conejero et al., 2009; Intrigliolo y Castel, 2007). En olivo, las relaciones entre carga frutal y PHT han sido poco estudiadas (Gucci et al., 2007) y podrían resultar de gran interés debido a la naturaleza vecera de la especie.

El olivo es considerado tolerante a estrés hídrico (Sofa et al., 2008). Esto ha permitido que el cultivo se desarrolle principalmente en ambientes áridos y semiaridos de distintas regiones del mundo y que en los últimos años hayan aparecido gran cantidad de investigaciones sobre la aplicación de estrategias de riego deficitario, (Iniesta et al., 2009). Sin embargo, la tolerancia a estrés hídrico podría ser afectada por las características del ambiente, duración e intensidad del estrés, etapa de desarrollo del cultivo, del genotipo y de la interacción genotipo x ambiente.

La plasticidad fenotípica (Bradshaw, 1965), inicialmente fue estudiada por mejoradores para explotar la interacción genotipo x ambiente (Vargas et al., 2001), en los últimos años ha comenzado a ser un tema central de ecólogos por la urgencia de predecir la respuesta de las especies al cambio global (Baquedano et al., 2008; Valladares et al., 2007). Nosotros proponemos, que el análisis del efecto de la carga frutal sobre el estado hídrico de las plantas desde la perspectiva de la plasticidad fenotípica podría permitir entender mejor los mecanismos involucrados en la tolerancia al estrés hídrico del olivo frente a cambios ambientales y hacer un mejor uso de indicadores de estado hídrico como el PHT, fundamental para un uso eficiente y sustentable del recurso agua (Conejero et al., 2010; Ortuño et al., 2009).

Los objetivos de este trabajo fueron estudiar el efecto de la carga frutal sobre el potencial hídrico de tallo, conductancia estomática y tasa de fotosíntesis neta en ausencia de estrés hídrico y explorar la plasticidad fenotípica del estado hídrico de las plantas

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Condiciones experimentales

El experimento fue realizado durante las estaciones 2007-2008 y 2008-2009 en un monte intensivo de olivo (cv. Arbequina) en Lavalle, Mendoza, Argentina. El riego fue por microaspersión con un microjets (37 lhs^{-1}) por planta, reponiendo el 100% de la evapotranspiración de cultivo estimado según el modelo de Pizarro (1996) y un $K_c = 0.68$ (Girona et al., 2002). Todos los árboles fueron irrigados con igual cantidad de agua

Tres tratamientos, baja, media y alta carga frutal, fueron establecidos en un diseño de bloques completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. La carga frutal fue definida en dos pasos. Primero, 200 plantas fueron inspeccionadas y clasificados en tres categorías nominales durante la floración. Después del cuaje de fruto, cuatro plantas con similar volumen de copa, fueron seleccionados para cada categoría. Segundo, las plantas asignadas a cada nivel de carga fueron confirmadas a través de la estimación directa del número de frutos en cosecha. La relación fuente-destino fue calculada como la relación entre el volumen de copa (m^3) y el número de frutos por planta.

2.2. Mediciones

El estado hídrico de las plantas fue asegurado por mediciones del potencial hídrico de tallo a mediodía medido quincenalmente usando cámara de presión tipo- Scholander. Se realizaron dos mediciones por planta, utilizando hojas sanas, totalmente expandidas y cercanas al tronco. Las hojas fueron encerradas en bolsas plásticas recubiertas por papel aluminio, al menos 90 minutos previos a la medición. Las mediciones fueron llevadas a cabo alrededor del mediodía solar y bajo días despejados.

Durante la primera estación de crecimiento la conductancia estomática (gs) y la fotosíntesis neta (Fn) fueron determinadas. Las mediciones fueron tomadas 42, 57, 77, 95, 118, 154 y 166 días después de plena floración (DDPF) a media mañana. La Fn y gs fueron medidas en 4 hojas por plantas, totalmente expuestas a la radiación solar.

Desde principios de diciembre fueron extraídas quincenalmente muestras de frutos para cuantificar la evolución del contenido y concentración de aceite y peso fresco de los frutos. En ambas estaciones la cosecha se realizó manualmente el 27 de mayo (191 DDPF), el rendimiento y sus componentes numéricos fueron determinados.

2.3. Plasticidad del estado hídrico de las plantas

La plasticidad del estado hídrico de las plantas fue examinada según la metodología propuesta por Finlay y Wilkinson (1963). Una regresión lineal entre el PHT de cada carga y el PHT medio para los tres niveles de carga en cada año (i.e. media ambiental) fue computado. El coeficiente de regresión ilustra la plasticidad fenotípica. El nivel de carga caracterizado por $b=1.0$ presenta plasticidad media, b significativamente mayor que 1 representa baja plasticidad fenotípica y b significativamente menor que 1, representa alta plasticidad fenotípica.

Debido a que las regresiones ordinarias requieren que X e Y sean no interdependiente y que no haya error en X, nosotros usamos regresiones por el modelo II (RMA).

3. RESULTADOS

3.1. Condiciones meteorológicas y carga frutal

La temperatura media del aire promedio en la dos estaciones de crecimiento fue similar (20.2 °C vs. 20.4 °C). La precipitación acumulada fue mayor durante la estación 2007-2008 (112.5 mm) que en 2008-2009 (44.4 mm).

En ambas estaciones de estudio fue posible seleccionar árboles con similar volumen de copa y los tres rangos de carga frutal inicialmente planteados. Mayores detalles sobre los resultados obtenidos a cosecha ver Trentacoste et al. (2010).

3.2. Cambios estacionales en los indicadores

En promedio para los dos años de estudio, los árboles con baja carga frutal presentaron PHT significativamente más bajo que plantas con media y alta carga, sin diferencias entre media y alta carga (Tabla 1). También se encontraron diferencias entre estaciones de crecimiento; a través de la carga frutal, el PHT fue significativamente más bajos en la estación 2007-2008 que en la estación 2008-2009 (Tabla 1).

Tabla 1. Estado hídrico de plantas de olivo caracterizado por el potencial hídrico de: tallo a mediodía (PHT), fotosíntesis neta promedio (Fn) y conductancia estomática promedio (gs) durante el crecimiento de frutos en olivos creciendo con tres rangos de carga frutal y similar volumen de copa.

	Número frutos fruits/tree	Volumen copa m ³	PHT prom MPa	Fn prom. μmol m ² s ⁻¹	gs prom mmol m ² s ⁻¹
Carga frutal					
Alta	29866	27,65	-1,48	12,8	224,9
Media	20994	25,95	-1,53	13,2	215,5
Baja	9268	24,08	-1,34	13,6	216,8
Año					
2007/08	18145	21,40	-1,30	12,9	219,1
2008/09	21939	30,38	-1,59	---	---
MDS(0.05)					
Carga	4974,4	ns	0,121	ns	ns
Año	ns	3,95	0,099	---	---
Interacción	ns	ns	ns	---	---

ns: no significativo (P < 0.05)

Analizando la evolución estacional del PHT, mínimas variaciones entre plantas con distintos niveles de carga se observó durante la estación 2007-2008 (Figura 1), el PHT estuvo en el rango de -0.86 a -1.59 MPa. Mientras, durante la estación 2008-2009, el PHT estuvo entre -1.13 a -2.04 MPa. A partir de los 89 DAFB el PHT de los árboles con media y alta carga fue significativamente más alto que en plantas con baja carga frutal. A partir de los 103 DAFB y hasta cosecha, media y alta carga presentaron PHT superiores a -1.6 MPa. Por otro lado, un descenso del PHT se observó al avanzar la estación de crecimiento, más marcado en plantas con media y alta carga frutal.

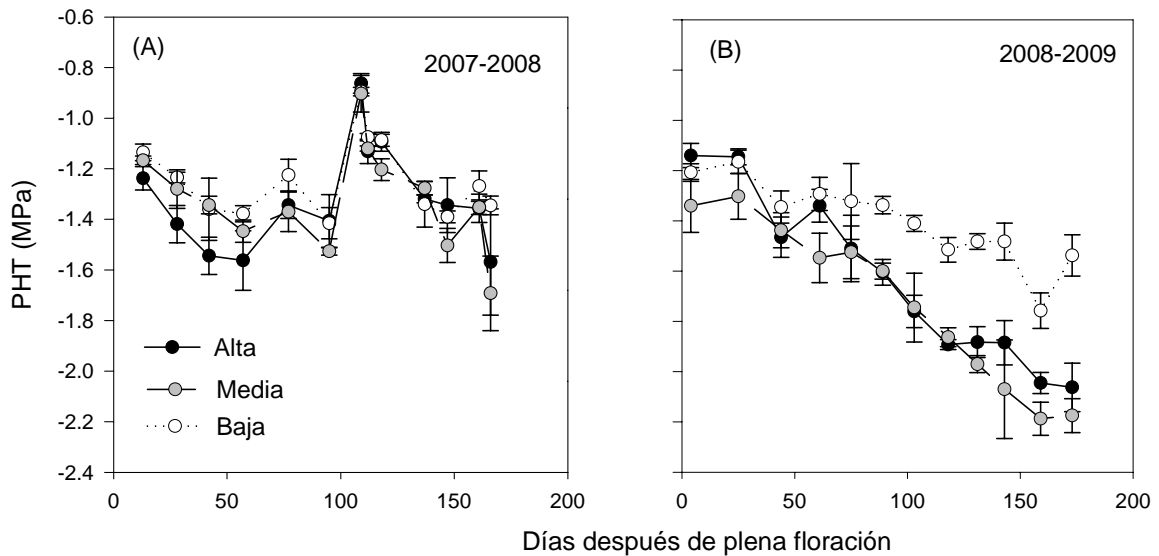
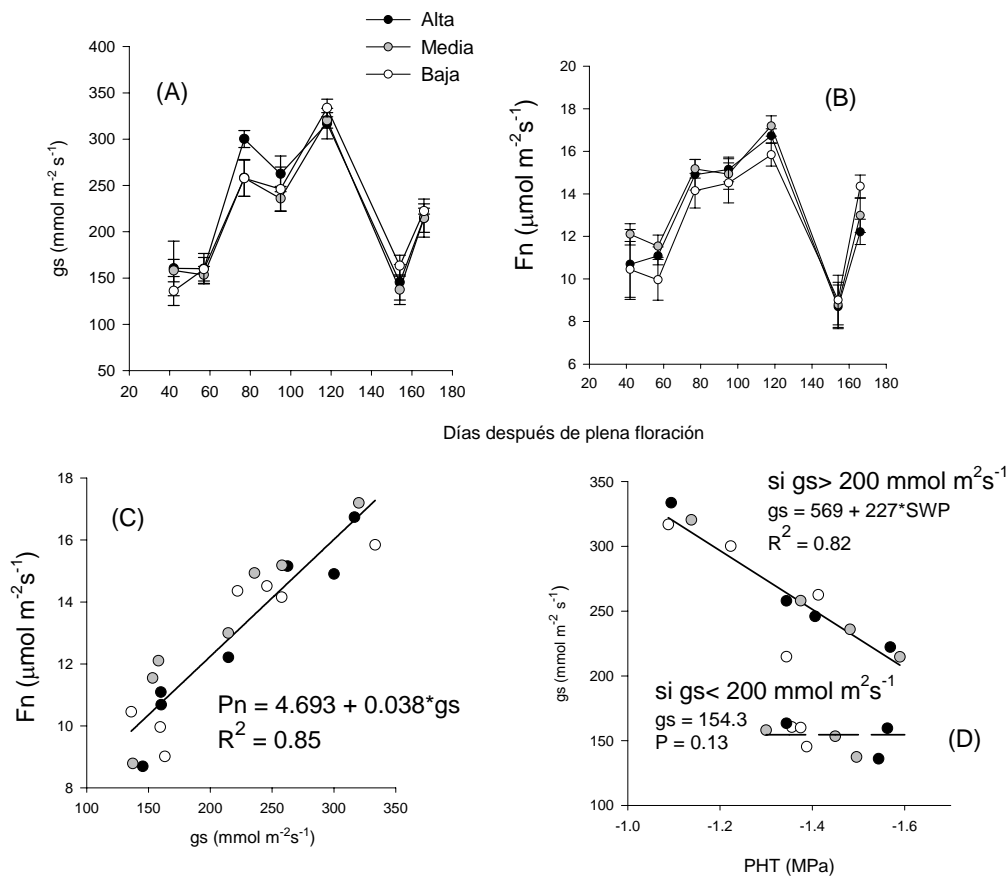


Figura 1. Cambios en el potencial hídrico de tallo en respuesta a tratamientos de carga frutal durante 2007-2008 (A), y 2008-2009 (B)

No hubo efecto de la carga frutal sobre la conductancia estomática y fotosíntesis neta durante la primera estación de crecimiento (Tabla 1, Figura 3). Por otro lado, agrupando los tres niveles de carga, las diferencias estacionales en F_n fueron ampliamente explicadas por el comportamiento de g_s ($P < 0.001$, Figura 3C).

El PHT no se asoció significativamente con F_n , mientras existió una estrecha relación lineal entre g_s y PHT sólo para valores de g_s superiores a $200 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($P < 0.001$, Figura 3D). Por debajo de este umbral, la conductancia estomática foliar fue insensible a los cambios en el potencial hídrico de tallo. Los días con g_s menores a $200 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (i.e. 42, 57 y 147 DAFB, Figura 3 A, D) estuvieron relacionados con la presencia de vientos con velocidades media diaria superior a 1.5 m s^{-1} .



Las líneas sólidas representan regresiones estadísticamente significativa; línea punteada indica tendencia cuando la regresión no fue significativa. Las regresiones fueron realizadas agrupando todos los datos, cada punto representa el promedio de 16 mediciones.

Figura 3. Patrón estacional (A) de la conductancia estomática abaxial (gs) y (B) fotosíntesis neta (Fn). Relación entre (C) Fn y gs y entre (D) gs y el potencial hídrico de tallo (PHT).

3.3. Plasticidad del PHT

La resolución del análisis de Finlay-Wilkinson para el potencial hídrico de tallo se presenta en la Figura 4. El análisis demostró que la RMA entre el PHT de cada nivel de caga a lo largo de la estación de crecimiento y para los dos años de estudio se asoció lineal y significativamente con el PHT ambiental.

Los árboles con media carga mostraron plasticidad fenotípica promedio, con intercepta y pendiente no diferente de 0 y 1, respectivamente. Mientras, los árboles con baja carga frutal presentaron baja plasticidad fenotípica (o alta estabilidad), con pendiente significativamente menor a 1 ($P > 0.001$) e intercepta no diferente de 0 ($P < 0.426$). La alta estabilidad fue consecuencia de un mejor estado hídrico de las plantas en ambientes hídricamente más limitantes (PHT ambiental < -1.4 MPa). El PHT de los árboles con alta carga presentó alta plasticidad fenotípica (o baja estabilidad) a variaciones en la disponibilidad de agua del suelo y a las condiciones ambientales, con pendiente significativamente mayor a 1 ($P > 0.001$) e

intercepta no diferente a 0 ($P = 0.449$). La alta plasticidad fue explicada principalmente por la respuesta de los árboles con alta carga en ambientes hídricamente más limitantes ($PHT_{amb} < -1.4$ MPa).

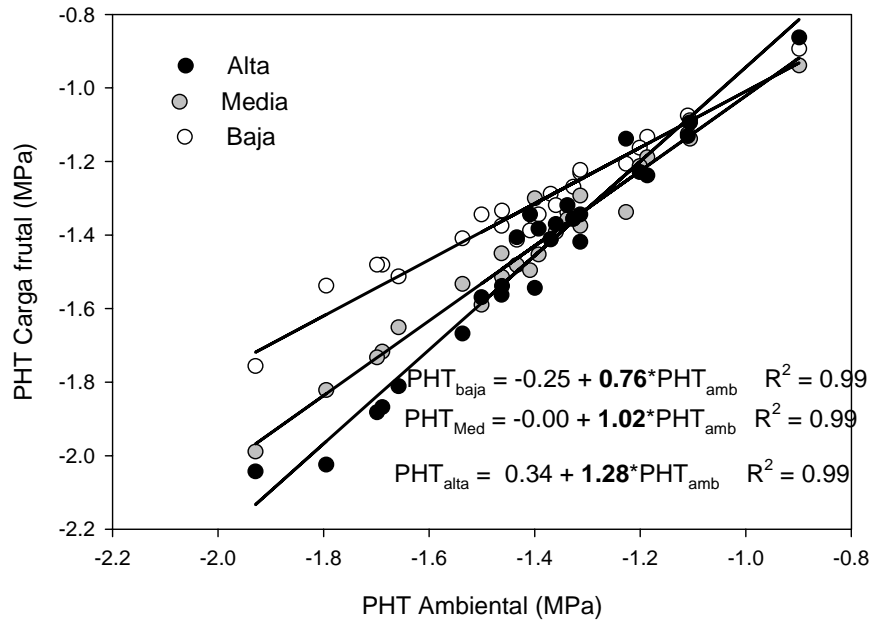


Figura 4. Variación de la plasticidad del potencial hídrico de tallo en plantas de olivo creciendo con distintos niveles de carga frutal

La resolución del método usado para capturar las diferencias en la plasticidad de la fotosíntesis y conductancia estomática para distintos niveles de carga durante la estación 2007-2008, se presenta en la Figura 5. Los tres rangos de carga frutal mostraron plasticidad fenotípica promedio, con pendiente no diferente de 1 ($P > 0.714$).

La plasticidad del PHT obtenido para cada nivel de carga frutal y en cada estación de crecimiento fue no relacionado ni con el PHT promedio (Figura 6C, $P = 0.469$), ni con la fotosíntesis neta ($P = 0.159$). En contraste, hubo una alta asociación con la conductancia estomática (Figura 6, D), con la relación fuente-destino (Figura 6, B), y con el rendimiento de frutos ($P = 0.041$) y sus componentes, número de frutos (Figura 6, A), peso fresco de fruto ($P = 0.031$), relación pulpa-carozo ($P = 0.0138$) y con el peso de aceite de los frutos (Figura 6, E).

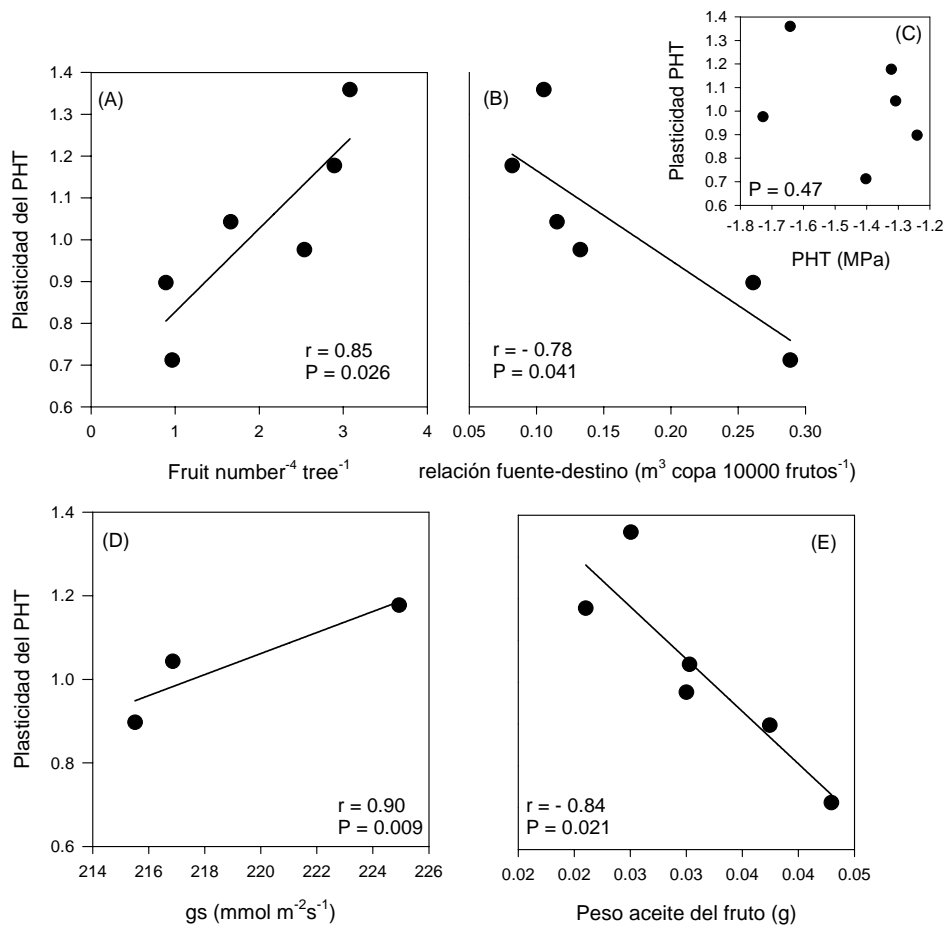


Figura 6. Eelación entre la plasticidad del potencial hídrico de tallo (PHT) y en número de frutos por árbol (A), relación fuente destino (B), PHT (C), conductancia estomática (D) y contenido de aceite del fruto (E) en olivo. La plasticidad es adimensional.

Por otro lado, la plasticidad del PHT fue negativamente asociada con la plasticidad del peso fresco de fruto y con la plasticidad del contenido de aceite y positivamente asociada con la plasticidad de la concentración de aceite de los frutos. Contrariamente, no fue significativa la relación entre la plasticidad del PHT la plasticidad de la conductancia estomática. Mientras, la relación plasticidad PHT vs. plasticidad Fn, si bien existió una clara tendencia positiva, tampoco fue significativa.

4. DISCUSIÓN

En los últimos años, en el cultivo del olivo, se han hecho avances para optimizar la programación de riego, principalmente determinando el coeficiente de cultivo (Kc) para distintas condiciones ambientales (Martínez-Cob y Faci, 2010) y ajustando el coeficiente de reducción (Kr) (Ferreles and Castel, 1981). Al mismo tiempo, un gran número de trabajos se han centrado en el uso de indicadores basado en planta para la determinación de líneas base (Moriani y Ferreres, 2004) y como herramientas de ajuste en tiempo real del programa de

riego utilizado (Fernández y Cuevas, 2010). Especialmente al implementarse estrategias de riego deficitarias en el cultivo (Fernández-Silva et al., 2010).

Mientras, las interacciones entre agua y carga frutal han sido poco consideradas en olivo (Ferreles y Soriano, 2007). Nosotros exploramos estas relaciones para determinar si el nivel de carga del monte es un factor a considerar en los umbrales basados en planta (Moriani y Fereres, 2004). En función de nuestros datos, si bien en condiciones de alta carga es esperable una reducción del potencial hídrico de tallo, esta reducción sólo es notable en condiciones subóptimas de riego, para nuestro experimento cuando no fue posible mantener las plantas con baja carga con PHT por encima de -1.4 MPa. En coincidencia con lo observado en otras especies frutales donde la carga sólo afectó el potencial hídrico de tallo cuando expusieron a las plantas a distintas condiciones de riego deficitario (Berman y DeJong, 1996, Naor, 2001).

Al igual que nuestros resultados, previamente en olivo, Proietti et al. (2006), encontraron que la carga frutal o la presencia o ausencia de frutos no influyeron sobre el intercambio gaseoso. La disminución del gs relacionada al PHT fue aparentemente sólo relacionada a valores de gs mayores a $200 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Olivo et al. (2009) encontraron en vid que no hubo asociación entre gs y PHT durante la fase I de crecimiento de la baya, para un rango de gs entre $0 - 200 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, sin embargo hubo una alta asociación en las fases II y III de crecimiento de la baya para un rango de gs entre $0 - 350 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, en consecuencia, la sensibilidad diferencial entre gs y PHT fue adjudicada a diferencia entre fases de desarrollo y no a un umbral de gs (Olivo et al., 2009). Por otro lado, la sensibilidad diferencial de gs al PHT (i.e. ajuste estomático) es influenciada por distintos factores ambientales (Marsal y Girona, 1997), específicamente nosotros encontramos interacción con la velocidad de viento, similar a lo observado por Shackel (2007) en vid.

Algunos autores han propuesto que la baja plasticidad es considerada una estrategia más adaptativa que alta plasticidad fenotípica en ambientes adversos, mientras plantas creciendo en ambientes favorables requieren mayor plasticidad para la especialización en estos ambientes (Valladares et al., 2000; Baquedano et al., 2008). Nuestros resultados soportan esta noción; si bien la ventaja comparativa de árboles con alta carga sobre el estado hídrico en ambientes hídricamente más favorables (superiores a -1.4 MPa), no sería tal, debido a que estas 'condiciones ambientales' son poco frecuentes para las condiciones de estudio, y en general para los ambientes donde se desarrolla el cultivo del olivo (Martínez-Cob y Faci, 2010), aún en ausencia de restricción hídricas.

Recientemente, Sadras et al. (2009) analizando la plasticidad *per se* en girasol, trigo y vid demostró que la baja plasticidad del rendimiento sólo resulta ventajosa en ambientes pobres pero es indeseable cuando está asociado con baja capacidad de capturar los beneficios en ambientes favorables, a similares conclusiones arribamos nosotros para la plasticidad del PHT en olivo.

Por otro lado, el olivo presentó plasticidad media para las variables relacionadas con el intercambio gaseoso en respuesta a un amplio rango de carga frutal, revelando el control estomático que presenta esta especie, y que previamente ha sido sugerido como la respuesta fisiológica responsable de la tolerancia al estrés hídrico del olivo (Sofa, 2006). Resulta importante remarcar que fenotípicamente el PHT *per se* y la plasticidad del PHT fueron no relacionados (Figura 6 C); en consecuencia demostramos que podría existir independencia del control genético específico de ambos caracteres (Bradshaw, 1965) en plantas de olivo.

Nosotros demostramos que el aumento en el número de frutos por planta o la disminución en la relación fuente-destino incrementan la plasticidad del PHT (Figura 6A, B), y en

consecuencia las plantas presentarían menor plasticidad adaptativa en ambientes hídricamente menos favorables, debido probablemente a un aumento en la conductancia estomática (Figura 6D).

Bradshaw (1965) propuso que la plasticidad de cualidades relacionadas podrían estar negativamente asociadas i.e. “principio jerárquico”. Este principio se comprobó entre la plasticidad del PHT y las plasticidades del peso fresco de fruto y contenido de aceite de fruto, dos variables altamente correlacionadas entre ellas y negativamente asociadas con el número de frutos (Trentacoste et al., 2010). En contraste, existió una alta correlación positiva entre plasticidad de PHT y plasticidad de la concentración de aceite de los frutos, variable no asociada al niveles de carga de las plantas (Trentacoste et al., 2010) y a priori no era esperable esta correlación. Similarmente, encontramos una correlación positiva entre plasticidad de PHT y plasticidad de Fn, aunque no significativa, cuando ambas variables *per se*, no presentaron asociación.

Ha sido sugerido que para el mejoramiento de las especies los actuales criterios de selección deberían considerar la plasticidad adaptativa, particularmente de las cualidades relacionadas al consumo de agua, debido a que potencialmente afectará la habilidad de las especies para responder al cambio climático (Nicotra y Davidson, 2010). Si bien el olivo es una especie, sólo recientemente sometida a planes de mejora, este trabajo puede servir en el futuro como herramienta para el mejoramiento del cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, P.; L. Pereira; D. Raes; M. Smith** (1998) *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 56. Rome, Italy: FAO
- Baquedano, F.J.; F. Valladares; F. Castillo** (2008) Phenotypic plasticity blurs ecotypic divergence in the response of *Quercus coccifera* and *Pinus halepensis* to water stress. *Eur J. Forest Res.* 127, 495-506.
- Berman, M.E.; T. M. DeJong, T.M.** (1996). Water stress and crop load effects on fruit fresh and dry weights in peach (*Prunus persica*). *Tree Physiology* 16, 859-864.
- Bradshaw, A.D.** (1965) *Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants*. *Adv. Genet.* 13, 115-155.
- Bussakorn, S.; B. Mpelasoka; M. Behboudian; T. Mills** (2001) *Water relations, photosynthesis, growth, yield and fruit size of 'Braeburn' apple: responses to deficit irrigation and crop load*. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 76, 150-156.
- Conejero, W.; M. Ortuño; C. Mellisho; A. Torrecillas** (2010) *Influence of crop load on maximum daily shrinkage referent equations for irrigation scheduling of early maturing peach trees*. *Agric. Water Manag.* 97, 333-338.
- Fereres, E.; J. R. Castel** (1981) *Drip Irrigation management*. Division of agricultural Science, University of California (Publication Leaflet 21259)
- Fereres, E.; M. A. Soriano** (2007). *Deficit irrigation for reducing agricultural water use*. *J. Exp. Botany* 58, 147-159.
- Fernandes-Silva, A.; T. Ferreira; C. Correia; A. Malheiro; F. Villalobos** (2010) Influence of different irrigation regimes on crop yield and water use efficiency of olive. *Plant Soil in press*.
- Fernández, J.E.; M. V. Cuevas** (2010) Irrigation scheduling from stem diameter variation: A review. *Agric. Forest Meteo* 150, 135-151.

- Finlay, K.W.; G. N. Wilkinson** (1963) *The analysis of adaptation in a plant breeding programme*. Aust. J. Agric Res. 14, 742-754.
- Girona, J.; M. Luna; A. Arbonés; M. Mata; J. Rufat; J. Marsal** (2002) Young olives trees responses (*Olea europaea* L. cv. Arbequina) to different water supplies. Water function determination. Acta Hort. 586, 277-280.
- Goldhamer, D.; E. Fereres; M. Mata; J. Girona; M. Cohen** (1999) *Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 124 (4), 437-444.
- Gucci, R.; L. Corelli Grappadelli; S. Tustin; G. Ravaglia** (1994) The effect of defruiting at different stages of fruit development on leaf photosynthesis of "Golden Delicious" apple. Tree Physiology 15, 35-40.
- Iniesta, F.; L. Testi; F. Orgaz; F. Villalobos** (2009). *The effects of regulated and continuous deficit irrigation on the water use, growth and yield of olive trees*. Eur. J. Agron. 30, 258-265.
- Intrigliolo, D.S.; J. R. Castel** (2004) *Continuous measurement of plant and soil water status for irrigation scheduling in plum*. Irrig. Sci. 23, 93-102.
- Intrigliolo, D.S.; J. R. Castel** (2007). *Crop load affects maximum daily trunk shrinkage of plum trees*. Tree Physiology 27, 89-96.
- Marsal, J.; J. Girona** (1997) *Relationship between leaf water potential and gas exchange activity at different phenological stages and fruit loads in peach trees*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 122, 415-421.
- Moriana, A.; E. Fereres** (2002) *Plant indicators for scheduling irrigation of young olive trees*. Irri. Sci. 21, 83-90.
- Moriana, A.; E. Fereres** (2004) *Establishing reference values of trunk diameter fluctuations and stem water potential for irrigation scheduling of olive trees*. Acta Hort. 664, 407-412.
- Mpelasoka, B.; M. Behboudian; S. Green** (2001) *Water use, yield and fruit quality of lysimeter-grown apple trees: responses to deficit irrigation and crop load*. Irri. Sci. 20, 107-113.
- Naor, A.** (2001) *Irrigation and crop load influence fruit size and water relations in field-grown 'Spadona' pear*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 126, 252-255.
- Naor, A.; Y. Gal; M. Peres** (2006) *The inherent variability of water stress indicators in apple, nectarine and pear orchards, and the validity of a leaf-selection procedure for water potential measurements*. Irri. Sci. 24, 129-135.
- Nicotra, A.B.; A. Davidson** (2010) *Adaptative phenotypic plasticity and plant water use*. Functional Plant Biol. 37, 117-127.
- Olivo, N.; J. Girona; J. Marsal** (2009) *Seasonal sensitivity of stem water potential to vapour pressure deficit in grapevine*. Irrig Sci 27, 175-182.
- Ortuño, M.; J. Brito; Y. García-Orellana; W. Conejero; A. Torrecillas** (2009) *Maximum daily trunk shrinkage and stem water potential referent equations for irrigation scheduling of lemon trees*. Irrig. Sci. 27, 121-127.
- Pizarro, F.** (1996) *Riegos localizados de alta frecuencia. Goteo, microaspersión y exudación*. Mundi-Prensa, Madrid.
- Proietti, P.; L. Nasini; F. Famiani** (2006) *Effect of different leaf-to-fruit ratios on photosynthesis and fruit growth in olive (Olea europaea L)*. Photosynthetica 44, 275-285.
- Sadras, V.; M. Reynolds; A. de la Vega; P. Petrie; R. Robinson** (2009) *Phenotypic plasticity of yield and phenology in wheat, sunflower and grapevine*. Field Crops Res. 110, 242-250.
- Shackel, K.A.**, 2007. *Water relations of woody perennial plant species*. J Int Sci Vigne Vin 41, 121-129.

- Sofa, A.; S. Manfreda; M. Fiorentino; B. Dichio; C. Xiloyannis** (2008) *The olive tree: a paradigm for drought tolerance in Mediterranean climates*. Hydrol. Earth Syst. Sci. 12, 293-301.
- Trentacoste, E.; C. Puertas; V. Sadras** (2010) Effect of fruit load on oil yield components and dynamics of fruit growth and oil accumulation in olive (*Olea europaea* L.). Eur. J. Agro. 32 249-254.
- Valladares, F.; S. Wright; E. Lasso; K. Kitajima; R. Pearcy** (2000) Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest. Ecology 81, 1925-1936.
- Vargas, M.; J. Crossa; F. Eeuwijk; K. Sayre; M. Reynolds** (2001) *Interpreting treatment×environment interactions in agronomy trials*. Agron. J. 93, 949–960.
- Wünsche, J.; J. Palmer; D. Greer** (2000) *Effects of crop load on fruiting and gas-exchange characteristics of “Braeburn”/M.26 apple trees at full canopy*. J. Amer. Soc. Hort. Sci.125, 93-99.