

X Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas



Herramientas para un uso eficiente del agua

Cartagena, 6-8 Octubre 2010

www.cebas.csic.es/webCongresoHispa/xsimposiumrrhh.html

**Libro de Actas y
Comunicaciones**



VIAS

Convoca:

Grupo de Relaciones Hídricas
Sociedad Española de Fisiología Vegetal
(SEFV)

Organización

Unidad Asociada al CSIC de
Horticultura Sostenible en Zonas Áridas
(UPCT-CEBAS)

Comité organizador

- Presidente:** Arturo Torrecillas Melendreras (CEBAS-CSIC, UPCT)
atorreci@cebas.csic.es
- Vocales:** Wenceslao Conejero Puente (CEBAS-CSIC)
wenceslao@cebas.csic.es
- Rafael Domingo Miguel (UPCT)
rafael.domingo@upct.es
- M^a Fernanda Ortuño Gallud (CEBAS-CSIC)
mfortuno@cebas.csic.es
- Alejandro Pérez Pastor (UPCT)
alex.perez-pastor@upct.es
- Secretaria:** M^a del Carmen Ruiz Sánchez (CEBAS-CSIC)
mcr Ruiz@cebas.csic.es

Patrocinios

Ministerio de Ciencia e Innovación

Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Universidad Politécnica de Cartagena

Sociedad Española de Fisiología Vegetal

Asamblea Regional de Murcia

Ayuntamiento de Cartagena

Fundación Séneca

Vías y Construcciones S.A. (Grupo ACS)

Sede

Best Western Hotel Alfonso XIII Sercotel

Paseo Alfonso XIII nº 40

30203 Cartagena, Murcia

968 520 000

ÍNDICE

Programa	1
Conferencias	7
Comunicaciones	
Sesión 1 -	53
Sesión 2 -	79
Sesión 3 -	97
Sesión 4 -	115
Sesión 5 -	143
Sesión 6 -	165
Pósteres -	181
Índice de autores	275



X SIMPOSIUM

X SIMPOSIUM HISPANO-PORTUGUÉS DE RELACIONES HÍDRICAS EN LAS PLANTAS

Herramientas para un uso eficiente del agua

Cartagena, 6-8 Octubre 2010

PROGRAMA

Martes, 5 de octubre

- 19:00 – 20:00 Registro y entrega de documentación.
Sede del Congreso: Hotel Alfonso XIII.
- 20:00 – 21:00 Tertulia-copa bienvenida. Salón Cartagonova. Hotel Alfonso XIII.
Moderadores: Dres. H. Medrano (IMEDEA) y R. Savé (IRTA).

Miércoles, 6 de octubre

- 8:00 – 9:30 Registro y entrega de documentación.
Sede del Congreso: Hotel Alfonso XIII.
- 9:30 – 10:00 Sesión de apertura. Salón de Actos de la ETSIA de la UPCT y
10:00 – 11:00 Conferencia Inaugural: "*Riegos ancestrales en las culturas
prehispanicas de los Andes*".
Dr. José Roldán (ETSIAM, Universidad de Córdoba).
- 11:30 – 12:00 Café. Sede del Congreso (Hotel Alfonso XIII).
- 12:00 – 13:30 Sesión 1. *Utilización de sensores de diámetro del tronco para el
manejo del riego*.
Moderadores: Alejandro Pérez-Pastor (UPCT) y Pedro Rodríguez
(INCA, Cuba).

12:00 – 12:15	<i>Relación entre la máxima contracción diaria y otros parámetros ecofisiológicos en cerezo para madera. Biel, C., Abdelfatah, A., de Herralde, F., Savé, R., Aranda, X.</i>
12:15 – 12:30	<i>El uso de la máxima contracción diaria del tronco como indicador en la programación del riego de la aceituna de mesa. Moriana, A., Girón, I., Corell, M., Moreno, F.</i>
12:30 – 12:45	<i>Efecto de la carga productiva sobre las relaciones hídricas del almendro. Puerto, P., Domingo, R., Solano, F.J., García, M., Pérez-Pastor, A., Torres, R.</i>
12:45 – 13:00	<i>New tools for regulated deficit irrigation scheduling in early maturing peach trees. Mellisho, C.D., Conejero, W., Ortuño, M.F., Moriana, A., Galindo, A., Moreno, F., Torrecillas, A.</i>
13:00 – 13:15	<i>Maximum daily trunk shrinkage and stem water potential baselines for irrigation scheduling of early maturing peach trees. Galindo, A., Mellisho, C.D., Conejero, W., Ortuño, M.F., Cruz, Z.N., Rodríguez, P., Torrecillas, A.</i>
13:15 – 13:30	<i>Líneas de referencia basadas en la máxima contracción diaria del tronco en nectarinos extratempranos. De la Rosa, J.M., Conesa, M.R., Domingo, R., Pagán, E., Corbalán, M., Pérez-Pastor, A.</i>

13:30 – 15:30 Almuerzo.

15:30 – 16:30 Sesión 2. *Relaciones hídricas en plantas arbustivas y forestales.*
Moderadores: Sebastián Bañón (UPCT) y José Dell'Amico (INCA, Cuba).

15:30 – 15:45	<i>Mecanismos de control estomático como herramienta de selección clonal orientada a mejorar la productividad de Eucalyptus globulus en el SO español.</i> <u>Pita, P.</u> , Montes, F., Pardos, J.A.
15:45 – 16:00	<i>Differences in leaf water potentials among four populations of European beech (Fagus sylvatica) under controlled conditions.</i> <u>Robson, T.M.</u> , Wang, F., Sánchez-Gómez, D., Aranda, I., Aphalo, P.J.
16:00 – 16:15	<i>Sex-related differences in water-use in two dioecious Mediterranean scrubs under summer stress.</i> <u>Díaz-Barradas, M.C.</u> , Correia, O., Álvarez-Cansino, L., Zunzunegui, M., Máguas, C.
16:15 – 16:30	<i>Drought stress and recovery in two contrasting Eucalyptus species.</i> Cano-Martín, F.J., Warren, C.R., <u>Aranda, I.</u>

16:30 – 17:30 Conferencia Invitada: “*Reducing the water footprint of fruit production*”.
Dr. Brent Clothier (Plant & Food Research, New Zealand).

17:30 – 17:45 Café.

17:45 – 18:45 Sesión 3. *Relaciones hídricas bajo condiciones de estrés abiótico.*
Moderadores: Juan José Irigoyen (UNAV) y M^a Jesús Sánchez Blanco (CEBAS-CSIC).

17:45 – 18:00	<i>Application of sewage sludge improves growth, photosynthesis and antioxidant activities of nodulated alfalfa plants under drought conditions.</i> <u>Sánchez-Díaz, M.</u> , Muro, I., Antolín, M.C.
18:00 – 18:15	<i>El sistema de doble maceta enterrada mejora el crecimiento y desarrollo de Rhamnus alaternus en condiciones de riego salino.</i> <u>Miralles, J.</u> , Martínez-Sánchez, J.J., Valdés, R., Sánchez-Blanco, M.J., Bañón, S.
18:15 – 18:30	<i>Efecto del riego con aguas regeneradas en el desarrollo, composición mineral y estado hídrico de plantas de Eugenia myrtiflora L.</i> Acosta, J.R., <u>Castillo, M.</u> , Álvarez, S., Bañón, S., Salcedo, F., Gómez-Bellot, M.J., Sánchez-Blanco, M.J.
18:30 – 18:45	<i>Assessing redox state and antioxidant changes under water stress conditions using Arabidopsis thaliana transformed with roGFP1 in two subcellular compartments.</i> <u>Brossa, R.</u> , Jubany-Marí, T., Alegre, L., Jiang, K., Feldman, L.J.

18:45 – 20:30 Visita turística guiada. Cartagena Puerto de Culturas.

Jueves, 7 de octubre

9:00 – 10:00 Conferencia Invitada: “*Deficit Irrigation in Mediterranean environment. What lessons have we learnt from grapevine studies?*”
Dra. Manuela Chaves (ITQB, Lisboa).

10:00 – 11:30 Sesión 4. *Relaciones hídricas en vid.*
Moderadores: J. M. Costa (ITQB, Portugal) y Diego Intrigliolo (IVIA).

10:00 – 10:15	<i>Dinámica de crecimiento radicular y efectos sobre el desarrollo de diferentes portainjertos de vid sometidos a dos regímenes hídricos.</i> de Herralde, F., Aranda, X., Biel, C., Savé, R.
10:15 – 10:30	<i>Influencia del mesoclima en el crecimiento y producción de Vitis vinifera ‘Carignan’ en la DOCa Priorat.</i> <u>Sánchez-Ortiz, A.</u> , Nadal, M., Lampreave, M., Viñas, T., Savé, R., de Herralde, F.
10:30 – 10:45	<i>Interés del ratio de discriminación isotópica del carbono en el fruto como parámetro integrador del estado hídrico del viñedo en zonas semiáridas.</i> <u>Santesteban, L.G.</u> , Miranda, C., Royo, J.B.
10:45 – 11:00	<i>New evidences relating the seasonal evolution of maximum daily trunk shrinkage with xylem vulnerability to embolism.</i> <u>Díaz-Espejo, A.</u> , Nicolas, E., Rodríguez-Domínguez, C., Pérez-Martín, A., Fernández, J.E., Cuevas, M.V., Torres-Ruiz, J.M.
11:00 – 11:15	<i>Estimação da transpiração da videira a partir da medição da temperatura da superfície da sebe com termómetro de infravermelhos.</i> <u>Rodrigues, P.</u> , Pedroso, V., Gouveia, J.P., Martins, S., Lopes, C., Alves, I.
11:15 – 11:30	<i>Efecto del estrés hídrico en la transpiración nocturna en Vitis vinifera.</i> <u>Escalona, J.</u> , Fuentes, S., Gallegos, J.M., Medrano, H.

11:30 – 12:00 Café.

12:00 – 13:30 Sesión 5. *Indicadores de estrés hídrico para el riego de frutales.*
Moderadores: José Enrique Fernández (IRNAS-CSIC) y Carme Biel (IRTA).

12:00 – 12:15	<i>Utilización de la temperatura de la cubierta vegetal como indicador de estrés hídrico en frutales.</i> Ballester, C., Jiménez-Bello, M.A., Castel, J.R., <u>Intrigliolo, D.S.</u>
12:15 – 12:30	<i>Intercepted radiation by apple canopy can be used as a basis for irrigation scheduling.</i> <u>Auzmendi, I.</u> , Mata, M., Lopez G., Girona, J., Marsal J.
12:30 – 12:45	<i>Índices de estrés hídrico basados en el contenido de agua en el suelo.</i> <u>Abrisqueta, I.</u> , Vera, J., Tapia, L.M., Munguía, J.P. Abrisqueta, J.M., Ruiz-Sánchez, M.C.
12:45 – 13:00	<i>Plant-based water stress indicators for monitoring citrus crop responses to deficit irrigation.</i> García-Tejero, I., Durán-Zuazo, V.H., Jiménez-Bocanegra, J.A., <u>Muriel-Fernández, J.L.</u>
13:00 – 13:15	<i>Turgor pressure-related measurements with the LPCP probe. An alternative to the use of the Scholander chamber?</i> <u>Fernández, J.E.</u> , Rüger, S., Rodríguez-Domínguez, C.M., Martín-Palomo, M.J., Torres-Ruiz, J.M., Cuevas, M.V., Ehrenberger, W., Diaz-Espejo, A., Pérez-Martín, A., Zimmermann, U.

13:30 – 15:30 Almuerzo.

15:30 – 16:30 Conferencia Invitada. “*El costo hídrico de fijar carbono en los ecosistemas forestales mediterráneos: limitaciones ambientales*”.
Dr. Carles Gracia (Universidad de Barcelona).

- 16:30 – 17:00 Café.
- 17:00 – 18:30 Mesa Redonda: “20 años del Grupo de Relaciones Hídricas de la SEFV”. Moderadora: Dra. Leonor Alegre Batlle (Universidad de Barcelona).
- 19:00 – 20:30 Recepción Oficial. Asamblea Regional de Murcia.
Entrega del VI Premio Nacional de Investigación en Relaciones Hídricas (Financiado por Vías y Construcciones S.A., Grupo ACS).
- 21:00 Cena social del Congreso. (Restaurante el Barrio de San Roque).

Viernes, 8 de octubre

- 9:00 – 10:00 Conferencia del VI Premio Nacional de Investigación en Relaciones Hídricas. “Programación del riego en melocotonero mediante el uso de sensores del diámetro del tronco”.
Dr. Wenceslao Conejero Puente (CEBAS-CSIC).
- 10:00 – 11:00 Sesión 6. *Uso eficiente del agua*.
Moderadores: Félix Moreno (IRNAS-CSIC) y M^a Fernanda Ortuño (CEBAS-CSIC).

10:00 – 10:15	<i>Estrategias de riego deficitario controlado en nectarino extratemprano</i> . de la Rosa, J.M., Conesa, M.R., Pagan, E., <u>Corbalán, M.</u> , Pérez-Pastor, A., Caro, M., González, P.
10:15 – 10:30	<i>Mejorar la eficiencia en el uso del agua, un reto para la Ecofisiología y la Biotecnología</i> . <u>Medrano, H.</u> , Pou, A., Tomàs, M., Martorell, S., Escalona, J.M., Gulias, J., Flexas, J.
10:30 – 10:45	<i>Sequía extrema en melocotonero: Efectos en la calidad del fruto</i> . <u>López, G.</u> , Girona, J., Marsal, J.
10:45 – 11:00	<i>Estudio de caracteres de resistencia a la sequía en Vicia sativa L.</i> <u>de Andrés, E.F.</u> , Sánchez, F.J., Zambrana, E., Cadórniga, C., Tenorio, J.L.

- 11:00 – 11:30 Sesión de Pósters.

P01	<i>Water use efficiency in Vitis vinifera cv. Tempranillo in a climate change simulation</i> . Salazar-Parra, C., Aguirreolea, J., Sánchez-Díaz, M., Irigoyen, J.J., Morales, F.
P02	<i>Aplicación de estrategias de riego deficitario controlado durante la fase de crecimiento rápido de fruto en naranjo navel ‘Lane late’</i> . Pérez-Pérez, J.G., Robles, J.M., García-Oller, M.I., Quinto, V., Frutos, J.M., Córdoba, F., Botía, P.
P03	<i>Condicionantes climatológicos para la determinación de una línea base en la programación del riego con dendrómetros en olivo</i> . Pérez-López, D., Gijón, M.C., Guerrero, J., Couceiro, J.F., Moriana, A.
P04	<i>Efectos del agua salina sobre el crecimiento y desarrollo de laurel en maceta bajo riego diario fraccionado</i> . Bañón, S., Miralles, J., Valdés, R., Conesa, E., Sánchez-Blanco, M.J.
P05	<i>Efectos del agua residual depurada sobre el crecimiento y la fotosíntesis de arbustos ornamentales: eficacia de su dilución con agua de riego</i> . Bañón, S., Miralles, J., Martínez J.A., Ochoa, J., Sánchez Blanco, M.J.
P06	<i>Genetic control of ecophysiological traits under water stress in a full-sib family of Pinus pinaster Ait.</i> De Miguel, M., Sánchez-Gómez, D., Cervera, M.T., Aranda, I.

X Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas

P07	<i>Efecto de la sequía, el elevado CO2 y la competencia intra- e interespecífica en las relaciones hídricas de 4 especies pratenses.</i> Miranda-Apodaca J, Pérez-López U, Robredo A, Lacuesta M., Mena-Petite A, Muñoz-Rueda A.
P08	<i>Respuesta al estrés hídrico del diámetro del tronco y del flujo de savia en un olivar en seto de alta densidad.</i> Rodríguez-Domínguez, C.M., Díaz-Espejo, A., Martín-Palomo, M.J. , Cuevas, M.V. , Pérez-Martín, A. , Torres-Ruiz, J.M. , Fernández, J.E.
P09	<i>Growth and photosynthetic responses in two genotypes of barley (Hordeum vulgare L.) to water stress.</i> Thameur, A., Lachiheb, B., Ferchichi, A.
P10	<i>Stimulating loss of dormancy in seeds of Digitaria sanguinalis using a transient thermal flux.</i> Rubio, C.M., Rodrigo, G., Mas, M.T., Ferrer, F., Josa, R., Verdú, A.M.
P11	<i>Intercomparación de tres Porómetros comerciales y aplicación de la guía de buenas prácticas de calibración en el modelo SC-1 (Decagon Devices).</i> Rodrigo, G., Cabot, O., Domene, M., Ferrer, F., Bissey, L., Cobos, D., Campbell, C.
P12	<i>Chickpea genotype adaptation to Mediterranean environment.</i> Simões, N., Duarte, I., Leopoldo, L.L., Lourenço, E., Chaves, M.M.
P13	<i>Aplicación de sistemas de monitorización del agua disponible en el suelo y de los consumos hídricos de la planta en el diseño de estrategias de riego en vid.</i> Escalona, J., Diego, M.A., Medrano, H.
P14	<i>Padrão de extracção de água do solo numa vinha da casta Touriga Nacional no “terroir” do Dão.</i> Rodrigues, P., Gouveia, J.P., Pedroso, V., Martins, S., Lopes, C., Alves, I.
P15	<i>Obtención de una pauta de riego eficiente para el cultivo del caqui (Diospyros kaki) empleando indicadores del continuo suelo-planta-atmósfera.</i> Bonet, L., Buesa, I., Ferrer, P.J., Intrigliolo, D.S.
P16	<i>Riego con aguas regeneradas en una especie halofita (Atriplex halimus L.). Efecto de las sales en la planta y suelo.</i> Castillo, M., Pedrero, F., Rodríguez, P., Broetto, F., Álvarez, S., Sánchez-Blanco, M.J.
P17	<i>Germinación y crecimiento de dos variedades de Medicago sativa en condiciones de estrés hídrico y salino.</i> Pedranzani, H., Castro-Luna, A., Ruiz, O., Quiroga, M.
P18	<i>Riego del pistachero con dosis mínimas; influencia del portainjerto.</i> Guerrero, J., Pérez-López, D., Couceiro, J.F., Rivero, A.M., Gijón, M.C.
P19	<i>Influencia del estado hídrico del suelo y la planta en la dinámica de nutrientes en hojas de melocotonero.</i> Quezada R., Munguía, J., Abrisqueta, I., Vera, J., Ruiz-Sánchez, M.C., Abrisqueta, J.M.
P20	<i>Respuesta al riego con agua salina de plantas de Liliun sp ‘Matrix’.</i> Salazar, G., Valdez, L., Tello, J., Quezada R., Munguía, J., Abrisqueta I., Ruiz-Sánchez, M.C.
P21	<i>Leaf ultrastructural and physiological responses during progressive drought and recovery of Vitis genotypes.</i> Costa, J.M., Cerqueira, R.C., Gomes, T., Leandro, A.R., Zarrouk, O., Pintó-Marijuan, M., Fernández, V., Amâncio, S., Chaves, M.
P22	<i>Monitorización del estrés hídrico en viña (cv tempranillo) con riego basado en dos umbrales de humedad del suelo (conveni urv-solfranc).</i> Oncins, J.A., Doix, S., Lampreave, M., Nadal, M., Rovira, R., Poyatos, R.
P23	<i>A combined selection of plant, soil and climate sensors are used to automated monitoring in plan ts of vitis vinifera to model and manage agricultural strategies to achieve a hig quality wine.</i> Rovira, R., Oncins, J.A., Giralt, L., Bocero, J.J.

11:30 - 12:00 Café.

X Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas

- 12:00 – 13:00 Conferencia de Clausura: “*Las relaciones hídricas, una herramienta para desarrollar una aproximación al funcionalismo de la agricultura mediterránea*”.
Dr. Robert Savé Montserrat (IRTA).
- 13:00 – 13:30 Reunión del Grupo de Relaciones Hídricas en las Plantas de la SEFV y la SPFV.
- 13:30 Despedida.

Conferencias

Conferencia Inaugural

"Riegos ancestrales en las culturas prehispánicas de los Andes"

Dr. José Roldán Cañas

Departamento de Agronomía

Universidad de Córdoba

Conferencia Invitada

"Reducing the Water Footprint of Fruit Production".

Dr. Brent Clothier

Production Footprints Team

Plant & Food Research

Palmerston North, New Zealand

Conferencia Invitada

"Deficit irrigation in Mediterranean environment. What lessons have we learnt from grapevine studies?"

Dra. Manuela Chaves

Laboratorio de Ecofisiología Molecular de Plantas

Instituto de Tecnología e Química Biológica (ITQB)

Oeiras, Lisboa

Conferencia Invitada

"El costo hídrico de fijar carbono en los ecosistemas forestales mediterráneos: Limitaciones ambientales".

Dr. Carles Gracia (Universidad de Barcelona)

Departament d' Ecologia, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona

CREAF, Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, UAB

Barcelona

Conferencia de Clausura

"Las relaciones hídricas, una herramienta para desarrollar una aproximación al funcionalismo de la agricultura mediterránea".

Dr. Robert Savé Montserrat

Unitat Operativa de Horticultura Ambiental

IRTA

Mesa Redonda

“20 años del Grupo de Relaciones Hídricas de la SEFV”

Moderadora: Dra. Leonor Alegre Batlle

Dpto. Biología Vegetal, Facultat de Biología

Universitat de Barcelona

Conferencia del VI Premio de Investigación en Relaciones Hídricas en las Plantas.

“Programación del riego en melocotonero mediante el uso de sensores del diámetro del tronco”.

Dr. Wenceslao Conejero Puente

Departamento de Riego del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, CEBAS

Agencia Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC

Murcia

RIEGOS ANCESTRALES EN LAS CULTURAS PREHISPÁNICAS DE LOS ANDES

José Roldán Cañas

Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba. Córdoba, España

jroldan@uco.es

INTRODUCCIÓN

El riego en las zonas andinas constituye, sin duda, una práctica muy antigua. En ellas, los campesinos lograron, durante siglos, aprovechar las aguas de los ríos, lagunas y manantiales para complementar o suplir el régimen de precipitaciones pluviales, caracterizado por su irregular distribución en una corta estación de lluvias.

Por un lado, los valles interandinos, especialmente en Bolivia, constituyen lugares privilegiados para el estudio de sistemas de riego tradicionales, algunos todavía vigentes. Se presentan los estudios realizados en tres áreas ubicadas en el Departamento de La Paz: el yacimiento arqueológico de Iskanwalla -perteneciente a la cultura Mollo (1172 DC – 1425 DC)-, ubicado en el municipio de Aucapata, y las comunidades de Jatichulaya, perteneciente al Municipio de Charazani, y de Tahuapalca en la provincia Murillo, ambas usando actualmente métodos de riego por superficie muy característicos de cada zona, el riego por Kanis y el riego por surcos corrugados en zigzag, respectivamente. Por otro lado, en zonas con capas freáticas elevadas es posible un sistema mixto de riego y drenaje que, en los alrededores del lago Titicaca tanto en Perú como en Bolivia, dio lugar a los denominados Suka-Kollus, tecnología ancestral desarrollada por la cultura de Tiwanaku (1580 AC - 1172 DC).

En esta conferencia se pretende describir infraestructuras ancestrales y caracterizar la organización observada durante el uso y la distribución del agua por parte de comunidades campesinas bolivianas; en suma, se trata de analizar el riego ancestral precolombino, su aplicación actual, funcionalidad y eficiencia.

EL AGUA Y EL RIEGO EN LA CULTURA MOLLO: EL YACIMIENTO DE ISKANWAYA

Los restos arqueológicos de Iskanwaya, uno de los conjuntos urbanos más importantes y conocidos hasta la fecha de la cultura prehispánica Mollo, se encuentran a 60°45'20'' de longitud Oeste y a 15°31'55'' de latitud Sur y a una cota de 1.722 msnm. Su ubicación administrativa se localiza dentro del municipio de Aucapata, perteneciente a la provincia Muñecas, al norte del Departamento de La Paz y al este del lago Titicaca. La cultura Mollo se caracteriza por los restos que de su peculiar cerámica tricolor, decorada con motivos geométricos: engobe rojo y decoración trazada en negro con reborde blanco, se han

encontrado en numerosos sitios, todos ellos emplazados en valles mesotermiales, cuya altitud oscila entre los 3.700 y 1.200 msnm. El asentamiento se ubica en un lugar estratégico, elegido a propósito en el valle del río Llika cuyas aguas corren hacia las partes bajas orientales de la Cuenca Amazónica.

La actividad económica principal fue, como en todas las sociedades andinas, la agricultura, especialmente practicada en terrazas escalonadas (andenes) con sus correspondientes muros de contención. Estos andenes, como se observa a lo largo del curso del río Llika, se comunicaban por medio de escalinatas formadas por lajas de pizarra, y eran abastecidos de agua para el riego de los cultivos.

La distribución del agua para el riego a las terrazas se hacía a partir de una acequia matriz proveniente de la parte superior del valle, donde había un depósito para el almacenamiento del agua, y una red de canales subsidiarios que llegaban a los espacios agrícolas, dedicados sobre todo al cultivo de maíz y, en menor medida, a otras especies vegetales, papa, tabaco, maní, coca, locoto, ají, calabazas, frijoles, etc., según las condiciones climáticas. Diversos investigadores han considerado también importante la explotación minera de oro, por encontrarse dicha cultura asentada en una zona aurífera aún hoy día en explotación.

Los edificios del yacimiento arqueológico de Iskanwaya están conectados mediante calles que siguen la topografía del terreno. Están alimentados por una red de acequias que distribuían agua potable, cuya sección conforma una "V", de unos 15 centímetros de profundidad, realizada con pequeñas piedras de laja o pizarras, cuyo interior se impermeabilizó con arcilla para evitar la filtración del agua.. Estos canales transportaban el agua desde un estanque de planta semicircular de 4 metros de diámetro construido de piedra pizarra y utilizando barro como mortero.

A unos ocho kilómetros de Iskanwaya, se encuentra el canal Mama Qhuro utilizado para llevar el agua desde el río Pukanwaya a zonas de riego. El canal, de forma trapecial, posee una longitud total de unos 3 km y tiene una pendiente del 2%. De acuerdo con sus características geométricas, y aplicando las correspondientes ecuaciones de flujo hidráulico, se obtiene que sería capaz de conducir un caudal de 50 L.s-1 con el que se podrían regar alrededor de 50 ha.

RIEGO POR KANIS

Charazani, capital del valle al que da nombre, se encuentra situado a una altitud de 3250 msnm, en la Provincia Bautista de Saavedra, Departamento de La Paz. Conformar un espacio sociogeográfico muy significativo para el estudio del riego tradicional ya que el agua en la zona es un recurso escaso del que dependen las actividades agrícolas que realiza el campesinado. En efecto, la precipitación media anual oscila alrededor de los 450 mm distribuidos principalmente entre los meses de diciembre a marzo.

X Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Planta

Aquí vive, entre otras, la comunidad campesina de Jatichulaya, cuyas tierras se sitúan entre los paralelos de 15°8' y 15°12' de latitud Sur, y los meridianos de 68°57' y 68°59' de longitud Oeste, y una altitud entre los 2900 a 3250 msnm. En la actualidad, posee una superficie aproximada de 202 hectáreas, de las que 45.5, 22.5%, cuentan con riego siendo el resto tierras de secano.

Los suelos de la comunidad corresponden, en la parte baja, a aluviales de poca profundidad, con bastante cascajo (pizarras) formando terrazas amplias. En las partes altas los suelos son de tipo coluvial, variando la textura entre franco arcilloso y franco arenoso. Las fuentes de agua son las precipitaciones pluviales y las aguas superficiales, producto del deshielo de la cordillera de Apolobamba. El cultivo de mayor importancia en regadío es el maíz seguido de papa-milli (papa temprana).

La distribución del agua de riego varía a lo largo del año. Desde agosto hasta enero o febrero, se hace bajo un control estricto del llamado Agente de Aguas y el establecimiento de un turno específico cuya trasgresión es sancionada por el mismo. El Agente de Aguas es elegido anualmente y dentro de sus funciones están, además, el mantenimiento y cuidado de todas las obras hidráulicas que posee el sistema, es decir, las obras de toma, canales de conducción y de distribución, lo que hace mediante visitas periódicas. El sistema de distribución consiste en programar el uso del agua de riego de acuerdo a los pedidos que hagan los usuarios en un período dado. Por el contrario, en la época donde no existe mucha demanda de agua de riego esto es, desde febrero hasta julio, el uso del agua no es por turnos sino a la demanda.

El riego practicado en parcelas con pendientes entre el 15 y el 45% se denomina *riego por kanis* y se ejecuta para evitar pérdidas de agua y para no producir erosión. El riego comienza con la construcción de un canal de reparto de agua dentro de la parcela. Los principales indicadores para la construcción de dicho canal son, por un lado, la entrada del agua desde el canal de distribución a la parcela y, por otro lado, la pendiente de la misma. Una vez que se tienen los dos parámetros, se traza una línea imaginaria hasta el otro extremo superior de la parcela de modo que tenga una pendiente descendente del 2 al 3%. Una vez trazada dicha línea imaginaria se procede a la apertura del canal de abajo hacia arriba hasta llegar al extremo inicial o parte superior del canal. El canal tiene la forma de un surco amplio y es de tierra. La longitud y el número de canales principales o *mama kanis* son variados y están en función del tamaño de la parcela a regar lo que constituye el tercer parámetro para la construcción de los canales. Generalmente, como mínimo, se construyen 2 o 3 canales. La separación entre los canales construidos es de 8 a 10 m. En la parcela trabajada por los campesinos, el *mama kani* dividió al terreno en dos.

El campesino inicia la apertura de un *mama kanis* para que el agua procedente de un *kanis* entre a la parcela y la inunde. Para la construcción de los canales secundarios o *juchuy kanis* dentro de la parcela se toma al canal principal, como referencia. Los *juchuy kanis* generalmente van en dirección opuesta a los *mama kanis*, son paralelos entre si y tienen también inclinaciones que están entre el 2 y el 3 %. La longitud de los *juchuy kanis* es menor con relación a la de los *mama kanis* y tienen, como promedio, de 6 a 8 m. En cambio, el número de

los *juchuy kanis* es mayor, superior a 6 canales habitualmente. La separación entre *juchuy kanis* es de 4 a 4.5 m. como promedio y son también surcos aunque más angostos que los canales principales. Una de las funciones de los *juchuy kanis* es la de unir los *mama kanis*, cuando el usuario está conduciendo el agua hacia la parte baja de la parcela.

El sistema funciona acomodándose a las condiciones topográficas de la zona y eliminando la erosión hídrica debido a que el manejo del agua, dentro y fuera de la parcela, está dado por un conocimiento ancestral de los campesinos de acuerdo a las curvas a nivel, lo que permite la protección del suelo sin provocar ningún tipo de problemas erosivos.

RIEGO POR SURCOS CORRUGADOS EN ZIGZAG

Los *surcos corrugados en zigzag* son sistemas de riego muy utilizados en los valles interandinos de los departamentos de La Paz y Cochabama, principalmente en suelos con elevada pendiente, o en suelos con baja permeabilidad como los suelos arcillosos o suelos afectados por sales. La comunidad de Tahuapalca, provincia de Murillo, se sitúa en las escarpadas pendientes del nevado Illimani que domina la ciudad de La Paz, a unos 50 km al sur de la misma, y aprovecha las aguas del deshielo para el riego de sus parcelas.

En los valles interandinos bolivianos, el término corrugado se refiere a arrugado, es decir, a los pliegues que se forman sobre una superficie flexible. La voz onomatopéyica zigzag que viene a significar una serie de líneas que forman alternativamente ángulos entrantes y salientes viene a confirmar en este caso lo que quiere decir corrugado.

Los surcos corrugados en zigzag necesitan menos agua que los surcos rectos y tampoco requieren nivelación. Estos surcos son utilizados por la mayoría de los pobladores de la comunidad ya que los mismos ayudan a una mayor retención del agua y a disminuir la escorrentía que produciría una pérdida de nutrientes del suelo. Es cierto que se invierte más tiempo en la preparación del terreno y en la fase de realización de los surcos pero, posteriormente, ese tiempo se gana pues los riegos se controlan con menos mano de obra o, lo que es lo mismo, la misma persona puede controlar una mayor superficie de riego. Por ejemplo, se constató que una parcela de unos 600 m² y pendiente del 30% requirió el trabajo de tres semanas de una persona para hacer los surcos en zigzag. Sin embargo, el riego completo de la misma lo controla esa misma persona sin gran esfuerzo.

Antes de efectuar la apertura de surcos (surcado) se realiza el mullido y nivelado del suelo para así no tener ninguna dificultad al surcar. Para el surcado de camellones no se utiliza ninguna herramienta de medida debido a la destreza de los agricultores. Los surcos corrugados normalmente son implementados dentro un sistema integral de cultivo, es decir, de tal manera que se pueda reutilizar el agua de escorrentía para cultivos situados aguas abajo. Para ello, la

plantación de cultivos se realiza de forma escalonada de tal forma que siempre exista algún cultivo en el terreno

El surco es mayor o menor en función del cultivo. Así, por ejemplo, el tomate lo necesita más ancho y la lechuga menos. La mayor anchura de los lomos de los surcos en el caso del tomate es debido a que las plantas no se tutoran y al crecer y fructificar necesitan que los frutos se apoyen sobre la parte del terreno que no está humedecida.

Asimismo, la longitud y anchura de los surcos depende de la pendiente del terreno. Así, en terrenos más inclinados los surcos se ensanchan para que el agua tarde más tiempo en pasar por ellos y se infiltre más agua y su longitud es también más larga que cuando la pendiente es menor para que de este modo esté durante una mayor distancia sobre las curvas de nivel. Cuando la inclinación es menor los surcos se hacen más angostos para así disminuir el tiempo de contacto del agua. Asimismo, a mayor pendiente menor será la distancia entre los camellones. En general, la longitud, anchura y profundidad de los surcos corrugados varía según la pendiente, textura del suelo, uniformidad del terreno y ubicación de los canales de distribución de agua.

Los caudales aplicados van a depender sobremanera de la organización del riego en la Comunidad que, en este caso, era inexistente de modo que, al regar sin la existencia de turnos preestablecidos, se ven muy perjudicados los situados aguas abajo. En general, los caudales usados son pequeños, entre 0,1 y 0,4 L.s-1, el avance del agua es muy lento (más de 6 horas para recorrer unos 50 m) lo que evita escorrentía y el receso muy rápido del orden de 15 minutos. La duración del riego depende del caudal disponible pero, normalmente, se prolonga entre 2 y 3 horas, aplicándose de 20 a 25 riegos por campaña lo que supone un riego cada dos días de media en el caso del cultivo de la lechuga.

SISTEMA MIXTO DE RIEGO-DRENAJE: SUKA KOLLUS

Los *suka kollus* son plataformas de cultivo elevadas, con 1 a 20 metros de ancho, 10 a 100 de metros de largo, y 0,5 a 1 metro de alto. Dichas plataformas están rodeadas por canales de 1 a 4 m de ancho con una profundidad de 0,5 a 1 m. Esta infraestructura agrícola se estima que cubriría más de 120.000 ha en la cuenca del Lago Titicaca, entre los 3.400 a 3.800 msnm aunque la mayoría están actualmente abandonadas.

Al inicio de una campaña agrícola, cuando se alimenta agua a los canales ya sea por la precipitación pluvial o riego, el agua se acumula rápidamente en los canales y empieza a fluir. En forma simultánea, una fracción penetra al interior de las plataformas, otra fracción sale del sistema por percolación profunda, y otra fluye fuera del sistema a través del canal de salida. Posteriormente, debido a la presencia de una capa impermeable en el suelo, la percolación de agua desde los canales disminuye notablemente, y el movimiento de agua es bidimensional

dándose, preferentemente, en dos direcciones, longitudinal y transversal. El movimiento longitudinal permitirá la circulación del agua dentro del sistema (entrada o salida a través de los canales), normalmente este flujo es laminar por lo bajos caudales y bajas velocidades, teniendo como variables la pendiente, la geometría del canal, la presencia de barreras en los canales tales como diques de contención de agua, y la aspereza del canal por la presencia de pasto y plantas acuáticas. El movimiento transversal del agua, se da desde los canales hacia la plataforma (flujo horizontal de agua), suministrando de esta manera agua para los cultivos.

Los canales de los suka kollus hacen posible evacuar el exceso de agua en época húmeda debido a las elevadas precipitaciones, fundamentalmente en las zonas bajas. La capacidad de drenaje del sistema está en función de la red de canales, sección y pendiente de los mismos, así como de las propiedades hidrofísicas del suelo (conductividad hidráulica y potencial del agua del suelo).

Los suka kollus crean un agroecosistema que permite controlar la temperatura en su entorno. En concreto, atenúan los efectos de las heladas muy comunes en el altiplano boliviano. La mayoría de los investigadores coinciden en el hecho de que la atenuación de las heladas se debe principalmente a la liberación de calor por el agua, de modo que el agua de los canales actuaría como un amortiguador térmico, lo que evita o atenúa los efectos de las heladas. Esto puede explicarse por el elevado calor específico del agua, donde se almacena una cantidad importante de calor durante el día, favorecido además por la intensa radiación solar que ocurre en el altiplano. En la mayoría de los experimentos realizados la temperatura mínima en suka kollus fue siempre mayor que en pampa, entre 1 a 2 °C, cuando las temperaturas oscilaron entre 2 y -10 °C, lo que demuestra su efecto de atenuación de las heladas.

En los sistemas de suka kollus del altiplano se utilizaron diferentes tipos de rotación de cultivos en diferente grado y con diferentes cultivos. El cultivo de papa es el principal dentro los agroecosistemas de la cuenca del Lago Titicaca y es primer cultivo del ciclo de rotación. Diversos ensayos experimentales han encontrado que el cultivo de papa en suka kollus muestra, como consecuencia de su control térmico, mayor precocidad que el efectuado en la pampa abierta del altiplano. Asimismo, y por análoga razón, la producción de papa presenta un mejor rendimiento en el sistema de suka kollus.

Reducing the Water Footprint of Fruit Production

Brent Clothier, Steve Green & Markus Deurer

Production Footprints Team, Plant & Food Research
Palmerston North, New Zealand
brent.clothier@plantandfood.co.nz

Why reduce the water footprint of fruit?

The Economist (18 September, 2008) asserted that "... the world is facing not so much a food crisis as a water crisis'. Farming uses 70% of the world's water consumption and there is a pressing need to make it go further, by developing knowledge and tools to monitor water-use efficiency. *The Economist* concluded that "... farming tends to offer the best potential for thrift".

The concept of virtual water and water footprinting seeks to achieve such thrift and enable wiser use of the world's water resources. There will be concomitant value realised by the producers of healthy fruit whose life-cycle water footprint is reduced.

Virtual water is the volume of water used to make a product, and is the sum of the water use in the various life-cycle steps of fruit production and the supply chain through to the consumers' consumption. Virtual water consists of three components: the green water which is rainwater stored in soil and transpired by the plant, the blue water which is the water drawn from surface and groundwater reservoirs and irrigated onto soil to maintain transpiration or used in fruit processing, and the grey water which is the leachate that becomes polluted by nutrients, pesticides and waste waters during all stages of production.

Water footprint labels are likely to be used by supermarket chains in the future to determine eligibility and discrimination for shelf access of various fruit products. Conversely, these footprint labels can also be used by producers to enable premium pricing of their fruit products to increasingly water-aware consumers.

Water-Footprint Issues

The key water-footprint issues for fruit production are food and healthy-food security, sustainability of rural communities, plus mitigation and adaptation to climate change especially in relation to green water availability, blue-water resources, and the protection of receiving water bodies from agrichemical contamination.

Strategic Reduction Options

From a land-use planning perspective, there can be gains made by matching the location of water-intensive production systems, such as fruit growing, to areas of high natural capital value in terms of the ecosystem services provided by soils and climate. This will also ensure resilience in the face of climate change. We will show how niche microclimates can produce fruit with a much lower water footprint. This can then be related to indices of the sustainability of extractions from local blue-water resources, and thereby demonstrate eco-verification of both green and blue-water use.

Meanwhile, plant-water and breeding science through cultivar and rootstock developments will enable water-efficient trees and vines to be used to ensure eco-efficient production of fruit.

Within the orchard, through the development of new planting densities and canopy management practices, fruit will be able to be grown such that their footprint in terms of litres per kilogram of the fruit product can be much reduced. We will show how this can be advantageous in relation to modern, high density apple production systems using dwarfing rootstocks.

Tactical Reduction Options

New environmental sensing devices and soil-plant-water reporting technologies are developing apace. In fruit production, new sensing devices and reporting technologies are benefiting from the burgeoning growth of the electronics and information technology industries. There are new and developing capabilities for measuring, and remotely reporting in real-time through the web, the status of water in the soil-plant-atmosphere continuum of orchards. These cover both devices and technologies that are in-soil, in-plant, as well as proximal and remote sensing technologies. New data and detailed information, all reported in real-time with high spatial and temporal resolution, are becoming readily available for tactical decision making.

The sustainability challenge is to provide the scientific and technical understanding that this plethora of data is providing. Thankfully computer modelling schemes are being developed to synthesize and interpret these data, and thereby transform them in to useful information that can be used to enable on-orchard and supply-chain decisions that will reduce the water footprint of fruit production and provide eco-verification of fruit products. Increasingly, supermarket chains, the gate-keepers of shelf access, fruit sales and pricing, will demand this information.

Conclusions

The world's water can be best utilised if fruit that have high virtual water contents are sourced from countries that have available water resources, by countries whose water resources under greater stress. The 19 May 2008 edition of *The Economist*, in an article entitled "Green pedicure", noted that carbon and water footprints are becoming a widely accepted way of measuring the impact of humanity on the planet. They concluded that "... these metrics bring to light the broad but subtle implications inherent to various activities. Paying for them is another matter". However, NGOs, such as the Food Ethics Council of the United Kingdom, are issuing recommendations for water-footprint labelling of products. Large supermarket chains are using water and carbon footprint metrics, and evidence of continuous reductions in them, as a condition for shelf access. Water footprint labelling can also help ensure premium pricing of products, especially horticultural products. This will ensure the socio-economic sustainability of rural communities in horticultural regions who wisely use water-thrifty systems to produce fruit.

Deficit irrigation in Mediterranean environment.

What lessons have we learnt from grapevine studies?

Chaves, M.M.^{1,2}, Zarrouk, O¹, Francisco, R¹, Costa, JM^{1,2}, Santos, T^{1,2}, Regalado, AP¹
Rodrigues, ML², Lopes, CM²

¹ Instituto de Tecnologia Química e Biológica(ITQB), Universidade Nova de Lisboa. Oeiras, Portugal.

mchaves@itqb.unl.pt

² Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa. Tapada da Ajuda. Lisboa Portugal.

ABSTRACT

Deficit irrigation techniques, implying that water is supplied at levels below full crop evapotranspiration throughout the growing season or in specific phenological stages, such as regulated deficit irrigation (RDI) or partial root drying (PRD), emerged as potential strategies to increase water savings with marginal decreases of yield and likely positive impact on fruit quality. Understanding the physiological and molecular bases for plant responses to mild to moderate water deficits is of utmost importance to modulate the appropriate balance between vegetative and reproductive development, to improve crop water-use efficiency and to control fruit quality. It is acknowledged that the timing and intensity of the response to soil and atmospheric water deficits, namely in what concerns stomatal control, depends greatly on the genotype. This has profound implications in irrigation management, in particular the timing and amount of irrigation to optimize source-sink relationships and achieve optimal fruit quality in each variety. Mild water deficits also exert direct and/or indirect (via the light environment in the cluster zone) effects on berry development and composition. A current research challenge is determining how the environment, in particular water deficits, regulates genes and proteins of the various metabolic pathways responsible for berry composition and therefore for wine quality.

CLIMATE CHANGE, VINEYARDS AND DEFICIT IRRIGATION

Current projections by the International Panel for Climate Change (IPCC, 2007) predict that water scarcity will increase in the near future in many regions of the globe. Moreover, a large proportion of vineyards are located in regions with seasonal drought (e.g. climate of the Mediterranean type) where soil and atmospheric water deficits, together with high temperatures, exert large constraints in yield and quality. However, with enhanced pressure on water resources, the increasing demand for vineyard irrigation will only be met if there is an improvement in the efficiency of water use. Deficit irrigation techniques, where water is supplied at levels below full crop evapotranspiration (ET_c) throughout the growing season or in specific phenological stages, such as regulated deficit irrigation (RDI) or partial root drying (PRD), emerged as potential strategies to increase water savings with marginal decreases of yield and likely positive impact on fruit quality (Ferreres and Soriano, 2007; Costa et al 2007; Chaves et al 2007; 2010).

Under RDI, plant water status is maintained within pre-defined limits of deficit (with respect to maximum water potential) during certain phases of the seasonal development, normally when fruit growth is least sensitive to water reductions (Kang and Zhang, 2004). The rationale underlying this practice is that optimization of numbers of fruits, fruit size and quality will be achieved by keeping grapevine vigour in balance with potential production. If water deficit is applied early in the season the effects will be achieved mostly through a reduction of berry cell division (McCarthy et al., 2002); if water deficits are imposed at later stages, then the major effect will be an inhibition of berry growth (Williams and Mathews, 1990).

In PRD, roots are exposed to alternate drying and wetting cycles. Theoretically, roots of the watered side of soil will maintain favorable plant water relations, while dehydration in the other side will induce chemical signaling that will reach the leaves via the transpiration stream, reducing stomatal conductance and/or growth (Santos et al., 2003). This signaling (increased ABA concentration) follows sap flow restoration through the previously dried root system and as a consequence may be transient (less than 24 hours) (Dodd et al 2008). PRD irrigation may also have an impact on root growth, leading to increased root development in the deeper soil layers (Dry et al. 2000; Santos et al 2007). An increase in root hydraulic conductance, putatively resulting from aquaporin stimulation by ABA, and the induction of new secondary roots was also reported in fruit trees subjected to PRD (Kang and Zhang 2004).

In what concerns PRD in grapevine, there are contrasting results in the literature, with several studies reporting no significant differences between PRD and DI (deficit irrigation considered as the control of PRD; where the same amount of water as in PRD is given, but divided by the two sides of the rooting zone), as for example Bravdo et al. (2004) and Gu et al.(2004), whereas others show positive effects (Stoll et al 2000; Chaves et al 2007; 2010 see also Fig 1). These apparent contradictions may be related to differences in the intensity of the chemical signaling under PRD irrigation that seems to be dictated by the type of soil, the prevalent rainfall and evaporative demand in the region, as well as the frequency of switching irrigation from one side of the rootzone to the other (Dry et al 2001; Chaves et al 2007). Genotypic differences in stomatal sensing of water deficits or the delivery of ABA by the root-stock, may also explain different results (Antolin et al., 2006; De la Hera et al., 2007). Drought sensitive varieties may respond better to PRD (Souza et al., 2005a). The type of soil will impact on the extent of soil water redistribution, which in turn will buffer dehydration in the dry rootzone. Bravdo (2005) suggests that hydraulic redistribution from deeper to shallower roots may prevent under field conditions the clear results obtained in potted plants subjected to PRD under split root systems (Davies et al., 2002). Dry (2005) also suggests that PRD may not be successful when soil porosity favors lateral spread of irrigation water or an insufficient volume of irrigation is applied at the time of the switch for restoration of the wet side to field capacity. There is also some evidence that in low vigor vineyards PRD is unable to induce better agronomical output than the conventional deficit irrigation strategy, since the growth inhibition more pronounced in PRD than in DI will decrease source (leaves) to sink ratio below the optimum, resulting in yield losses without any improvement in berry quality (Lopes et al, own results; see Fig 2). Finally, Sadras (2009) in a meta-analysis of a broad range of horticultural crops reported that in general there

was no improvement in the irrigation water productivity (yield per unit irrigation water applied) under PRD, as compared to DI.

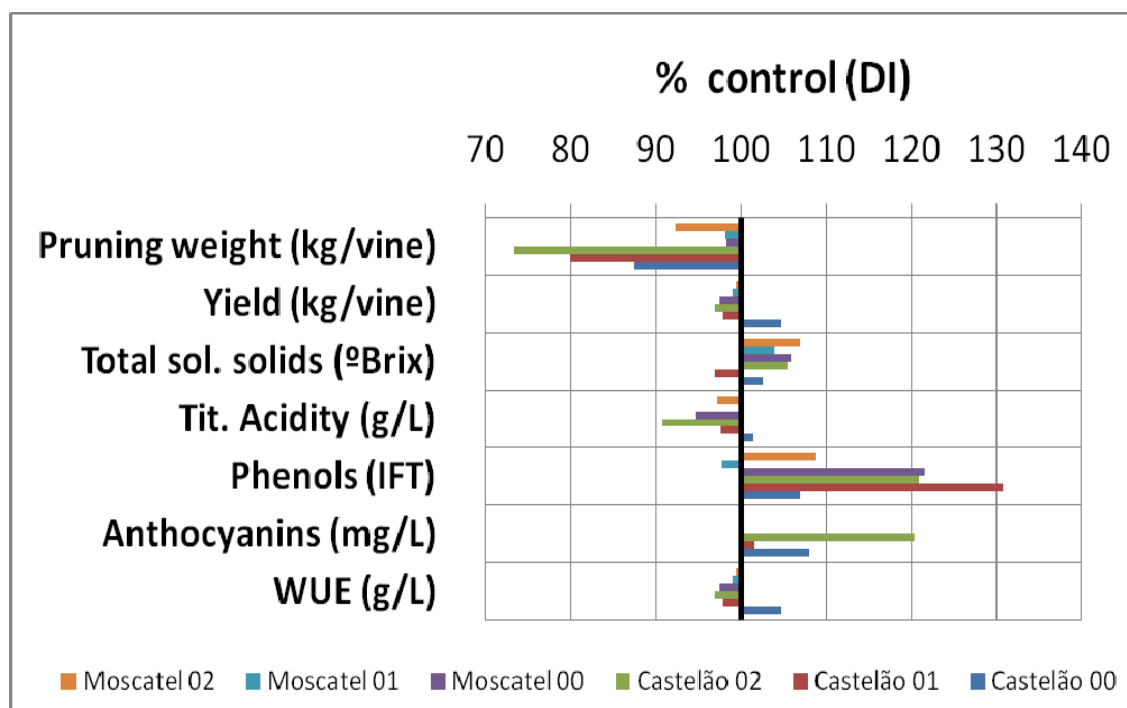


Figure 1: PRD pruning weight, yield, quality parameters and WUE as a function of DI, studied in two varieties, Moscatel and Castelão, during three years, in a sandy soil in Pegões. Central Portugal (redrawn from Chaves et al 2007).

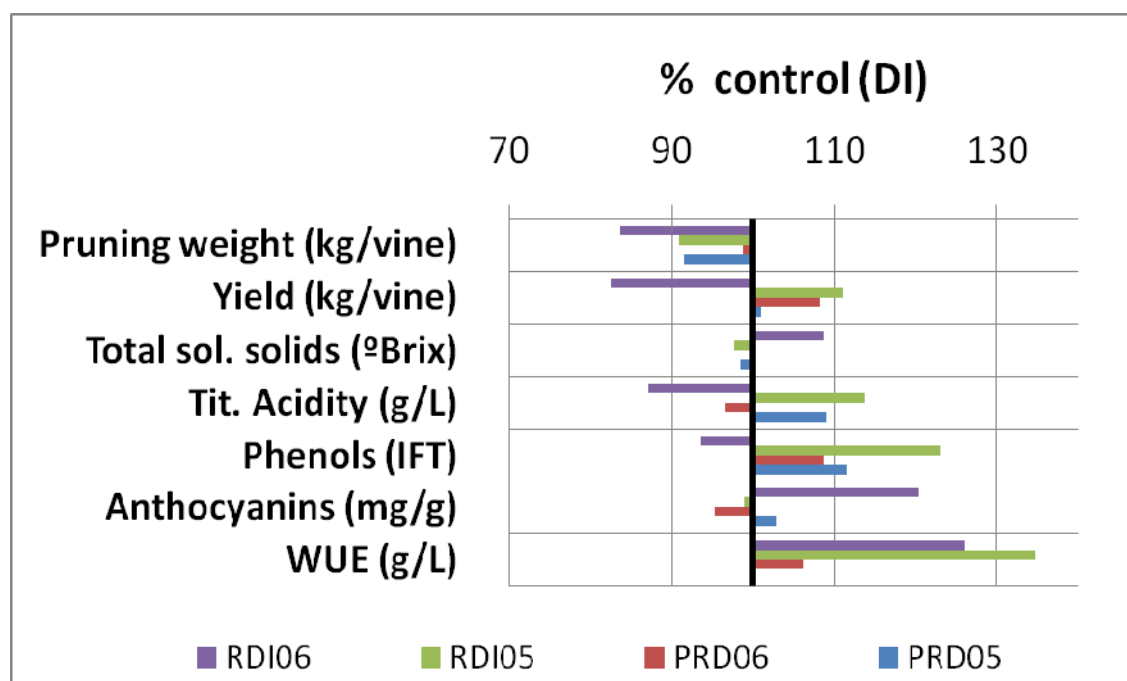


Figure 2: PRD and RDI pruning weight, yield, quality parameters and WUE as a function of DI, studied in the variety Aragonés during two years (2005 and 2006), in a loamy soil in Alentejo. South Portugal (Lopes et al unpub).

PHYSIOLOGICAL BASES FOR PLANT RESPONSES TO MILD TO MODERATE WATER DEFICITS

The use of deficit irrigation strategies rely on observations in several crops subjected to moderate water deficits that yield is not significantly reduced and quality of production may even increase under such conditions. Understanding the physiological and molecular bases for plant responses to mild to moderate water deficits as it occurs under deficit irrigation is of utmost importance to modulate the appropriate balance between vegetative and reproductive development, to improve crop water-use efficiency and to control fruit quality.

In general, grapevines are well-adapted to semi-arid climate like the Mediterranean, due to the large and deep root system and physiological drought avoidance mechanisms, such as an efficient stomatal control of transpiration and of xylem embolism (Lovisolo et al., 2002), and/or the ability to osmotically adjust (Rodrigues et al., 1993). Under mild to moderate water deficits (WD) stomata closure and growth inhibition are among the early plant responses, restricting water loss and carbon assimilation at the leaf and whole plant levels. The decline in photosynthetic rates generally takes place at lower pre-dawn water potentials than the decline in stomatal conductance, giving rise to a (transient) increase in intrinsic water use efficiency (A/g_s or WUE_i) (Gaudillère et al., 2002; Souza et al., 2005b). This is reflected in a lower water use (WU) and higher WUE by the crop, an important aim of deficit irrigation strategies in vineyards (Chaves et al., 2007). Similarly, stomatal closure at midday, an important adaptation to high VPD in some species of xeric habitats (Maroco et al., 1997), may lead to an increase in WUE_i when photosynthesis is maintained. This has been observed in grapevine (Souza et al 2003).

When drought is combined with high air temperature and evaporative demand, as for example during sudden heat waves, dramatic reductions in plant carbon assimilation and a partial loss of canopy leaf area may occur (Flexas et al., 2002; Maroco et al., 2002; Chaves et al., 2007). Under such conditions, regulated deficit irrigation must be carefully surveyed in order to prevent negative impacts in grapevine yield and berry and wine quality.

As for the signalling involved in plant response to deficit irrigation a great deal of evidence highlights the importance of ABA as root-sourced signal transported via the xylem and implicated in stomatal regulation of droughted plants (see review by Wilkinson and Davies, 2002). Even so, other compounds like the precursors of ABA (Jiang and Hartung, 2008), low concentration of cytokinins (Hansen and Dorffling, 2003), and changes in mineral composition or pH of the xylem (Jia and Davies, 2007) might also be implicated in the regulation of water use at the leaf level (recently reviewed by Schachtmann and Goodger, 2008). On the other hand, there is no clear picture of the relative importance of hydraulic and chemical signalling on plant response to PRD irrigation. There are studies indicating a marked decrease of g_s in PRD grapevines relative to conventionally-irrigated vines, in spite of comparable shoot water status (Dry and Loveys, 1999; Du et al., 2006), therefore suggesting the involvement of a non-hydraulic signal in stomatal regulation. Several other studies, however, did not find evidence for a more marked stomatal closure in PRD than in DI grapevines (Souza et al., 2003; Rodrigues et al., 2008). The higher water status of PRD plants may be derived from the observed restriction in vegetative growth of PRD plants (Santos et al., 2003 2005; Chaves et al., 2007), leading to lower plant water use and thus more water available in the soil near the root system.

GENOTYPIC DEPENDENT RESPONSES TO WATER DEFICITS IN VITIS VINIFERA

It is acknowledged that the timing and intensity of the response to soil and atmospheric water deficits, namely in what concerns stomatal control, depends greatly on the genotype. This has profound implications in irrigation management, in particular the timing and amount of irrigation to optimize source-sink relationships and achieve optimal fruit quality in each variety (Medrano et al., 2003; Chaves et al., 2007). *Vitis vinifera* L. is characterized by large genetic variability with several thousands of varieties being cultivated worldwide. However, most of those genotypes remain uncharacterized, which limits their use for breeding, for example to increase WUE or improve berry quality traits.

Genotype related differences in WUE and water stress resistance may arise from constitutive differences in leaf gas-exchange, plant capacity to osmoregulate and plant hydraulics. Photosynthesis, stomatal conductance and WUE_i were shown to vary with grapevine variety (Bota et al., 2001; Schultz 2003; Soar et al., 2006). Still, variation in photosynthetic efficiency seems to be small (Bota et al., 2001), suggesting that genotypic variation in WUE is largely linked to diversity in stomatal conductance, both under well-watered and water deficit conditions (Escalona et al., 1999; Gaudillère et al., 2002; Chaves and Oliveira, 2004). Under drought conditions, stomata seems to keep water flow within safe limits, therefore avoiding xylem embolism (Sperry et al., 2002). Higher stomata sensitivity to water deficits may compensate for higher vulnerability to cavitation under drought (Schultz, 2003).

Leaf morpho-anatomy and related biochemistry (epicuticular wax composition, lipid composition, mesophyll thickness etc) may also play a role in explaining plant adaptation to water stress (Boyer et al., 1997). Differences among *V. vinifera* have been reported in these characteristics (Schultz, 1996).

Grapevine is generally considered a “drought avoiding” species, with an efficient stomatal control over transpiration (Chaves et al., 2007; 2010; Shultz, 2003). However, some genotypes have shown a better control of stomata than others in response to water deficits and accordingly have been classified as isohydric (drought avoiders or “pessimistic”); the others, showing lower control over stomatal aperture under water stress, were considered anisohydric, with an “optimistic” response (Schultz, 2003; Soar et al., 2006). Schultz (2003) considered Grenache to be a nearly isohydric genotype showing a marked regulation of stomatal conductance to decreasing soil water, whereas Syrah exhibited a response closer to an anisohydric type. The same contrasting behavior between Grenache and Syrah in response to atmospheric moisture stress was found by Soar et al. (2006), who attributed the higher sensitivity of stomata in Grenache to the higher concentration of ABA in the xylem sap as compared with Syrah. He provided evidence of a midday increment of the expression of key genes involved in the ABA biosynthetic pathway, significantly higher in the leaves of Grenache than in Syrah.

However, contradictory reports appeared in the literature showing that the same variety could behave differently depending on experimental conditions (see the reviews by Lovisolo et al., 2010 and Chaves et al 2010). For example, var. Syrah and Grenache that exhibited an anisohydric and near-isohydric behaviour, respectively, in field experiments (Schultz, 2003; Soar

et al., 2006), did not display the same stomatal behaviour when experiments were performed with potted plants.

Bearing in mind the available data, a classification of grapevine varieties as strict iso- or anisohydric may prove inappropriate. It seems plausible that stomatal responses to water deficits in a specific variety will vary according to the particular combination of the rootstock, the climate (VPD and temperature) and the intensity and duration of water deficits.

BERRY GROWTH AND METABOLISM UNDER WATER DEFICITS

Water deficits influence berry development, metabolism and final composition, and its timing and intensity dictate the extent of alterations occurring in wine colour and flavour. In general, mild water deficits were shown to have a positive impact on wine quality in red varieties (Bravdo et al., 1985). Under this context, deficit irrigation can provide the means to manipulate wine sensory characteristics. However, the effects of deficit irrigation on berry and wine quality will depend on the climatic characteristics during the growing season, the soil type, the grapevine variety and the timing of application (Santos et al., 2003, 2005).

Transcriptional analysis of grape berries from vines subjected to moderate water deficits at the end-ripening stage showed alterations on mRNA expression patterns particularly associated with cell wall, sugar and hormone metabolism (Deluc et al., 2007). The most profound alterations were related to ethylene, auxin and abscisic acid, but an enhancement of the expression of several genes of the phenylpropanoid pathway was also observed.

The impact of water deficit on grape berry proteome was reported by Grimplet et al. (2009). These authors studied the alterations observed in the skin, pulp and seed proteomes of fully ripe berries when comparing water-deficit vines (no irrigation) with well-watered plants (irrigation from pre-véraison to the end of berry maturity) and showed that 7% of pericarp proteins were water-stress responsive. Using such an approach, we are currently studying the proteome dynamics of grapevines of the var. Aragonez (syn. Tempranillo) along berry development using three irrigation strategies. When comparing berries of full irrigated (FI) vines with the ones from deficit irrigated (RDI) and rainfed (NI) vines, several proteins were identified as stress responsive. One such protein was vacuolar invertase (GIN1), which was significantly down-regulated under NI and RDI when compared with FI conditions. These alterations were observed at green stage (pre-véraison) and véraison. Moreover, the peak of expression of this protein that was reported to occur at véraison by others (Deluc et al., 2007) was observed later in RDI than in FI berries. These results suggest that water availability modulates not only the amount, but also the timing of protein expression. It suggests as well that changes taking place very early on during berry development, such as at the green berry stage, may have a profound effect on the final berry maturity (Francisco et al., 'unpubl. res.').

CONCLUSIONS

Deficit irrigation is an efficient strategy to improve WUE and control vigour in grapevine, allowing an optimal grape maturity and therefore a high wine quality. It is now accepted that the efficiency of deficit irrigation (whatever the sub-type) in modulating WUE, growth and grape

berry composition is dependent on the variety characteristics (namely its vigour and drought avoiding traits), the type of soil and the prevailing weather (rainfall and temperature). More in-depth and wider studies of varieties in response to environmental stresses are instrumental to the understanding of grapevine adaptation to more arid climates. Further knowledge on berry development, including the timing for the accumulation of various berry components, and their dependence on water availability, is critical for an optimal choice of irrigation strategy. Proteomic and transcriptomic studies are providing new avenues for that understanding. The data already available suggest that water deficits interact with development to alter the expression of genes responsible for some grape berry compounds and metabolite transporters. Although some of those changes seem to be transient it is plausible that they will have an impact on berry maturity and the final wine quality.

BIBLIOGRAPHY

- Antolín MC, Ayari M, Sánchez-Díaz M. 2006. Effects of partial rootzone drying on yield, ripening and berry ABA in potted Tempranillo grapevines with split roots. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 12: 13-20.
- Bota J, Flexas J, Medrano H. 2001. Genetic variability of photosynthesis and water use in Balearic grapevine cultivars. *Annals of Applied Biology* 138: 353-361.
- Boyer JS, Wong SC, Farquhar GD. 1997. CO₂ and Water Vapor Exchange across Leaf Cuticle (Epidermis) at Various Water Potentials. *Plant Physiology* 114: 185-191.
- Bravdo B, Hepner Y, Loinger C, Tabacman H. 1985. Effect of irrigation and crop level on growth, yield and wine quality of Cabernet Sauvignon. *American Journal of Enology and Viticulture* 36: 132-139.
- Bravdo B, Naor A, Zahavi T, Gal Y. 2004. The effects of water stress applied alternatively to part of the wetting zone along the season (PRD-partial rootzone drying) on wine quality, yield, and water relations of red wine grapes. *Acta Horticulturae* 664:101-109.
- Bravdo B. 2005. Physiological mechanisms involved in the production of non-hydraulic root signals by partial rootzone drying – A review. *Acta Horticulturae* 689: 267-275.
- Chaves MM, Oliveira MM. 2004. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits - Prospects for water-saving agriculture. *Journal Experimental Botany* 55: 2365-2384.
- Chaves, MM, Santos, TP, Souza CR, et al. 2007. Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Annals of Applied Biology* 150: 237-252.
- Chaves MM, Zarrouk O, Francisco R, Costa JM, Santos T, Regalado AP, Rodrigues ML, Lopes CM. 2010. Grapevine under deficit irrigation – hints from physiological and molecular data. *Annals of botany* 105: 661-676 doi: 10.1093/aob/mcq030.
- Costa JM, Ortuño MF, Chaves MM. 2007. Deficit irrigation as strategy to save water: physiology and potential application to horticulture. *Journal of Integrative Plant Biology*, 49: 1421 - 1434.
- Davies WJ, Wilkinson S, Loveys B. 2002. Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *The New Phytologist* 153: 449-460.
- De la Hera ML, Romero P, Gómez-Plaza E, Martínez A. 2007. Is partial root-zone drying an effective irrigation technique to improve water use efficiency and fruit quality in field-grown wine grapes under semiarid conditions? *Agricultural Water Management* 87: 261-274.
- Deluc LG, Grimplet J, Wheatley MD et al. 2007. Transcriptomic and metabolite analyses of Cabernet Sauvignon grape berry development. *BMC Genomics* 8: 429.
- Dodd IC, Egea G, Davies WJ. 2008. Abscisic acid signalling when soil moisture is heterogeneous: decreased photoperiod sap flow from drying roots limits abscisic acid export to the shoots. *Plant, Cell and Environment* 31(9): 1263-1274.
- Dry P, Loveys BR. 1998. Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 4: 140-148.
- Dry PR, Loveys BR. 1999. Grapevine shoot growth and stomatal conductance are reduced when part of the root system is dried. *Vitis* 38: 151-156.

X Symposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas

- Dry PR, Loveys BR, Düring H. 2000. Partial drying of the rootzone of grape. II. Changes in the pattern of root development. *Vitis* 39: 9-12.
- Dry PR, Loveys BR, McCarthy MG, Stoll M 2001. Strategic irrigation management in Australian vineyards. *Journal International de Science de la Vigne et du Vin* 35: 129-139.
- Dry PR. 2005. Use of irrigation strategies for maximization of water use efficiency and wine quality in Australia. International Symposium on Irrigation Management in Wine and Table Grape Vineyards, INIA, Santiago, Chile, Oct 26-27.
- Du T, Kang S, Zhang J, Li F, Hu X. 2006. Yield and physiological responses of cotton to partial root-zone irrigation in the oasis field of northwest China. *Agricultural Water Management* 84: 41-52.
- Escalona JM, Flexas J, Medrano H. 1999. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under water stress in field-grown grapevines. *Australian Journal of Plant Physiology* 26: 421-433.
- Fereres E, Soriano MA. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use, *Journal Experimental Botany* 58: 147-159.
- Flexas J, Bota J, Escalona JM, Sampol B, Medrano H. 2002. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: an evaluation of stomatal and mesophyll limitations. *Functional Plant Biology* 29, 461-471.
- Gaudillère JP, Van Leeuwen C, Ollat N. 2002. Carbon isotope composition of sugars in grapevine, an integrated indicator of vineyard water status. *Journal of Experimental Botany* 53: 757-763.
- Grimplet J, Wheatley MD, Jouira HB, Deluc LG, Cramer GR, Cushman JC. 2009. Proteomic and selected metabolite analysis of grape berry tissues under well-watered and water-deficit stress conditions. *Proteomics* 9: 2503-28.
- Gu SL, Du GQ, Zoldoske D et al. 2004. Effects of irrigation amount on water relations, vegetative growth, yield and fruit composition of Sauvignon Blanc grapevines under partial rootzone drying and conventional irrigation in the San Joaquin Valley of California, USA. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 79: 26-33.
- Hansen H, Dorffling K. 2003. Root-derived trans-zeatin riboside and abscisic acid in drought-stressed and rewatered sunflower plants: interaction in the control of leaf diffusive resistance? *Functional Plant Biology* 30: 365-375.
- IPCC. 2007. *Climate change 2007: The physical basis summary for policy makers*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Jia W, Davies WJ. 2007. Modification of leaf apoplastic pH in relation to stomatal sensitivity to root-sourced abscisic acid signals. *Plant Physiology* 143: 68-77.
- Jiang F, Hartung W. 2008. Long-distance signalling of abscisic acid (ABA): the factors regulating the intensity of the ABA signal. *Journal of Experimental Botany* 59: 37-43.
- Jones GV, White MA, Owen RC, Storchmann C. 2005. Climate change and global wine quality. *Climate Change* 73: 319-343
- Kang S, Zhang J. 2004. Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. *Journal of Experimental Botany* 55: 2437-2446.
- Lovisolò C, Hartung W, Schubert A. 2002. Whole-plant hydraulic conductance and root-to-shoot flow of abscisic acid are independently affected by water stress in grapevines. *Functional Plant Biology* 29: 1349-1356.
- Lovisolò C, Perrone I, Carra A, et al. 2010. Drought-induced changes in development and function of grapevine (*Vitis* spp.) organs and in their hydraulic and non hydraulic interactions at the whole plant level: a physiological and molecular update. *Functional Plant Biology* 37: 98-116. doi:10.1071/FP09191
- Maroco JP, Pereira JS, Chaves MM. 1997. Stomatal responses to leaf-to-air vapour Pressure deficit in Sahelian species. *Australian Journal of Plant Physiology* 24: 381-387.
- Maroco JP, Rodrigues ML, Lopes C, Chaves MM. 2002 Limitations to leaf photosynthesis in field-grown grapevine under drought - metabolic and modelling approaches. *Functional Plant Biology* 29: 451-459.
- McCarthy MG, Loveys BR, Dry PR, Stoll M. 2002. Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying as irrigation management techniques for grapevines. *FAO Water Reports* 22: 79-87.
- Medrano H, Escalona JM, Cifre J, Bota J, Flexas J. 2003. Regulated deficit irrigation effects in cv. 'Tempranillo' vineyards grown under semiarid conditions in mid-Ebro river valley (Spain). *Functional Plant Biology* 30: 607-619.
- Monteiro A, Lopes CM. 2007. Influence of cover crop on water use and performance of vineyard in Mediterranean Portugal. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121: 336-342.
- Rodrigues, ML, Chaves MM, Wendler et al. 1993. Osmotic adjustment in water stressed grapevine leaves in relation to carbon assimilation. *Australian Journal of Plant Physiology* 20: 309-321.

X Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas

- Rodrigues ML, Santos T, Rodrigues AP et al. 2008. Hydraulic and chemical signalling in the regulation of stomatal conductance and plant water use of field grapevines growing under deficit irrigation. *Functional Plant Biology* 35: 565-579.
- Sadras VO. 2009. Does partial root-zone drying improve irrigation water productivity in the field? A meta-analysis. *Irrigation Science* 27: 183-190.
- Santos T, Lopes C, Rodrigues ML et al. 2003. Partial rootzone drying effects on growth and fruit quality of field-grown grapevines (*Vitis vinifera*). *Functional Plant Biology* 30: 663-671.
- Santos T, Lopes C, Rodrigues ML et al. 2005. Effects of partial root-zone drying irrigation on cluster microclimate and fruit composition of Castelão field-grown grapevines. *Vitis* 44: 117-125.
- Santos T, Lopes CM, Rodrigues ML et al 2007. Partial rootzone drying irrigation affects cluster microclimate improving fruit composition of 'Moscatel' field-grown grapevines. *Scientia Horticulturae* 112:321-330.
- Schachtman DP, Goodger JQD. 2008. Chemical root to shoot signalling under drought. *Trends in Plant Science* 13: 281-287.
- Schultz HR. 2000. Climate change and viticulture: a European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 1: 1-12.
- Schultz HR 2003. Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behaviour of two field-grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. *Plant, Cell and Environment* 26: 1393-1405.
- Schultz HR. 2007. Climate Change: implications and potential adaptation of vine growth and wine composition. *Proceedings Congres on Climate and Viticulture*. Centro Transferencia Agroalimentaria, Saragoza, 10-14 Abril 2007: 87-92.
- Soar CJ, Speirs J, Maffei SM, Penrose AB, McCarthy MG, Loveys BR. 2006. Grape vine varieties Shiraz and Grenache differ in their stomatal response to VPD: apparent links with ABA physiology and gene expression in leaf tissue. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 12: 2-12.
- Souza CR, Maroco JP, Santos T et al. 2003. Partial rootzone-drying: regulation of stomatal aperture and carbon assimilation in field grown grapevines (*Vitis vinifera* cv Moscatel). *Functional Plant Biology* 30: 653-662.
- Souza, CR, Maroco J, Santos, T et al. 2005a. Control of stomatal aperture and carbon uptake by deficit irrigation in two grapevine cultivars. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 106: 261-274.
- Souza CR, Maroco J, Santos T et al. 2005b. Impact of deficit irrigation on water use efficiency and carbon isotope composition (¹³C) of field-grown grapevines under Mediterranean climate. *Journal of Experimental Botany* 56: 2163-2172.
- Sperry JS, Hacke UG, Comstock JP, Oren R. 2002. Water deficits and hydraulic limits to leaf water supply. *Plant Cell and Environment* 25:251-264.
- Stoll M, Loveys B, Dry P. 2000. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany* 51: 1627-1634.
- Wilkinson S, Davies WJ. 2002. ABA-based chemical signalling: the co-ordination of responses to stress in plants. *Plant Cell and Environment* 25: 195-210.
- Williams LE, Matthews MA. 1990. Grapevine. In: Stewart BA, Nielsen DR, eds. *Irrigation of Agricultural Crops*. (Agronomy). Wisconsin: ASA-CSSA-SSSA, 1019-1055.

El costo hídrico de fijar carbono en los ecosistemas forestales mediterráneos: limitaciones ambientales

Carlos Gracia

Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona y CREAM (Center for Ecological Research and Forestry Applications).

<http://www.ub.edu/ecologia/Carlos.Gracia>

cgracia@ub.edu

La concentración de CO₂ atmosférico, lejos de permanecer constante, ha experimentado variaciones importantes a lo largo de la historia del planeta. En el momento actual, la serie de observaciones llevadas a cabo en el observatorio de Mauna Loa en Hawaii constituye el registro más prolongado de observaciones de CO₂ atmosférico que existe en el mundo. El registro de Mauna Loa (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>) muestra un incremento del 25 por ciento en la concentración media anual desde las 315 ppmv de 1959 hasta los 393 ppmv registrados en mayo del presente año.

Una consecuencia inmediata de este incremento de CO₂ atmosférico es el aumento de temperatura especialmente importante en la región mediterránea: mientras a escala global la temperatura del planeta ha aumentado 0.76°C (1859-99 a 2001-05) en la región mediterránea el aumento registrado ha sido de 1.53°C (1971-2000) el doble que la media global y muy superior a los 1.2 °C que proyectaban los modelos más pesimistas (Parry *et al.* 2000). Asociado a este aumento de temperatura, el vapor de agua que puede acumularse en la atmósfera aumenta al ritmo de un 7 por ciento por cada grado C de aumento de temperatura según la conocida ley de Clausius-Clapeyron, lo que aumenta la demanda evaporativa de la atmósfera afectando al balance hídrico de los sistemas naturales y más particularmente de los bosques.

Dado que la biomasa acumulada en un sistema forestal es muy elevada, (la biomasa media de los bosques de Cataluña, por ejemplo es de 86.7 tm/ha Gracia *et al.* en prensa) el coste respiratorio necesario para mantener la fracción viva de los árboles es muy elevado. En cualquier caso, un principio fundamental de la economía de la planta radica en el hecho de que el carbono fijado por las hojas en la fotosíntesis debe ser suficiente como para compensar el costo de formación y mantenimiento de los tejidos de todos los componentes del árbol.

La formación de las hojas de *Quercus ilex*, la especie más emblemática de los bosques mediterráneos, tanto por la extensión que ocupa como por la biomasa acumulada que representa, supone una inversión de 189 g de C/m² de suelo/año y el mantenimiento del dosel foliar representa una inversión de 844 g de C/m² de suelo/año en total, 1033 g de C. Puesto que la asimilación de carbono y la transpiración están estrechamente acopladas, para la

fijación en la fotosíntesis de éste carbono, la planta transpira 281 kg de agua/m²/año, dada la eficiencia en el uso del agua de la encina, que promediada a lo largo del año, se aproxima a 5 mmols C/mol H₂O. Análogamente la formación de los tejidos leñosos y el mantenimiento de la fracción viva de los mismos requiere 146 y 204 g de C/m² de suelo/año que se traduce en un requerimiento de 95 kg de agua/m²/año. A estos valores hay que añadir el costo de las raíces finas, cuya formación y mantenimiento requieren 184 y 95 g de C/m² de suelo/año respectivamente en cuya fijación, la planta transpira 78 kg de agua/m²/año. En conjunto, la encina requiere transpirar anualmente 450 kg de agua/m² de los que 311kg se requieren para el mantenimiento básico de los tejidos de la planta y 141 se traducen en la formación de los nuevos tejidos (fracción del índice foliar y raíces finas que se renuevan y formación del anillo de crecimiento). Resultados experimentales ponen de manifiesto que la encina puede llegar a transpirar hasta un 80 por ciento del agua precipitada anualmente así que la transpiración de 452 kg de agua/m²/año requiere una precipitación de 570 mm anuales. Naturalmente nos estamos refiriendo a la estructura del encinar medio. Valores algo inferiores de precipitación aún resultan compatibles con la presencia de encinares aunque de menor estructura (menor densidad de árboles, menor biomasa del conjunto y menor índice foliar). En todo caso, estos datos ponen de manifiesto que el mantenimiento de la estructura del bosque utiliza cerca del 70 por ciento de la precipitación anual, en estas condiciones medias. Muchos de los caracteres distintivos del bosque mediterráneo se derivan de las condiciones de crecimiento limitadas por el agua. Dado que los modelos de circulación atmosférica proyectan reducciones de hasta un 50 por ciento de la precipitación en la región mediterránea para finales del presente siglo, resulta evidente que existe una necesidad urgente de (i) mejorar el conocimiento de las interacciones bio-físicas entre los bosques y el agua en diferentes situaciones y contextos y (ii) desarrollar modelos eficientes de gestión conjunta de agua y bosques tomando en consideración las limitaciones impuestas por el cambio climático que afectará de manera especialmente severa a la región mediterránea.

A pesar de algunos avances recientes, la vulnerabilidad de la vegetación mediterránea al cambio climático no se acaba de comprender. Una fuente importante de incertidumbre se debe al desconocimiento de los procesos que tienen lugar a nivel de la hoja como respuesta a la sequía (Flexas *et al.* 2007; Warren & Adams 2006).

Los nuevos modelos de gestión adaptativa deben de basarse en el conocimiento profundo de la fisiología de la planta, lo que demanda una colaboración estrecha entre fisiólogos y forestales.

Programación del riego en melocotonero mediante el uso de sensores del diámetro del tronco

Conejero, W.¹, Ortuño, M.F.¹, Mellisho, C.D.¹, Torrecillas, A.^{1,2}

¹ Dpto. Riego. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CSIC). Apartado 164, 30100 Espinardo (Murcia), España.

wenceslao@cebas.csic.es

² Unidad Asociada al CSIC de Horticultura Sostenible en Zonas Áridas (UPCT-CEBAS). Paseo Alfonso XIII s/n, 30203 Cartagena (Murcia), España.

INTRODUCCIÓN

La agricultura intensiva murciana, caracterizada por un uso racional de sus recursos hídricos, se enfrenta en la actualidad una situación adversa, no solo agravada por el desarrollo industrial y las nuevas urbes construidas en los últimos años, sino además, por las particularidades de su clima y, la escasez y baja calidad de recursos hídricos, causas todas ellas desencadenantes de conflictos políticos y por ende sociales, acentuados por la actualidad económica del presente.

Obliga, por ello, la búsqueda de nuevos enfoques que mejoren la eficiencia en la gestión responsable de las prácticas agrícolas, entre otros, la innovación y optimización en la estima y programación de las necesidades hídricas de los cultivos, empleando herramientas de gran precisión. En este sentido, la estima de las necesidades hídricas suele realizarse mediante alguna de las siguientes vías: Una tradicional, el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o), o más innovadoras como la aplicación de diversos sistemas de teledetección. Pero siempre cabe considerar la magnitud de representatividad y variabilidad espacial (resolución), la disponibilidad local de coeficientes de cultivo y el retraso temporal en la aplicación de las estimas. Una alternativa posible es la evaluación simultánea del estado hídrico de las plantas, que unido al gran desarrollo tecnológico realizado para la medida de diversos indicadores del estado hídrico, ofrece la posibilidad de un registro de medidas continuo y automatizado en el momento actual, caso de las tasas de flujo de savia (FS) y las variaciones del diámetro del tronco (VDT), frente a otros indicadores poco o nada automatizables, que requieren frecuentes desplazamientos y tediosos procedimientos de medida: Contenido relativo de agua (CRA), potencial hídrico de tallo (Ψ_t), medidas de intercambio gaseoso.

La idoneidad de cualquier indicador, depende así, de aspectos tales como la sensibilidad para diagnosticar la aparición y recuperación de un estrés hídrico en la planta, de la capacidad que ofrece la técnica de medida empleada para el suministro automatizado de información actualizada y, de su interpretación; detalles que perfilan a las tasas diarias de FS y las VDT como indicadores teóricamente muy válidos. Bajo estos términos, se ha tratado, utilizando exclusivamente medidas de la MCD, de desarrollar en melocotonero extratemprano las bases necesarias para programar su riego, al:

1. Evaluar de la sensibilidad de la MCD y del FS como indicadores del estado hídrico.
2. Comparar una programación del riego basada en medidas de MCD o de FS.
3. Elaborar ecuaciones de referencia o líneas base (LB) de la MCD.
4. Evaluar la utilidad de las LB en la programación del riego.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los ensayos experimentales se realizaron en la finca experimental del CEBAS-CSIC (Santomera, Murcia), en una plantación de una hectárea aproximadamente de melocotonero extratemprano (cv. Flordastar), sobre árboles de 4 años inicialmente (2005) dispuestos en un marco de 5 m × 5 m, y cultivados en un suelo de alta pedregosidad y textura franco-arcillosa. Los árboles, se regaron por goteo y siempre de noche, con objeto de no interferir en la respuesta diurna de los indicadores fisiológicos medidos. La estima de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) para la programación del riego se realizó a partir del cálculo de la ET_o , mediante las ecuaciones de Penman-Monteith (Allen et al. 1998), de un coeficiente de cultivo (k_c) conocido (Ayars et al., 2003), y su ajuste según la fracción de área sombreada del cultivo (Federes y Goldhamer, 1990). De manera permanente, se requirió de la presencia de árboles de referencia (tratamiento control), en los que en todo momento no hubo limitación en la disponibilidad de agua en el suelo, al sobreestimar el aporte hídrico necesario del cultivo, y además, no aconteció signo alguno de estrés por encharcamiento.

Se realizó un seguimiento de los distintos estados fenológicos del cultivo, del estado hídrico de los árboles (Ψ_t e intercambio gaseoso), de la dinámica del estado hídrico del suelo y de diversas variables climáticas (estación climática automática ubicada en la propia finca experimental), de las tasas de FS (técnica de compensación de pulso de calor), y de las VDT, especialmente de la máxima contracción diaria (MCD) (sensores LVDT). Tanto en los dataloggers como en los automatismos del sistema de riego empleados, se incorporaron módems telefónicos y radiotransmisores, que facilitaron la recepción de información inmediata y la programación diaria del riego a distancia (CEBAS). Las características climáticas acontecidas fueron las habitualmente registradas en la zona: Unas condiciones de clima Mediterráneo caracterizadas por precipitaciones escasas, aunque en algunos casos torrenciales en primavera y otoño, y un verano cálido y seco.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de la sensibilidad a un estrés hídrico y su recuperación.

La comparación de la sensibilidad del FS y la MCD, como indicadores del estado hídrico del melocotonero, se evaluó en un período de elevada demanda climática carente de lluvias, entre los días del año (DA) 190 y 222 (2005), al imponer un estrés hídrico progresivo por la sucesiva disminución en la lámina de riego: Primera semana 80% ET_C , 65% en la siguiente y 50% en la 3ª y 4ª semanas posteriores, restituyendo el 100% en los días siguientes, tal y como se regó previamente a la reducción del riego. Esta estrategia disminuyó a un 52% la disponibilidad de agua útil en el suelo para la planta al final del período de estrés hídrico, y volver a niveles similares a los de los árboles de referencia (indicativos de capacidad de campo) al restituir el 100% de la ET_C . Se consiguió así, un estrés hídrico moderado y progresivo, como indicó el estado hídrico de los árboles (Ψ_t). Si bien, esta situación no fue detectada significativamente en los valores absolutos de las medidas obtenidas de intercambio gaseoso (fotosíntesis y conductancia estomática) respecto de los árboles de referencia, las tasas diarias de FS si que disminuyeron significativamente tras 25 días de reducción de riego, pero 18 días después que lo hiciese la MCD. Al reanudar el riego al 100% de la ET_C , las tasas de FS no aumentaron lo suficiente como para indicar una plena recuperación, contrario al comportamiento de la MCD, que indicó la ausencia de estrés alguno.

Ambos indicadores resultaron afectados, tanto por la disponibilidad de agua en el suelo como por la demanda evaporativa del ambiente, lo que pudo interferir en la interpretación de los valores absolutos. Por ello, se aceptó como forma más adecuada de expresión la normalización dichos valores, realizada respecto de aquellos proporcionados por las plantas de referencia, relación conocida como intensidad de señal (IS), que determinó a la MCD como el indicador que mayor precocidad mostraba durante la reducción y recuperación de agua útil para la planta en el suelo (Conejero et al., 2007a) (Figura 1). Además, el ruido (coeficiente de variación, CV) encontrado en las medidas de FS, sugirió un mayor número de medidas realizadas que al menos igualase la robustez (ratio IS/ruido) mostrada por la MCD, más fiable en el tiempo, como su instrumental de medida.

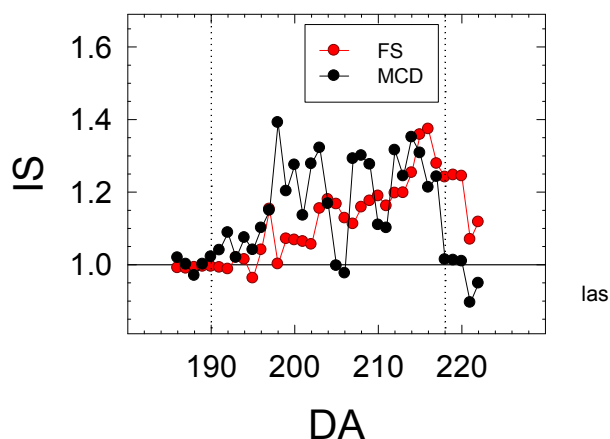


Figura 1. Evolución de la intensidad de señal (IS) de tasas de flujo de savia (FS) y de la máxima contracción diaria del tronco (MCD) durante el período de ensayo.

Comparación de la gestión de FS o MCD en la programación del riego.

A pesar de la variabilidad encontrada en las medidas de FS en el ensayo anterior, superior a la determinada en la MCD (Conejero et al., 2007a), se evaluó la habilidad de cada uno para gestionar la programación del riego al año siguiente. Fue necesario disponer de dos tratamientos diferentes en los que intentar mantener la IS de FS, e IS de MCD, en valores próximos a la unidad (valor umbral) según el protocolo siguiente: Con una programación del riego realizada cada 3 días, se aumentó/disminuyó en un 10% la tasa de riego previa si en 2 de los 3 días previos la IS fue superior/inferior a la unidad, respectivamente.

Comprobado que en sendos tratamientos no hubo drenaje más allá de la profundidad efectiva radical (primeros 60 cm), el estado hídrico de los árboles (Ψ_t) no mostró diferencias significativas entre aquellos de referencia y los regados según la MCD, y si con aquellos regados en función de FS (entre el inicio de la fase II de crecimiento del fruto y tres meses tras cosechar). Diferencias que no se apreciaron al considerar las medidas de intercambio gaseoso.

La precisión por generar una IS cercana a la unidad no resultó fácil de obtener al final del período de crecimiento del fruto (Figura 2), aunque fue más sencillo en al considerar la IS de MCD (Conejero et al., 2007b). Causas posibles: Un intervalo de programación prolongado que determinó una lámina de riego insuficiente en momentos críticos (III fase del crecimiento del fruto), coincidentes con un aumento importante de la demanda climática, la influencia de procesos de agotamiento y recarga de las capacitancias de los tejidos, y/o un aumento insuficiente de la tasa de riego. Así, considerar el empleo de la IS de FS supuso una disminución del 34% en la lámina de riego aplicada respecto de la ET_C acumulada durante el ensayo, y un 7% en el caso de la IS de MCD. Como era de esperar, este último no produjo efecto negativo alguno sobre la producción o el calibre de los frutos, como si sucedió con la IS de FS (Conejero et al., 2007b).

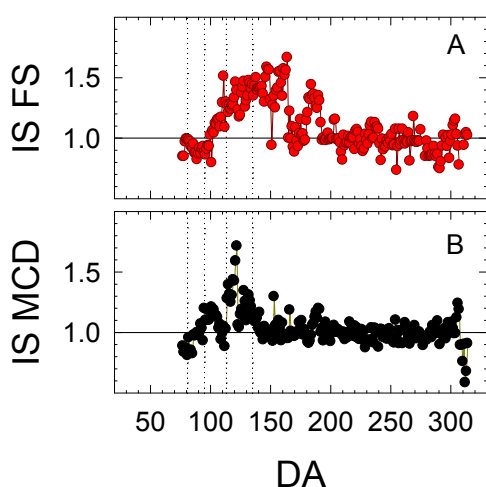


Figura 2. Comportamiento de la intensidad de señal generada en cada uno de los tratamientos (A, en función de la intensidad de señal del flujo de savia; B, idénticamente respecto de la máxima contracción diaria) durante el período de ensayo.

Elaboración y validez de las ecuaciones de referencia.

El mantenimiento de árboles sin restricción hídrica conlleva, no solo un importante lastre económico sino la posible inducción de anoxia radical y alteraciones nutricionales, algo evitable al disponer de líneas base (LB), que proporcionen valores de referencia de MCD en función de alguna variable climática medida, tarea que se abordó hasta 2009 inclusive y tras la cosecha de 2005, cuando los árboles aún presentaban elevadas tasas de crecimiento vegetativo.

Durante la postcosecha del año 2005, las relaciones entre las variables climáticas consideradas y la MCD fueron bien distintas: Mientras que la dependencia del déficit de presión de vapor medio diario (DPV_m) o a mediodía (DPV_{md}) manifestó una relación lineal durante el período de postcosecha, la temperatura media diaria (T_m) o a mediodía (T_{md}) y la evapotranspiración de referencia (ET_o) manifestaron 3 fases delimitadas por cambios en el valor de las pendientes durante el mes de julio, coincidente con un activo crecimiento radical (Abrisqueta et al., 2008). En años posteriores se simplificó dicho comportamiento a dos períodos: Postcosecha I (PI) y II P(II), también delimitados por el momento de mayor tasa de crecimiento radical. Al considerar el período de crecimiento del fruto (CF), desde el aclareo de los mismos, el análisis de la covarianza de las LB de primer grado determinó que sólo existía validez interanual en aquellas dependientes de la ET_o , DPV_m y T_m , es más, en una variedad extratemprana como la estudiada, las LB obtenidas durante el periodo de crecimiento del fruto fueron claramente dependientes de la presencia o ausencia total de frutos en el árbol (Conejero et al., 2010a), manifestándose de nuevo la influencia del balance de carbono.

Finalizada la campaña de 2009, no solo se confirmó el comportamiento descrito, sino que se abrió la posibilidad de obtener una única LB global de la MCD en función de la ET_o , DPV_m y T_m (Figura 3) (Conejero et al., 2010b), quizás, debido en gran parte a la breve permanencia del fruto en el árbol, característico de la variedad empleada, y contrario a los resultados obtenidos por otros autores en especies o variedades frutales con cosechas de temporada media o tardía (Intrigliolo y Castel, 2007).

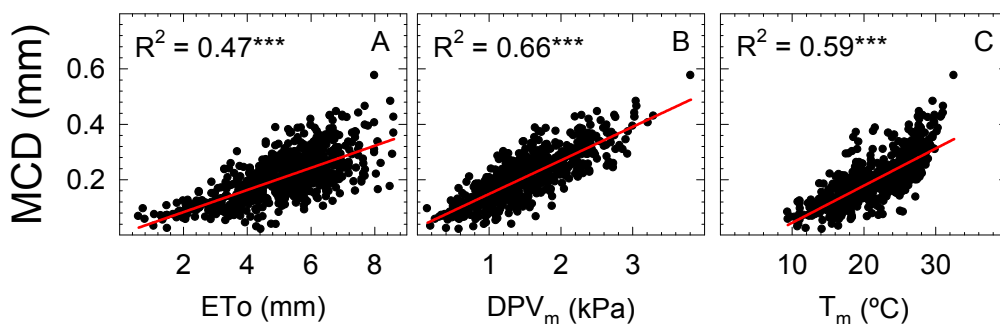


Figura 3. Líneas base globales de la MCD, obtenidas en cuatro campañas, en función de: A, evapotranspiración de referencia (ET_o); B, déficit de presión de vapor medio diario (DPV_m); C, temperatura media diaria (T_m).

Evaluación de la utilidad de las LB en la programación del riego.

Careciendo de referencias sobre el empleo de LB de la MCD en la programación del riego, se evaluó dicho manejo frente al empleo de árboles de referencia, utilizando la LB generada por la T_m (con mayor correlación hasta 2008). En ambos tratamientos, el riego se programó diariamente utilizando una IS próxima a la unidad, con aumentos y descensos del 3% respecto de la tasa de riego previa.

De nuevo, no acontecieron fenómenos de drenaje más allá de los primeros 60 cm de profundidad, como sí ocurrió en los árboles de referencia, y la evaluación del estado hídrico de los árboles (Ψ_t) no manifestó diferencias significativas entre los de referencia y aquellos regados según la IS de MCD (Ortuño et al., 2010), salvo en momentos esporádicos (cuatro días), aplicándose un 78% de la lámina estimada de ET_C acumulada al final del ensayo. Por contra, el empleo de la LB conllevó la aplicación de la mitad de dicha lámina, ocasionando una menor producción y un menor calibre del fruto cosechado; sorpresivamente, tras la cosecha, la dinámica de riego fue muy satisfactoria y muy similar a la seguida por la ET_C , inferior en un 7%, como sucedió al emplear la IS de MCD.

CONCLUSIONES

En suma, la sensibilidad (IS) y variabilidad (ruido) en respuesta al estrés hídrico o una recuperación, corroboró la mayor fiabilidad de la MCD como indicador del estado hídrico de la planta y del instrumental de medida, confirmándose como gestor alternativo, en el melocotonero temprano, de la programación del riego, al no inducirse déficit hídrico alguno ni afectarse la producción o el calibre del fruto, como si sucedió en el caso del FS. Además, mantener una IS de MCD en valores próximos a la unidad, podría considerarse como herramienta en la estima de los requerimientos hídricos de los cultivos, dada la similitud entre las tasas de riego aplicadas y la estima teórica de las necesidades de riego.

Confirmada la validez interanual de las ecuaciones de referencia de la MCD en función de la ET_o , DPV_m y T_m , se amplía la versatilidad de utilización para este indicador del estado hídrico de la planta, sobretodo porque permanecen válidas con diferentes niveles de carga de frutos en la variedad estudiada. Si bien, el empleo de ecuaciones de referencia, como el mantenimiento *in situ* de árboles sin limitación hídrica en el suelo, obliga a realizar ajustes en la variación de las dosis de riego, por conseguir mayor precisión del mismo, quizás convendrían mayores incrementos de las tasas de riego a las ensayadas durante los periodos críticos coincidentes con épocas de elevada demanda evaporativa (III fase del crecimiento del fruto), dando por hecho que el riego se programa diariamente.

AGRADECIMIENTOS

No todos los autores que firman esta comunicación integran el esfuerzo realizado para la obtención de estos resultados, habiéndose requerido un mayor número de colaboradores del departamento de Riego del CEBAS (CSIC), así como de nuevos investigadores formados al abrigo de las publicaciones que se han derivado.

BIBLIOGRAFÍA

- Abrisqueta, J.M., Mounzer, O., Álvarez, S., Conejero, W., García-Orellana, Y., Tapia, L.M., Vera, J., Abrisqueta, I. Ruiz-Sánchez, M.C. (2008). *Agr. Water Manage.* 95, 959-967.
- Allen, R.G., Pereira, R.S., Raes, D., Smith, M. (1998). *FAO Irrigation and Drainage paper n° 56.* Rome, Italy, pp 15-27.
- Ayars, J.E., Johnson, R.S., Phene, C.J., Trout, T.J., Clark, D.A., Mead, R.M. (2003). *Irrig. Sc.* 22, 187-194.
- Conejero, W., Alarcón, J.J., García-Orellana, Y., Abrisqueta, J.M., Torrecillas, A. (2007b). *Tree Physiol.* 27, 81-88.
- Conejero, W., Alarcón, J.J., García-Orellana, Y., Nicolás, E., Torrecillas, A. (2007a). *Tree Physiol.* 27, 1753-1759.
- Conejero, W., Mellisho, C.D., Ortuño, M.F., Galindo, A., Pérez-Sarmiento, F., Torrecillas, A., (2010b). *Irrig. Sci.* DOI: 10.1007/s00271-010-0238-0.
- Conejero, W., Ortuño, M.F., Mellisho, C.D., Torrecillas, A. (2010a). *Agric. Water. Manage.* 97, 333-338.
- Fereres, E., Goldhamer, D.A. (1990). In *Irrigation of Agricultural Crops*. Eds. B.A. Stewart and D.R. Nielsen. A.S.A. Madison, USA, Monograph 30, pp 987-1017.
- Intrigliolo, D.S., Castel, J.R. (2007). *Tree Physiol.* 27, 89–96.
- Ortuño, M.F., Conejero, W., Moreno, F., Moriana, A., Intrigliolo, D.S., Biel, C., Mellisho, C.D., Pérez-Pastor, A., Domingo, R., Ruiz-Sánchez, M.C., Casadesus, J., Bonany, J., Torrecillas, A. (2010). *Agr. Water Manage.* 97, 1–11.

Plant water relations, an approach to develop a tool for understand Mediterranean agriculture

Robert Savé*, De Herralde, F., Aranda, X., Evans, R.Y⁺. and Biel, C.

* Programa Horticultura Ambiental. Subprograma Ecofisiología. IRTA. Catalunya.

+ Plant Science Department. University of California. Davis. USA.

robert.save@irta.cat

ABSTRACT

Agriculture is the use of primary productivity in our benefit. In order to maintain this productivity, the metabolism of agricultural areas needs a lot of external sources of energy and nutrients (water, food, materials ...) and it produces heat, waste, garbage, sewage and pollution, which are some of the major problems for agricultural practices, above all, when agricultural is introduced in the landscape, as the visual representation of an intricate network of biodiversity.

This activity promoted environmental changes modifies native flora and plants used in crops.

The main environmental factors that affect agriculture are water stress (drought at soil and air level), flooding, salinity, radiation and light intensity, wind, pollutants, competitiveness among species and invasive species, which is defined as global change.

Ecophysiological studies can provide bottom – up objective information to be used as a tool to improve the crop management by means of design, methods and systems that avoiding and/ or adapting plants, crops to the potential vulnerabilities associated with global change.

CONCEPT OF AGRICULTURE IN THESE MOMENTS IN OUR WORLD

Agriculture is the use of primary productivity in our benefit. In order to maintain this productivity, the metabolism of agricultural areas needs a lot of external sources of energy and nutrients and it produces heat, waste, garbage, sewage and pollution, which are some of the major problems for agricultural practices, above all, when agricultural is introduced in the landscape, as the visual representation of an intricate network of biodiversity. Horticultural plants in a wide sense are all the species and/or varieties that provide food, fibers, biomass, drugs, and aesthetical pleasure, improving the environment and the quality of our lives.

This definition indirectly shows a great imprecision because these plants are used around the world and consequently the concept of horticultural is ambiguous because it is based in very important cultural differences.

The use of plants is based on the biological and physical concepts and horticultural principles of plant production, management of plants and ecosystems in landscape settings and sociological aspects of plant/people interactions in the actual increase of urban and periurban environments.

So the number of plant species is incredible wide due to geographical range and great and different functions attributed them.

Consequently, it is impossible to talk about a concrete number of botanical groups, or morphological and/or physiological attributes. We have the first challenge in agricultural plant's concept because we include in the horticultural concept ferns, grasses, herbs, shrubs, trees, cactus... (EHD-UCDavis 1999).

Concept of stress

Another concept that must be early clarified in this work in order to explain and evaluate its effect on agricultural plants is the word stress.

The stress concept describes the unfavorable environmental conditions for plants development. This concept, in spite of using the same word, must be carefully differentiated from the stress in animals and consequently humans.

During the last years there has been an important increase in the number of papers and reviews related to this concept, which can be attributable to the improvement of plant stress detection and the rising interest in order to optimize plant productivity in a wide sense (Levitt 1980; Larcher 1980, 1995; Bradford and Hsiao 1982; Givnish 1986; Alsher and Cumming 1990;; Mooney et al. 1991;; Smith and Griffiths 1993; Lichtenthaler 1998).

Another important aspect of stresses are their variability in the time; they appear or disappear according to environmental conditions or the human activity. As example, must be mentioned that Levitt (1980) in his book "Plant Responses to Stress" uses 3% of pages to define and evaluate the effects of "other stresses", which include different types of pollution, above all associated to human activities. This proportion at the present moment, in the first world, could be more or less reversed.

In these works, the term "plant stress" is used in a very wide sense, because there are a great number of stressors, with different types of action that can induce to very similar responses.

Resistance mechanisms in front stresses

As plants are linked to the specific habitat and cannot run off the environmental and / or anthropogenic stressors, they must try to develop escape, avoidance or tolerance mechanisms,

in order to resist these stressors (Bradford and Hsiao 1982, Mooney et al 1991; Lange 1981, 1982; Caldwell and Pearcy 1994).

Plants have a few potential responses in front of stress but they combine these in good way to reduce the stress consequences. The first are elastic responses that provide high productivity, then as stress is increasing restrictions appear in growth and some adaptations; if stress is maintained, survival rate is reduced and death can appear (Schulze et al 2005).

Thus, drought stress promotes, among others, stomata closure and leaf surface reduction and reduction in osmotic potential to maintain the tissue water balance in the active physiological range (Mooney et al 1991; Caldwell and Pearcy 1994).

In this point is it important to distinguish between responses to environment (ex.: sun – fog) from responses to stress conditions (ex.: high leaf to air water deficit for long time). In a lot of cases the response is the same, but the reversibility of the response isn't (Alscher and Cumming 1990). In other words, the term stress cannot be used to explain the fast readjustments in metabolic fluxes, and water use efficiency (Lichtenthaler 1998).

Plants can be affected by environmental changes at short or long term, which can promote different responses. Some of them can be reversible and can help to resist and maintain the plant productivity, which must be called hardening (this is a usual process in nurseries to promote plants that can resist much better to the transplanting stress). Others could be irreversible and promote deleterious effects on plants life and productivity. In this point it is very important define stress in plants as “Any environmental factor potentially unfavorable to living organisms” (Levitt 1980). Lichtenthaler (1998) introduced in this definition the idea of eu-stress and dis-stress whether has favorable or unfavorable effects on plant productivity.

The acclimation of plants to changing environmental factors or stresses involves both short-term physiological response and long-term physiological, structural and morphological modifications. These changes help to minimize stress in the plant and maximize the use of internal and external resources. In general, stress is not showed in an isolated part of the plant, it is showed as integrated response at whole plant level (Dickson and Isebrands 1991; Alscher and Cumming 1990).

This must be clarified because the intensity of stressors, plant phenology, plant physiology / morphology, the combination of different stressors, etc, can promote different responses (Mooney et al 1991; Nobel 1991).

The major stresses are:

Abiotic: drought, flooding, salinity heat, cold, chilling, freezing, high light, ozone, mineral deficiency, etc

Biotic: insects, fungi, bacteria, virus, elicitors, competitiveness among species.

Anthropogenic: air (O₃, NO_x, SO₂, and aerosols), water (salinity, microbiological, heavy metals, drugs...) and soil (heavy metal, loss of structure...) pollution; herbicides, acid rain, global change...

But, environmental stress is the major actor limiting crop productivity, so actual average yields of crops fall three to seven times below potential yields. Abiotic stresses and weed competition account for 90% of this shortfall, diseases for 6% and insects for 4%. Essentially all crops are affected in all arable areas, and seasonally, yearly important productivity losses are associated to drought, flood and cool stresses (Faust 1986).

All of them are external signals that promoted signal perception, signal transduction and at the same level and moment gene (synthesis of phytoalexins, stress proteins, osmotic adjustments,...) and metabolic (adjustment of metabolic fluxes, synthesis of stress hormones, carotenoids, photoreduction,...) responses (Lichtenthaler 1998).

According the potential changes attributable to global warm could be the increase of temperature at local and/or general range (IPCC, 2007), where small changes in global temperature could have a large influence on atmospheric carbon balance (Valentini et al 2003).

This increase will no be in the same intensity in the entire world (IPCC 2004), it seems that it would be important in Mediterranean Basin (Piñol et al 1998). So, according the most pessimistic previsions temperature could rise close to 4°C and rainfall could drop between 10 to 40% (Rosenzweig. and Tubiello, 1997)

Landscape restoration, agriculture practices preapartion success uses a lot of different tools in order to improve its efficiency (Van Andel and Aronson 2006). Thus, some engineering options (soil preparation, water flow and reservoirs arrangements,...) are used in conjunction with some agronomical and ecophysiological options (plant hardening, selection of species, plant quality, irrigation,...) (Espelta et al. 2003; Estaún et al 1997; García Navarro et al 2004;; Cortina et al 2006).

Methods of measurement this kind of stresses

According to Passioura (1982, 2001), well-watered plants are turgid. Their cells, which are enclosed in a strong but slightl elastic wall, are distended by an internal pressure that may be as high as 1 MPa. Many of the structures of higher plants serve to maintain their cells sufficiently hydrated to grow, to photosynthesize and to respire. Most of these cells are in the shoots of the plants consequently they are not only remote from their supply of water in the soil, but they are also exposed to a dry environment. Plants have developed important structures to avoid water stress, the vacuole and the cuticle (Larcher 1980, 1995; Kariens 1996).

A well-hydrated leaf may transpire several times its own volume of water during a day, so according to Larcher (1980), only 1% of the total water absorbed is used in metabolism, the rest is transpired. Water evaporates from wet cell walls into the internal gas spaces of the leaf. It

then flows away as vapor, largely through stomata, which are variable pores in the surface of the leaf. Also it must be considered that water losses from cuticles, in many species are insignificant, but in other don't (Kartiens 1996), which is important during stress periods, at night, ... (so in holm oak, cuticular transpiration rate is 5% in average of total transpiration rate; also this xeric specie shows lower values of this parameter than mesic species as beech, in which cuticular transpiration rate is 32% in average of total transpiration, Savé et al. 1999, 2003).

The loss of water, by the transpiration process is an unavoidable consequence of the stomata being open, as they must be to allow carbon dioxide to enter the leaf (Cowan 1978, Nobel 1991; Gutschick 1997). The relative humidity inside a leaf is typically greater than 99% and thus there is usually a large difference of absolute humidity across the stomata that induce rapid diffusion of water vapor out of the leaf (Nobel 1991). In spite of this, water losses are not a simple passive physical process because plant water balance is also modified by means of intricate whole plant hormonal balance (Davies 1995, 2004). Although a leaf may lose much water by evaporation, its net loss of water is usually small. Evaporation from cell walls creates in them a large suction that replenishes water by drawing it from the soil, principally via the plant's vascular system, but also through flow across cells in roots and leaf. This continuum of water from soil to atmosphere through the plant provides an interesting tool to study the plant functionalism, which is called plant water relations (Passioura 1982, 2001; Tyree and Zimmermann 2002; Zimmermann and Milburn 1982; Zimmermann 1983).

Ecophysiology or environmental physiology is a biological discipline which studies the adaptation of organism's physiology to environmental conditions. So ecophysiology also can be used as a tool that permits objective evaluations of plant material, methods and systems to optimize their culture under a wide range of environmental conditions (Prasad 1997; Lange et al 1982, Schulze et al. 2005; Stuart et al 2002).

From long time ago the ecophysiological field methods have been used to measure the plant responses to environmental conditions. In the last years, new portable or laboratory methods have been developed which provided easily, fast, repetitive and objective methods for these kinds of studies (Slavik 1974; Pearcy et al. 1989; Hendry and Grime 1993; Peñuelas et al 1993; Reigosa 2001; Mooney et al 1991).

So some parameters as xylem water potential, osmotic potential, stomatal conductance, water use efficiency, abscisic acid, cytokinins, indolacetic acid, ethylene, chlorophyll fluorescence, spectroradiometry, digital photograph,..., are words, are methods that must be included in our language, in our baggage, in a similar way that cholesterol, blood pressure have been included in our language to our health status. These ecophysiological concepts must define plant status, plant stress level and the implications that this is promoting in plant growth.

Some examples of stress in ornamental plants

Drought stress

The demand for landscape plantings that have a low water requirement is increasing, especially in regions that have Mediterranean climate, low and irregular rainfall patterns, heavy radiation and high summer and low and episodic very low winter temperatures (Terradas and Savé 1992). The success of this landscaping trend depends on appropriate plant selection (Savé et al 1990, 1992, 1995,2000). Although this selection could be achieved by “natural selection”—the death of unfit species in the garden—it is clearly more desirable to identify the water needs of different species so that the water requirements of those species can be matched with the availability of water at a given site. Unfortunately there is scarce information about water use of landscape species in the literature, and in most instances that information is based upon anecdotal observations of plant performance in landscape plantings comprising a mixture of species. In those instances, competition for water among neighboring plants of different species is confounding: one cannot know whether a plant that thrives under minimal irrigation in such a garden does so because it consumes very little water, or because it competes better for water than its neighbors (Stuart et al 2002, Clary et al 2004).

Estimates of the water use of agricultural crops are commonly based on empirical determination of a crop coefficient, which relates reference evapotranspiration (ET_o) to actual evapotranspiration of the crop under study (Kelliher and Jackson 2001). The set of conditions required for this procedure—especially a uniform plant canopy and sufficient irrigation water and fertilizer to achieve full growth potential—are not present in most landscape settings. The presence of isolated specimens, or of mixed plantings with varied water requirements and different conditions of hardening, and the influence of adjacent structures and surfaces, are all confounding factors that hinder the application of the crop coefficient method for predicting or determining landscape water use (Araujo-Alves et al. 1999, Vignolio et al 2002, 2005).

So, Costello et al. (1991,2000) attempted to address some of these problems by calculating a landscape coefficient, defined as the product of a species factor, a density factor and a microclimate factor. In this point it's absolutely important to know the plant water relations of different species placed in a garden or landscaping. So it's important to know the water losses and the tolerance and / or avoidance mechanism developed at canopy level but also the resistance to absorb water in the root system, because this would affected the irrigation schedule and water use efficiency of plants used in gardening or landscaping (Garcia Navarro et al 2004, Serrano et al. 2005; Galmes et al. 2006).

Flooding stress

The main effect of flooding is a decrease of oxygen availability for the roots, which affects respiration and electronic transport (Reid and Wample, 1982). Consequently, some physiological and metabolic changes are produced, such as inhibition of growth, wilting and

rolling of leaves, adventitious roots formation, stem hypertrophy, lack of ATP, production of compounds resulting from anaerobic respiration, etc.. Flooding affects the availability of water to leaves and a decrease of stomatal conductance (G_s), and transpiration rate (TR) has been described in order to prevent the dehydration of plant (Savé and Serrano 1986). The closure of stomata produces a decrease in the net photosynthetic assimilation rate and in the leaf water potential (Kozlowsky, 1984). The lack of oxygen induces an anaerobic environment in roots, which are injured and a dramatic decrease of oxygen availability by roots is produced. Many of these changes are related to alterations in plant hormone concentrations (Bradford and Hsiao, 1982, Davies and Zhang, 1991).

ABA appears to act like a messenger between roots and leaves in plants under flooding (Zhang and Davies, 1986 and 1987). Other authors have argued this model and they have suggested that the origin of ABA was not from roots, but from leaves themselves (Jackson et al., 1988; Jackson, 1990). A decrease in foliar cytokinin concentrations in plants under flooding stress has been also referred (Reid and Wample, 1982; Jackson, 1990). These hypotheses have been challenged by other authors, who found that the decrease in the xylem flux is not related to the decrease in the cytokinins concentration levels of leaves (Smit et al., 1990; Neuman et al., 1990). An increase of IAA levels in roots and leaves in plants under flooding have been suggested (Bradford and Yang, 1981; Serrano et al. 1988). Some authors have imputed it to a reduction in the IAA transport, because of a deficiency of oxygen, while other authors have imputed it to an inhibition of IAA-oxidase (Reid and Wample, 1982). On the other hand, one of the most evident phenomenon's of flooding is the hypertrophy of stem, which also takes place in plants treated with an excess of IAA concentrations (Jackson, 1985).

Like other stresses, flooding has associated a drought stress, such as closing of stomata, turgidity loss or epinasty of leaves (Jackson, 1985). Gerbera (*Gerbera jamesonii* cv. Bolus) is an ornamental plant which is commonly cultured hydroponically under greenhouse conditions. It is an important cut flower crop in Europe and the USA (Lin and French 1985). Physiological effects of light, temperature and water stress on gerbera productivity have been reported (Leffring, 1975; Lin and French, 1985;; Olivella and Savé, 1993; Olivella et al 1998; Savé et al., 1995), but the effects of oxygen-deficient roots is lacking, which could be a real stress under hydroponics culture at high temperature.

According to the knowledge related to this kind of stress, flooding could improve the rooting response of cuttings supplied by mother plants waterlogged for 48 h or longer. It also induced a decrease in the transpiration rate and an increased xylem water potential of cuttings. Plants developed from these cuttings showed a higher roots / (leaves + stems) ratio after the rooting period, because hormonal balance has been modified in order to improve plant water balance and survival (Olivella et al. 2000). This technique may be of interest for nursery (Serrano et al.1988).

Marine spray stress

Human activity promotes the use of 50 kg·person⁻¹·year⁻¹ of surfactants. Approximately 90% of this amount is fixed waste water depuration station level and the rest is expelled to the sea. In Mediterranean coastal must be taken in consideration that besides the fixed population every year receives and incredible number of tourists (close to 275 million in 2006). This amount of surfactants promoted aerosol during storms and damaged coastal vegetation in Barcelona. This is caused by sea sprays polluted with surfactants, mainly LABS (alquil-benzen-sulphonate-linear; anionic surfactants), has been detected from 1991. In other metropolitan areas close to Mediterranean Sea was detected before (Gellini et al 1983, 1985).

As polluted marine aerosol wets the leaves, then surfactants increase permeability to NaCl through the cuticle. Unfortunately, Mediterranean plants are not adapted to resist this kind of stress and plant material sources must be looked from tropical or volcanic areas, because in these plants cuticles have been developed to resist the environmental conditions (Schreiber and Riederer 1996).

Also at this moment, in Mediterranean coastal of Iberian Peninsula, plants are submitted to double stress, surfactant plus ozone. But deleterious effects are mainly associated to pollute marine sprays.

Water restrictions during nursery stage can promote hardened process, which promote plants with higher specific leaf weight, smaller leaf surfaces and wider cuticles than normal plants. This altogether accurate species selection and some architectural, physical barriers can allow interesting quality of gardening and landscaping in these polluted areas (Diamantopoulos et al 2001; Marull et al 1997)

Insect / plant relationship

Greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae) is an important greenhouse vegetable pest. To study the relationship between this insect and vegetation white eggs were detached from the leaf and exposed to a range of osmotic concentrations (between -0.4 and -2.2 MPa) in controlled conditions.

Eggs were able to hatch in the low and medium solute concentrations. In the higher concentrations, hatching was delayed and significant mortality due to egg desiccation was observed.

These results indicate that leaf osmotic potential is a plant characteristic that affects greenhouse whitefly survivorship. Therefore leaf osmotic potential should be considered when evaluating greenhouse whitefly resistance (Castañe and Savé 1993; Jolivet 1998).

CONCLUSIONS

The deep and wide knowledge of plant responses in front to stress must help to solve, avoid or reduce some vulnerabilities of crops to global change and consequently could permits maintain, even increase the productivity and the water use efficiency in Mediterranean area under these new and quickly changed conditions.

ACKNOWLEDGEMENTS

I wish to thank Toni Araño, and a lot of people that contributed to increase and improve my knowledge about the life, for their help in wide sense along the time.

REFERENCES

- Alscher, R.G. and Cumming, J.R. 1990. Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms. *Plant biology Biology* vol. 12. Wiley-Liss. New York.
- Araújo-Alves, J.P., Torres-Pereira, J.M.G., Biel, C., De Herralde, F. And Savé, R. 1999. Effects of minimum irrigation technique on ornamental parameters of two Mediterranean species used in xerigardening and landscaping. *Acta Horticulturae* 541: 1-10.
- Bradford, K.J. and S.F. Yang. 1981. Physiological responses of plants to waterlogging. *HortScience*. 16 (1):25-30.
- Bradford, K.J. and Hsiao, T.C. 1982. Physiological response to moderate stress. Pp: 263 – 324. In: O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond y H. Ziegler (eds.). *Physiological Plant Ecology II, Water relations and carbon assimilation. Encyclopedia of Plant Physiology, New series* vol. 12B. Springer-Verlag, Berlin.
- Caldwell, M.M y R.W. Pearcy, R.W. 1994. Exploitation of Environmental Heterogeneity by Plants. *Ecophysiological processes above- and belowground*. Academic Press, San Diego.
- Clary, J., Savé, R., Biel, C., and de Herralde, F. 2004. Water relations in competitive interactions of Mediterranean grasses and shrubs. *Ann. appl. Biol.* 144:1-7.
- Castañe, C. and Savé, R. Leaf osmotic potential decrease: a possible cause of mortality of greenhouse whitefly eggs. *Entomol. exp. appl.* 69:1-4. 1993.
- Cortina, J., Peñuelas, J.L., Puertolas, J., Savé, R. and Vilagrosa, A. 2006. Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterraneos. *Serie Forestal*. Ministerio de medio Ambiente. Madrid.
- Costello, L. (1991). Estimating water requirements of landscape plantings. The landscape coefficient method. California: Extension University of California, Division of Agriculture and Natural resources.
- Costello, L. (2000). A guide to estimating irrigation water needs of landscape plantings in California. University of California Cooperative Extension.
- Cowan, I.R. 1978. Water use in higher plants. In McIntyre AK (Edit). *Water: planets, plants and people*. Aust. Acad. Sci. pp; 71-107. Cambridge.

- Davies, P.J. 1995. Plant hormones. Physiology, biochemistry and molecular biology. Kluwer academic publishers. Dordrech.
- Davies, P.J. 2004. Plant hormones. Biosynthesis, signal transduction, action. Kluwer academic publishers. Dordrech.
- Davies, W.J., and J. Zhang. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annu. Rev. of Plant Physiol. and Plant Mol. Biol.* 42:55-76.
- Dickson, R.E. and Isebrands, J.G. 1991, Leaves as regulators of stress response. pp:5 – 34. In *Response of Plants to Multiple Stresses*. Academic Press, California, USA.
- Diamantopoulos, J.; Biel, C.; Savé, R. (2001). Meccanismi di resistenza/sensibilità nei confronti dell'aerosol marino inquinato nella vegetazione costiera della zona di Barcellona. *Economia Montana - Linea Ecologica* 1:55-61.
- EHD-UCDavis. 1999. Growing points.3:1-2. University of California.
- Espelta, J.M., Retana, J. and Habrouk, A. 2003. An economic and ecological multi-criteria evaluation of restoration methods to recover burned *Pinus nigra* forest in NE Spain. *Forest Ecology and Management* 180: 185-198.
- Estaún, V.; Savé, R.; Biel, C. 1997. AM inoculation as a biological tool to improve plant revegetation of a disturbed soil with *Rosmarinus officinalis* under semi-arid conditions. *Applied Soil Ecology* (6):223-229.
- Evans, R.Y., Garcia –Navarro, C., Sachs, R y Savé, R. 1997. Effects of some roots characteristics on plant water status of two ornamental shrubs. Memoria beca CIRIT. En Curso de doctorado UAB. *Procesos Ecofisiologicos y Cambio Global*.
- Faust, M. 1986. Research priorities for horticultural science. *HortScience* 21(6): 1475 -1480.
- Galmés, J., Medrano, H., Savé, R. and Flexas, J. 2006. Ecophysiological responses to water stress and recovery in Mediterranean plants with different growth forms and leaf habits. I. Water relations and stomatal conductance. *Plant and Soil* DOI 10.1007/s11104-006-9148-6.
- García-Navarro, M.C., Evans, R.Y. & Savé, R. 2004. Estimation of relative water use among ornamental landscape species. *Scientia Horticulturae* 99:163-174
- Gellini, R. Pantani, F., Grossoni, P., Bussoti, F, Barbolani, E. and Rinallo, C.. 1983. Survey of the deterioration of the coastal vegetation in the Park of San Rossore. *European Journal of Forest Pathology*. 13:296-304.
- Gellini, R. Pantani, F., Grossoni, P., Bussoti, F, Barbolani, E. and Rinallo, C... 1985. Further investigation on the causes of the disorder of the coastal vegetation in the Park of San Rossore. *European Journal of Forest Pathology*. 15:147-157.
- Givnish, T.J (ed). 1986. On the economy of plant form and function. Cambridge University Press. Cambridge. UK.
- Gutschick, V.P. 1997. Photosynthesis, growth rate and biomass allocation. Pp:39 – 78. In *Ecology in agriculture*. Edit. L.E. Jackson. Academic Press. San Diego.
- Hendry, G.A.F. y Grime, J.P. 1993. *Methods in comparative plant ecology*. Chapman and Hall. London.
- IPCC. 2004, 2007. *Climate Change*. Cambridge University Press.
- Jackson, M.B. 1985. Ethylene and responses of plants to soil waterlogging and submergence. *Annu. Rev. of Plant Phys.* 36:145-174.
- Jackson, M.B., Young, S.F. and Hall K.C. 1988. Are roots a source of abscisic acid for the shoots of flooded plants. *J. of Expt. Bot.* 39 (209):1631-1637.

X Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas

Jackson, M.B. 1990. Communication between the roots and shoots of flooded plants. Importance of Root to Shoot Communication in the Responses Environmental Stress. Brit. Soc. for Plant Growth Regulat. Monograph 21:115-133.

Jolivet, P. 1998. Interrelationship between insects and plants. CRC Press. Boca de Raton.

Kartiens, G. 1996. Plant Cuticles. An integrated functional approach. Bios Scientific Publishers. Oxford.

Kelliher, F.M. y Jackson, R. 2001. Evaporation and the water balance. In the Physical Environment. . Oxford University Press. Melbourne.

Kozlowski, T.T. 1984. Flooding and Plant Growth. Academic Press. Orlando.

Lange, O.L., Nobel, P.S., Osmond, C.B. y Ziegler, H. 1981. Physiological plant ecology I. Responses to physical environment. Encyclopedia of plant physiology. New series. Vol.12A. Springer Verlag. Berlin.

Lange, O.L., Nobel, P.S., Osmond, C.B. y Ziegler, H. 1982. Physiological plant ecology II. Water relations and carbon assimilation. Encyclopedia of plant physiology. New series. Vol.12B. Springer Verlag. Berlin.

Larcher, W. 1980. Physiological Plant Ecology. Springer-Verlag. Berlin.

Larcher, W. 1995. Physiological Plant Ecology. 3rd ed. Springer-Verlag.

Leffring, L. 1975. Effects of daylength and temperature on shoot and flower production of gerbera. Acta Hort. 51:263-265.

Lichtenthaler, H.K. 1998. The stress concept in plants: an introduction. pp:187 – 198. In Stress of Life: From molecules to man. Ann. Of New York Acad. Sci. 851: 187 – 198.

Lin, W.C. and French C.J.. 1985. Effect of supplementary lighting and soil warming on flowering of three Gerbera cultivars. Hortscience 20(2):271-273.

Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. Vols. 1 and 2. T.T. Kozlowski Edit. Academic Press. New York.

Marull, J., Savé, R. and Bayona, J.M^a. 1997. Efectos de la contaminación química sobre la vegetación del frente litoral de Barcelona. Retema 61: 25 – 35.

Mooney, H.A., Winner, W.E. y Pell, E.J. 1991. Response of Plants to Multiple Stresses. Academic Press, California, USA.

Neuman, D.S., Rood, S.B. and Smit, B.A 1990. Does cytokinin transport from root-to-shoot in the xylem sap regulate leaf responses to root hypoxia. J. of Expt. Bot. vol. 41 (231): 1325-1333.

Nobel, P.S. 1991. Physicochemical and environmental plant physiology. Academic Press. San Diego.

Olivella, C. and Savé, R. 1993. Effects of moderate substrate drought stress on water relations and hormonal content in two cultivars of gerbera. In Environmental Constraints in Protected Cultivation: Possibilities for New Growing Techniques and Crops. EEC Report EUR 15123 EN. pp:53-64. ISBN 1018-5593.

Olivella, C., Vendrell, M. And Savé, R. 1998. Abscisic acid and ethylene content in Gerbera jamesonii plants submitted to drought and rewatering. Biol. Plantarum. 41 (4): 613-616.

Olivella, C., Biel, C., Vendrell, M. and Savé, R. 2000. Hormonal and physiological responses of Gerbera jamesonii to flooding stress. HortScience 35(2): 1-4.

- Passioura, J.B. 2001. Encyclopedia of life sciences. Nature publishing group/www.els.net
- Passioura, J.B. 1982. Water in the soil-plant-atmosphere continuum. pp. 5-33. En: O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond y H. Ziegler (eds.). Physiological Plant Ecology II, Water relations and carbon assimilation. Encyclopedia of Plant Physiology, New series vol. 12B. Springer-Verlag, Berlin.
- Pearcy, R.W., Ehleringer, J., Mooney, H.A. y Rundel, P.W. (eds.) 1989. Plant physiological Ecology. Field methods and instrumentation. Chapman and Hall, London-NewYork.
- Peñuelas, J., Filella, I., Serrano, L., Biel, C. and Savé, R. The reflectance at the 950-970 nm region as an indicator of plant water status. International Journal of Remote Sensing. 14(10):1887-1905.1993.
- Piñol, J., Terradas J, and Lloret, F.. 1998. Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. Climatic Change 38: 345–357
- Prasad, M.N.V., (ed).1997. Plant Ecophysiology. John Wiley & Sons Inc. New York. U.S.A.
- Reid, D.M. and Wample R.L.. 1982. Water relations and plant hormones, p.513-578. In: R.P. Pharis and D.M. Reid (eds.). Hormonal Regulation of Development III. Role of Environmental Factors. Encyclopedia of Plant Physiology. New Series. Volume 11. Springer-Verlag, Berlin.
- Reigosa, M.J. 2001. Handbook of plant ecophysiology techniques. Edit. Reigosa, M.J. Kluwer Academic Publishers. . Dordrech.
- Rosenzweig, C. and Tubiello, F. N., 1997. Impacts of global climate change on Mediterranean agriculture: current methodologies and future directions. An introductory essay. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 1 (3), pp. 219-232.
- Savé, R. y Serrano.L. 1986. Some physiological and growth responses of kiwifruit (*Actinidia chinensis*) to flooding. Physiol. Plant. 66:75-78.
- Savé, R. and Matas, J. 1990. Gerbera sensitivity to chilling and freezing stress. Physiol. Plantarum, 79(2-2):A1-A152,
- Savé, R., Vendrell, P., Pérez-Aranda, L. and Alegre, L. 1992. Low temperature effects on chlorophyll fluorescence and plant water relations in gerbera. Physiol. Plant 85(3):A1-A118,.
- Savé, R., Castell, C. y Terradas, J. 1999. Gas exchange and water relations. In Ecology of Mediterranean evergreen oak forests. Rodà, F., Retana, J., Gracia, C.A. y Bellot, J. (eds.) Springer-Verlag. Berlin.
- Savé, R., Peñuelas, J., Filella, I. and Olivella, C. 1995. Water relations, hormonal level and spectral reflectance of *Gerbera jamesonii* Bolus submitted to chilling stress. Journal of American Horticultural Science 120 (3): 515-519..
- Savé, R.; Biel, C.; De Herralde, F. 2000. Leaf pubescence, water relations and chlorophyll fluorescence in two subspecies of *Lotus creticus* L.. Biologia Plantarum 43 (2):239-244.
- Savé, R.; Biel, C.; De Herralde, F.; Bayona, J. M^a; Diamantopoulos, J. 2001. Efectos del aerosol marino contaminado en la vegetación en el área mediterránea de la Península Ibérica. Jardineros 12:11-15.
- Savé, R.; Biel, C.; De Herralde, F.; Roberts, W.; Evans, R. 2003. Some ecophysiological characteristics of leaves of sixteen *Quercus* species. A: Optimisation of Water Use by Plants in the Mediterranean. Cala Bona, Mallorca, 24-27 March, 2003. Association of Applied Biologists.
- Savé, R. 2009. What is stress and how to deal with ornamental plants? Acta Horticulturae.813 :241 – 254.
- Schreiber, L. and Riederer, M. 1986. Ecophysiology of cuticular transpiration: comparative investigation of cuticular water permeability of plant species from different habitats. Oecologia 107: 426-432.

- Schoulze, E.D., Beck, E. and Müller-Hohenstein, K. 2005. Plant Ecology. Springer
- Serrano, L., R. Savé, and O. Marfà. 1988. Effects of waterlogging on rooting capacity of *Hydrangea macrophylla* L. Scientia Hort. 36:119-124.
- Serrano, L., Peñuelas, J., Ogaya, R. And Savé, R. 2005. Tissue-water relations of two co-occurring evergreen Mediterranean species in response to seasonal and experimental drought conditions. J- Plant Res. 118: 263-269.
- Slavik, B. 1974. Methods of studying plant water relations. Ecological studies 9. Chapman and Hall / Academic Press. London/Berlin.
- Smit, B.A, D.S. Neuman and M.L.Stachowiak. 1990. Root hypoxia reduces leaf growth. Role of factors in the transpiration stream. Plant Physiol. 92:1021-1028
- Smith, J.A.C. y Griffiths, H.1993. Water Deficits. Plant responses from cell to community. Bios Scientific Publishers.Oxford.
- Stuart, F. Ch., Matson, P.A. y Mooney, H.A. 2002. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology.Springer-Verlag.New York.
- Terradas, J. and Savé, R. Summer-winter double stress and water relationships as clue factors in the distribution of *Quercus ilex* L. Vegetatio 99-100:137-145, 1992.
- Tyree, M.T. y Zimmermann M.H. 2002. Xylem structure and the ascent of sap. 2nd edition. Springer-Verlag, Berlin. Germany.
- Valentíni, R. 2003. Fluxes of Carbon, Water and Energy of European Forst. Ecological Studies 163. Springer- Verlag.Berlin.
- Van Andel, J. and Aronson, J. 2006. Restoration Ecology. Blackwell Publishing.
- Vignolio, O.R., Biel, C., De Herralde, F., Araújo-Alves, J.P. & Savé, R. 2002. Growth of *Lotus creticus creticus* and *Cynodon dactylon* under two levels of irrigation. Aust. J. Agric. Res. 53:1375-1381.
- Vignolio O.R., Biel C., de Herralde F., Araújo-Alves J.P.L and Savé R. 2005. The use of water stress tolerant *Lotus creticus creticus* and *Cynodon dactylon* in soil revegetation on different slopes in Mediterranean weather conditions. Annales Botanici Fennici 42: 195 – 205.
- Zhang, J., and . Davies W.J. 1986. Chemical and hidraulic influences on the stomata of flooded plants. J. of Expt. Bot. Vol.37(183):1479-1491.
- Zhang, J. and. Davies W.J. 1987. ABA in roots and leaves of flooded plants. J. of Expt. Bot. Vol. 38(189): 649-659
- Zimmermann, M.H. 1983. Xylem structure and the ascent of sap. Springer-Verlag, Berlin. Germany.
- Zimmermann, M.H. y Milburn, J.A. 1982. Transport and storage of water. pp. 135-151. En: O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond y H. Ziegler (eds.). Physiological Plant Ecology II, Water relations and carbon assimilation. Encyclopedia of Plant Physiology, New series vol. 12B. Springer-Verlag, Berlin.

Sesión 1. Utilización de sensores de diámetro del tronco
para el manejo del riego.

Moderadores:

Alejandro Pérez-Pastor (UPCT, España)
y Pedro Rodríguez (INCA, Cuba)

Relación entre la máxima contracción diaria y otros parámetros ecofisiológicos en cerezo para madera

Biel, C., Abdelfatah, A., de Herralde, F., Savé, R., Aranda, X.

IRTA Torre Marimón, Ecofisiología. 08140 Caldes de Montbui, España

Carmen.biel@irta.es

ABSTRACT

The maximum daily shrinkage (MDS) is a parameter that can be used for irrigation decision-making. An assay has been raised under controlled conditions where the irrigation was withdrawn, in order to find the threshold values of maximum daily trunk shrinkage in cherry plants and compare their response with other ecophysiological parameters commonly used in water relations studies. Results show that MDS has a significant relationship with leaf water potential, followed by stomatal conductance and sap flow. In addition, the MDS has been the most sensitive indicator to water stress under the experimental conditions developed in present assay.

INTRODUCCIÓN

El agua es un bien escaso en nuestras condiciones socioeconómicas, que se ha de gestionar correctamente en clima mediterráneo en las que es necesario aportar agua de riego en cultivos leñosos para asegurar una producción continuada y estable en el tiempo. Para llevar a cabo una correcta aplicación del riego se utilizan sensores en el suelo y en la planta (Fernández y Cuevas, 2010 y Ortuño et al. 2010). La máxima contracción diaria (MCD) del tronco es un indicador del estado hídrico de los árboles ya que está muy correlacionado con el potencial hídrico foliar (Ortuño *et al.*, 2006). El presente ensayo trata de valorar la idoneidad de la MCD como indicador de estrés en cerezos para madera, sometidos a dos niveles de déficit hídrico a nivel de sustrato, así como su comparación con otros indicadores ecofisiológicos del estado hídrico vegetal y su relación con las variables ambientales.

MATERIAL Y MÉTODOS

Treinta plantas de 3 años de edad de *Prunus avium* CYL-01 se situaron en un invernadero multitúnel de cubierta de plástico en las instalaciones del IRTA en Caldes de Montbui (Barcelona) en contenedores de 25 litros con un sustrato compuesto de turba:perlita (2:1 v:v). El riego fue suministrado diariamente mediante goteros de 4 L.h⁻¹ aportando la dosis proporcional a la demanda evaporativa (100%ET_o). En julio de 2009, las plantas se distribuyeron en 3 grupos, un grupo se regó diariamente, un segundo grupo se sometió a un ciclo sequía-recuperación y a un tercero se le aplicó tres ciclos de sequía-recuperación. El nivel de máximo estrés se determinó cuando el potencial matricial del sustrato alcanzó -60 kPa. Después se volvieron a regar durante tres días hasta que el potencial matricial alcanzó los valores del tratamiento de riego diario (punto de recuperación) En el segundo grupo de plantas, este ciclo se repitió 3 veces. En cuatro árboles de cada grupo se instalaron: un dendrómetro (LVDT df 2.5, Solartron, UK), un sensor de flujo de savia (modelo T 4.2, EMS, Brno, Cz) y un electrotensiómetro (ISR, Irrrometer, USA). La señal de los dendrómetros y electrotensiómetros se recogía en un datalogger (CR1000, Campbell, UK) y el flujo de savia con su propio

datalogger cada 10 minutos. En el mediodía solar del día de inicio del tratamiento, del día de máximo estrés y del día de la recuperación se midió el potencial hídrico foliar con una bomba de presión (Soilmoisture 3500, USA), la conductancia estomática (modelo SC-1, Decagon, USA) y la fotosíntesis (modelo GFS 3000, Walz, Alemania) en 6 árboles por tratamiento. Las condiciones ambientales del invernadero que se registraron fueron la radiación solar (piranómetro modelo PYR, Decagon, USA), la temperatura y la humedad relativa del aire (modelo SS-1, Decagon, USA). A partir de la variación del diámetro del tronco se calculó la máxima contracción diaria (MCD= diferencia entre el máximo y el mínimo diario).

Se llevaron a cabo regresiones de los diferentes parámetros con la máxima contracción diaria y se analizó su significación con el Proc Reg (SAS, versión 9.1, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los días de máximo estrés, las plantas control presentaron valores medios de máxima contracción diaria (MCD), potencial hídrico (Ψ_l), conductancia estomática (g_s), fotosíntesis neta (P_n) y potencial matricial del sustrato (Ψ_s) de 0.120 mm, -1.7 MPa, 130.7 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 4.6 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, y -21kPa respectivamente. Las plantas estresadas con un ciclo de sequía alcanzaron el día de máximo estrés valores de 0.329 mm, -2.4 MPa, 42.6 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 1.0 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y -61 kPa respectivamente. Las plantas sometidas a tres ciclos de sequía los días de máximo estrés alcanzaron valores de 0.326 mm, -2.2 MPa, 29.7 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 0.5 $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y -51 kPa respectivamente. Analizando las correlaciones de los diferentes parámetros registrados con la MCD se observó que el Ψ_l fue el que mostró una mayor correlación con la MCD ($R^2 = 0.35$ $p < 0.001$) (Fig. 1) seguido de la g_s ($R^2=0.31$ $p < 0.01$) (Fig. 2) y el flujo de savia ($R^2=0.28$ $p < 0.001$) (Fig. 3). La tasa fotosintética (datos no mostrados) no presentó relación con la MCD. Respecto a los parámetros ambientales la MCD mostró correlación con el potencial matricial del sustrato ($R^2=0.57$ $p < 0.001$) (Fig. 4) y con la temperatura media del aire (control $R^2=0.29$ $p < 0.001$ y estrés $R^2=0.55$ $p < 0.001$) (Fig. 5) y el DPV (control $R^2=0.32$ $p < 0.001$ y estrés $R^2=0.44$ $p < 0.001$) (Fig. 6). En estos dos últimos parámetros se puede observar que a una determinada temperatura media y /o un mayor DPV del aire la MCD fue mayor en las plantas estresadas respecto a las plantas control.

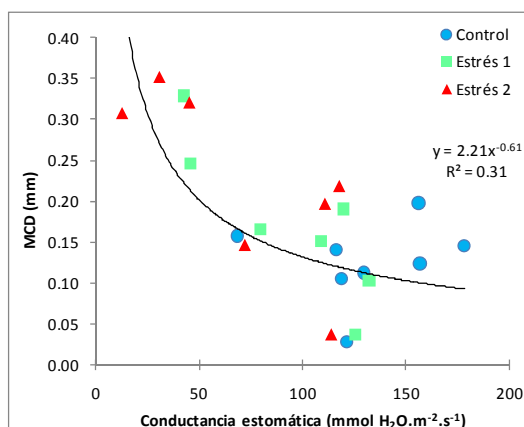
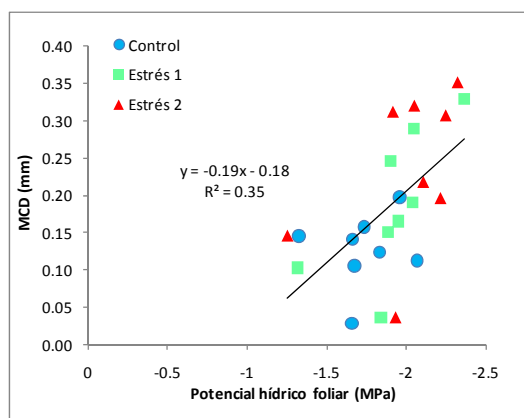


Figura 1. Relación entre la MCD y el potencial hídrico. Cada valor de MCD es la media de 4 medidas y el Ψ_l es la media de 6 valores. Figura 2. Relación entre la MCD y la conductancia estomática. Cada valor de MCD es la media de 4 medidas y la G_s es la media de 6 valores.

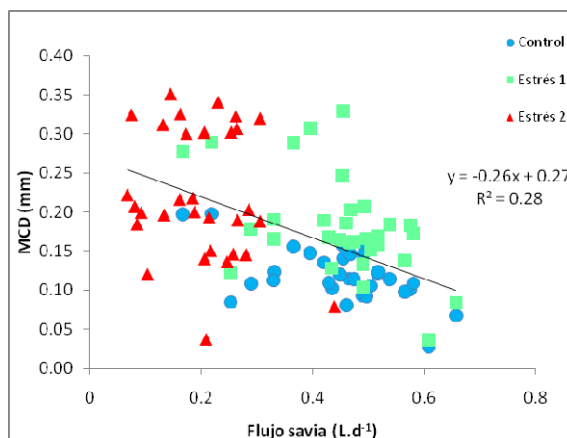


Figura 3. Relación entre la MCD y el flujo de savia por planta. Cada valor es la media de 4 medidas

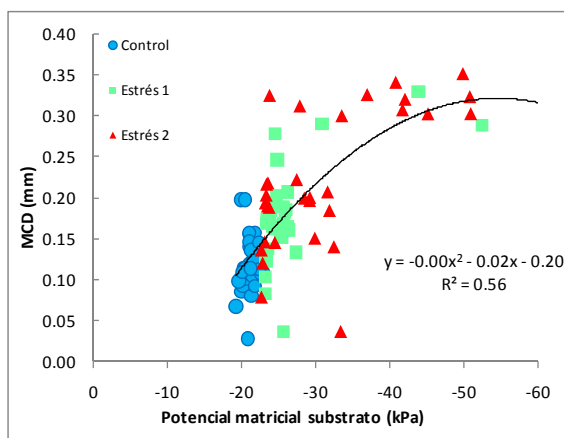


Figura 4. Relación entre la MCD y el potencial matricial del substrato. Cada valor es la media de 4 medidas.

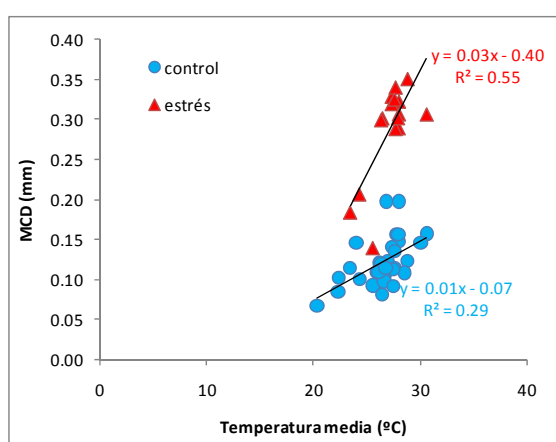


Figura 5. Relación entre la MCD y la temperatura media diaria.

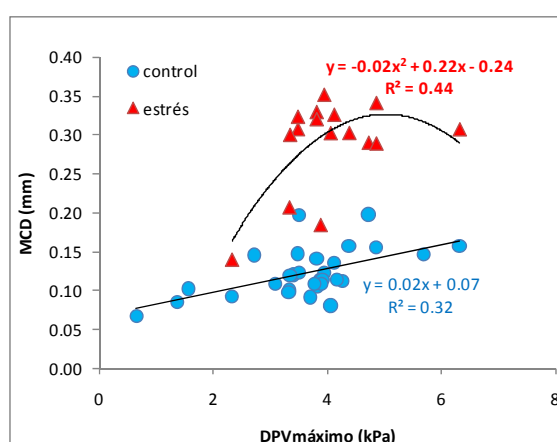


Figura 6. Relación entre la MCD y el DPV máximo (al mediodía)

Con la finalidad de determinar cuál fue el indicador más sensible se calculó la señal de los diferentes parámetros dividiendo la media de los mismos de las plantas control entre la media de los mismos en las plantas estresadas. El ruido se calculó como el coeficiente de variación y la sensibilidad se calculó dividiendo la señal entre el ruido (Goldhamer y Fereres, 2001; Naor et al., 2006).

Tabla 1. Señal, ruido y sensibilidad de la máxima contracción diaria, el potencial hídrico foliar, transpiración planta, conductancia estomática y tasa fotosintética.

Parámetro	Señal	Ruido	Sensibilidad = señal/ruido
MCD	1.79	0.23	9.83
Potencial hídrico	1.15	0.13	8.75
Transpiración planta	2.91	0.63	4.61
Conductancia estomática	0.62	0.57	1.08
Fotosíntesis neta	0.52	0.66	0.78

Las condiciones ambientales estivales dentro del invernadero condicionaron la respuesta de todos los tratamientos más allá de lo concerniente a los tratamientos de estrés radicular. Se

detectaron diferencias entre las plantas control y estresadas y ello permitió tener un rango de valores de los diferentes parámetros para poder realizar las distintas correlaciones. La relación entre la MCD y el potencial hídrico es la que presentó valores más altos de coeficiente de determinación lo que concuerda con numerosa bibliografía (Ortuño *et al.*, 2010). El coeficiente de determinación menor fue entre MCD y el flujo de savia, lo cual puede ser debido a que en condiciones de elevada demanda evaporativa y menor disponibilidad de agua en el sustrato ambos indicadores responden de manera diferente al estrés hídrico: La MCD detecta el agua que se extrae de los tejidos de la corteza y suele acabarse antes, en cambio el flujo de savia extrae el agua de todos los tejidos de la planta y por tanto disminuye la transpiración un poco más tarde (Cermak y Nadezhdina, 1998, Cermak *et al.*, 2007). Por otra parte, una MCD alta puede corresponderse tanto con un flujo transpiratorio alto como con uno bajo, caso de los estomas hayan respondido al estrés cerrándose, lo cual daría lugar a un menor ajuste entre estos dos parámetros. Es decir en condiciones de déficit hídrico la MCD es independiente del flujo transpiratorio, ya que el mismo puede venir regulado tanto a nivel radicular como atmosférico (Cermak *et al.*, 2007; Sevanto *et al.*, 2008)

CONCLUSIONES

La buena relación entre el potencial hídrico y la conductancia estomática y su mayor sensibilidad nos permiten concluir que la MCD es un buen estimador del estado hídrico en cerezo y por tanto puede ser utilizada para la programación del riego.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación del MICINN vía proyecto (AGL2007-66277-C03-01) y por beca predoctoral (BES-2008-009667) concedida a A. Abdelfatah. También agradecen al Servicio de Restauración de la Vegetación de la Junta de Castilla y León por la cesión del material vegetal para este ensayo. También quieren agradecer a J. Cazaña, B. Grau, M. Ferrer, C. Morales y E. Serra la ayuda en el trabajo de campo.

BIBLIOGRAFÍA.

- Cermak y Nadezhdina, 1998. *Annales des Sciences Forestières*, 55: 509-521.
- Cermak *et al.*, 2007. *Tree Physiology*, 27:181-198.
- Fernández y Cuevas, 2010. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150: 135-151.
- Goldammer y Fereres, 2001. *Irrigation Science*, 20:115-125.
- Naor *et al.* 2006. *Irrigation Science*, 24: 129-135.
- Ortuño *et al.*, 2006. *Plant and Soil*, 279:229-242.
- Ortuño *et al.*, 2010. *Agricultural Water Management*, 97: 1-11.
- Sevanto *et al.*, 2008. *Plant and Soil*, 305: 77-90.

El uso de la máxima contracción diaria del tronco como indicador en la programación del riego de la aceituna de mesa

Moriana, A¹; Girón, I²; Corell, M¹; Moreno, F²

¹ Departamento de Ciencias Agroforestales. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica. Universidad de Sevilla. Crta de Utrera Km 1, 41013 Sevilla (España).

amoriana@us.es

² Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (IRNAS, CSIC), Avda Reina Mercedes 10, 41012 Sevilla (España)

RESUMEN

La variación del diámetro del tronco es un sistema que se está sugiriendo para la programación del riego de varias especies frutales pero que no tiene resultados claros en olivo. El parámetro de estos ciclos más tradicionalmente empleado es la máxima contracción diaria (MCD). En este trabajo se pretende analizar los posibles causantes que limitan el uso de la MCD en olivo. Una de las limitaciones principales es la respuesta de la MCD a las variaciones de potencial hídrico. Un estrés hídrico moderado supuso una variación en el MCD respecto a la disminución del potencial hídrico, lo que provocó que diferencias claras en el potencial hídrico tuviesen valores de MCD similares. No obstante se sugiere y discute el manejo de la MCD en riego deficitario de olivar de mesa.

INTRODUCCIÓN

El riego deficitario controlado (RDC) es una técnica de programación de los riegos muy empleada en cultivos leñosos. En olivo, Goldhamer (1999) describe como la fase de endureciendo de hueso es la más resistente a la falta de agua en el suelo. En los últimos años, el riego deficitario se ha mejorado con el uso de medidas en planta que permiten un control más preciso de los niveles de estrés empleado. Goldhamer y Fereres (2001) presentan un protocolo general para el manejo del riego en frutales base a la variación del diámetro del tronco. La variación del diámetro del tronco se produce en ciclos diarios de contracción y expansión. Los parámetros más empleados son la máxima contracción diaria (MCD) y la tasa de crecimiento del tronco (TCT). La MCD es el parámetro más empleado en distintas especies de frutales, mientras que la TCT prácticamente no se usa. En olivo la variación del diámetro del tronco ha dado lugar a resultados muy contradictorios (Moriana et al 2003).

El objetivo de este trabajo es el de sugerir el manejo de la MCD en la programación del riego de olivar de mesa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en la finca experimental el Hampa perteneciente al IRNA (Instituto de Recursos Naturales y Aerobiología) del Consejo Superior de Investigaciones científicas (CSIC) situada en Coria del Río (Sevilla, España, 37° 17' N, 6° 3' W, 30 m). La plantación era de olivo del cv Manzanilla de Sevilla a un marco de 7x5 m y con una edad de 38 años. El suelo es arenoso-limoso con una profundidad de 0.9 a 2 m y con una clasificación USDA de Xerochrept.

En este trabajo se reúnen datos de varios años (del 2005 al 2009) en los que se ha procurado caracterizar la evolución de los parámetros de la variación del diámetro del tronco en condiciones no limitantes de agua. Para estos datos se han utilizado de 4 a 6 árboles, dependiendo del año. El tratamiento de riego fue del 125% de la ETc (evapotranspiración del cultivo) calculado según el método FAO. También se presentan los datos del año 2007 en el que a un grupo de árboles se les suprimió el riego entre los días 166 al 267. Durante los años 2008 y 2009 se aplicaron dos riegos deficitarios (1 y 2) que difirieron principalmente en la cantidad de agua recibida al comienzo de la estación con un mayor riego en el caso del tratamiento 1.

Los datos empleados para caracterizar los ciclos de variación del diámetro del tronco son:

La máxima contracción diaria (MCD) calculada como la diferencia entre el máximo y el mínimo diarios.

La tasa de crecimiento del tronco (TCT) calculada como la diferencia entre dos máximos diarios consecutivos.

La caracterización del estado hídrico de los árboles se realizó además con medidas de potencial hídrico medido al mediodía en hoja cubierta con una bomba tipo Scholander.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La relación entre la máxima contracción diaria (MCD) y el potencial hídrico medido al mediodía (Ψ) durante la estación del 2007 en árboles control y árboles a los que se suprimió el riego se presentan en la Fig. 1.

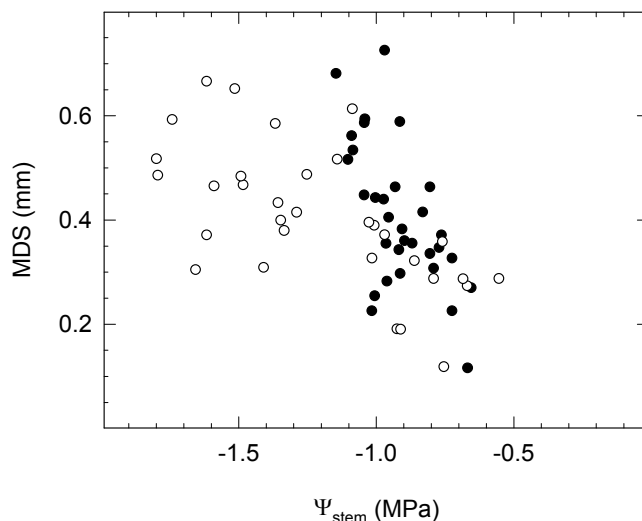


Figura 1. Relación entre la máxima contracción diaria y el potencial hídrico de árboles control (●) y árboles que sufrieron un periodo de estrés hídrico (○) durante el año 2007.

Los árboles control tendieron a una relación lineal hasta una MCD de aproximadamente 0.7 mm. En cambio, los árboles estresados tendieron a una mayor dispersión con una relación lineal que se fue perdiendo conforme disminuyó el potencial hídrico. Esto supuso que en condiciones de estrés hídrico poco severo haya diferencias claras de Ψ (-1 MPa vs -1.5 MPa) pero no de MCD que en ambos casos estuvo entorno a los valores máximos. Esto indica

que a pesar de tener una respuesta al estrés hídrico, el valor de MCD no es válido para identificar un estrés poco severo en olivo. Moriana et al (2000) presentó una evolución similar en la que aumentaba el rango de potencial hídrico medido y se observaba una clara tendencia a disminuir el MCD con el incremento del estrés hídrico. En nuestro trabajo no hubo diferencias significativas en la conductancia estomática que indiquen influencia en el cambio de la relación MCD vs Ψ (datos no mostrados). Esta tendencia ha sido confirmada en otras especies frutales (Ortuño et al., 2010). Por lo tanto la utilidad de la MCD en la programación del riego del olivar de mesa estaría limitada. Sin embargo, en olivo se sugieren niveles de estrés severos durante la fase de endurecimiento por lo que podría ser interesante el uso de valores inferiores a los esperados en MCD. Para esto sería preciso el establecer estos valores de referencia en base a alguna medida meteorológica sencilla. La Figura 2 presenta los datos de la MCD de los años 2005 al 2008 respecto a la temperatura al mediodía.

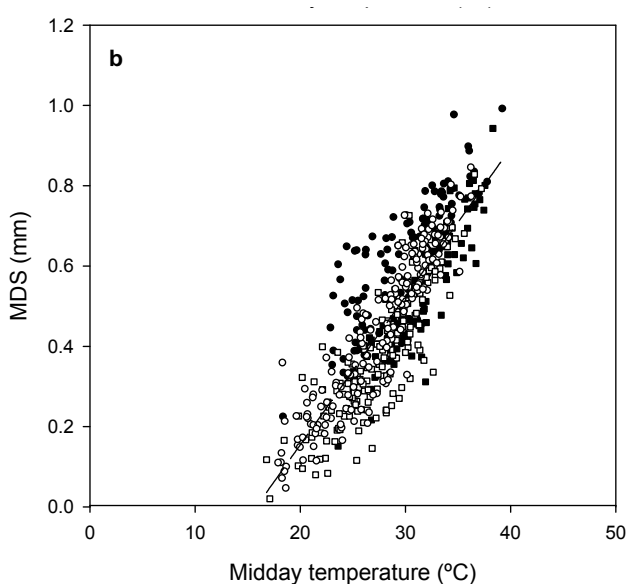


Figura 2. Relación entre la máxima contracción diaria y la temperatura al mediodía. ■ 2005; ● 2006; □ 2007; ○ 2008. La línea presentada corresponde al ajuste de todos los datos ($Y=0.58+0.037X$; $R^2=0.73^{***}$).

De todas las variables meteorológicas empleadas (temperatura media y al mediodía, DPV medio y al mediodía) el mejor ajuste correspondió a la temperatura al mediodía. En una misma estación no hubo influencia del estado fenológico de los árboles. Al comparar diferentes estaciones si hubo diferencias entre los ajustes encontrados. Los años de carga tendieron a valores mayores, para un mismo valor de temperatura, que los años de descarga. No obstante estas diferencias no fueron muy elevadas respecto al uso de una ecuación que englobe todos los datos obtenidos.

Sin embargo, en el caso del riego deficitario la evolución de la MCD podría estar afectada por el manejo del riego que se haya realizado durante la estación anterior. La Fig. 3 presenta los datos de la señal de MCD en dos riegos deficitarios diferentes realizados en la misma finca que el ajuste de la Fig. 2 durante dos años consecutivos (Fig. 3a, 2008; Fig. 3b, 2009). Durante el primer año de aplicación de los riegos deficitarios la evolución de la intensidad de señal MCD (IMCD) fue similar entre los dos tratamientos (Fig. 3a). La IMCD estuvo cercana a 1 hasta aproximadamente el día 150, en el que comenzó a incrementarse. Los valores de potencial

hídrico no fueron significativos hasta el comienzo de la siguiente fase (día 166). En el segundo año (Fig. 3b) la IMCD del tratamiento 1 se mantuvo a niveles cercanos a 1 durante el comienzo de la estación de crecimiento, mientras que en el tratamiento 2 tuvo valores claramente superiores. En esta fase del cultivo durante este año no se obtuvieron diferencias significativas en potencial hídrico (datos no mostrados)

Esta diferencias producidas, aparentemente, por el manejo del agua en el año anterior, indica una gran sensibilidad de la MCD no sólo a niveles de estrés hídrico producidos en el momento si no también a respuesta fisiológicas de la planta en estaciones anteriores. Estas variaciones podrían estar relacionadas con cambios entre los tratamientos en el tipo de hoja o en el sistema de conducción de la planta generados en condiciones de estrés hídrico moderado.

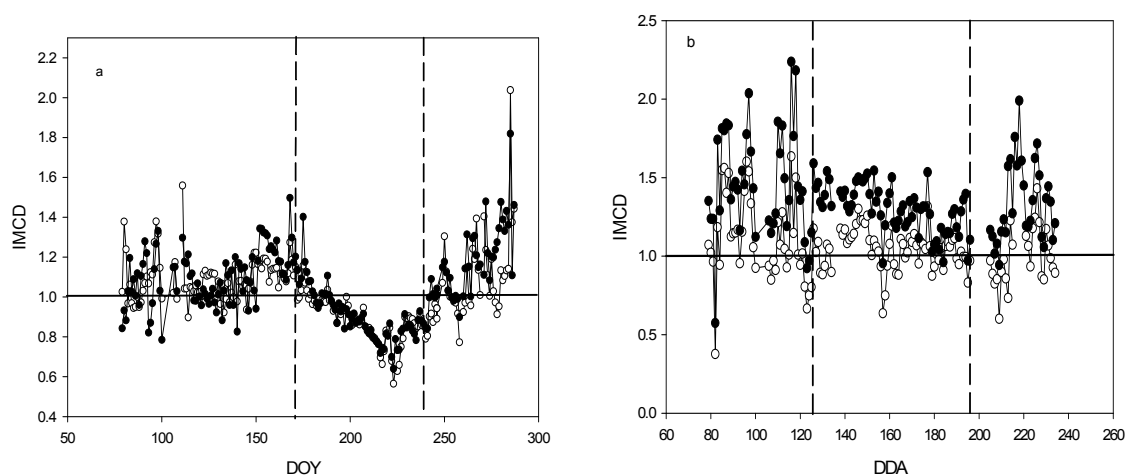


Figura 3. Evolución de la intensidad de señal de la máxima contracción diaria (IMCD) durante el año 2008 (a) y 2009 (b). ● Tratamiento deficitario 1. ○ Tratamiento deficitario 2.

REFERENCIAS

- Goldhamer, D (1999): Regulated deficit irrigation for California canning olives. *Acta Horticulturae* 474, 369-372.
- Goldhamer, D.A., Fereres, E., 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrig. Sci.* 20, 155-125.
- Moriana, A., Fereres, E., Orgaz, F., Castro, J., Humanes, M.D., Pastor, M., 2000. The relations between trunk diameter fluctuations and tree water status in olive trees (*Olea europaea* L.). *Acta Hort.* 537, 293-297.
- Moriana, A., Orgaz, F., Fereres, E., Pastor, M., 2003. Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128, 425-431.
- M.F. Ortuño, W. Conejero, F. Moreno, A. Moriana, D.S. Intrigliolo, C. Biel, C.D. Mellisho, A. Pérez-Pastor, R. Domingo, M.C. Ruiz-Sánchez, J. Casadesus, J. Bonany, A. Torrecillas (2010). Could trunk diameter sensors be used in woody crops for irrigation scheduling?. A review of current knowledge and future perspectives. *Agric. Wat. Management* 97:1-11

Efectos de la carga productiva sobre las relaciones hídricas del almendro

Puerto, P¹., Domingo, R¹., Solano, F. J².; García, M¹., Pérez-Pastor, A¹. Torres, R³.

¹Departamento de Producción Vegetal. ETSIA. UPCT. Paseo Alfonso XIII, 48. 30203. Cartagena. España.

pablo.puerto@upct.es

²Estación Experimental Agroalimentaria 'Tomás Ferro'. ETSIA. UPCT. Cartagena. España.

³ETSII. UPCT. Campus de la Muralla s/n 30202. Cartagena. España.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento preciso del estado hídrico del árbol es fundamental para el uso racional del agua de riego. Goldhamer y Fereres (2001) informaron de la gran sensibilidad de la máxima contracción diaria (MCD) y de la tasa de crecimiento diaria (TCD) del diámetro de tronco a la disponibilidad de agua en el suelo. Dada la influencia de la demanda climática en los valores de MCD, diversos autores han obtenido líneas de referencia para predecir la MCD de árboles bien regados en función de las variables climáticas (Fereres y Goldhamer, 2003; Intrigliolo y Castel 2007; Egea *et al.*, 2009, Conejero *et al.*, 2010). Goldhamer y Fereres (2004) aplicaron con éxito este tipo de información en la elaboración de protocolos de riego basados en MCD. Sin embargo, Intrigliolo y Castel (2007) a partir de un estudio realizado en ciruelos informan de la influencia de la carga en las rectas de regresión MCD vs variables meteorológicas. De ahí, el interés de conocer en qué medida afectan a las líneas de referencia y por lo tanto a las dosis de riego años con cargas diferentes. El objetivo del presente trabajo fue simular años de diferentes cargas productivas en almendros adultos y estudiar sus efectos sobre las relaciones hídricas.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se realizó durante 2009 en una parcela de almendros (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb, cv. 'Marta') perteneciente a la Estación Experimental Agroalimentaria 'Tomás Ferro' de la Universidad Politécnica de Cartagena. El estudio abarcó las fases IV (días 150 a 229) y V (días 230 a 335) del ciclo del almendro. Los árboles de 10 años de edad, a marco de 7 m x 6 m, se regaron por goteo a partir de un único lateral por hilera de árboles y 6 goteros de 8 L h⁻¹ árbol⁻¹. El agua de riego mantuvo una conductividad eléctrica de 1,25 dS m⁻¹. El suelo es de textura franco-arcillo-limosa, densidad aparente de 1,4 g cm⁻³ y contenido de agua útil de 0,18 m m⁻¹. Durante las fases IV y V la evapotranspiración de referencia (ET_o) fue de 433 y 328 mm y la lluvia de 0 y 235 mm, respectivamente.

Se ensayaron 3 tratamientos de carga, según un diseño de bloques al azar con tres repeticiones por tratamiento de 3 filas de 4 árboles cada una, definidos como: i) carga alta, T₁₀₀, sin eliminación de frutos, ii) T₅₀, carga media, eliminación del 50% de los frutos y iii) T₀, carga nula. El riego se programó para satisfacer el 100% de la evapotranspiración del cultivo (ET_c), determinada a partir del producto entre ET_o (Allen *et al.*, 1998), el coeficiente de cultivo (Kc - Doorenbos y Pruitt, 1977) y de corrección por tamaño de copa (Kr - Fereres y Goldhamer, 1990). El volumen anual de riego se midió con contadores y fue de 6950 m³ ha⁻¹.

En 6 hojas, procedentes de brotes de más de 1 año, y en 3 frutos por tratamiento se determinó el potencial hídrico foliar y de fruto a mediodía (Ψ_h ; Ψ_f - cámara de presión SAM Precis 2000), así como sus componentes osmótica (Ψ_{oh} ; Ψ_{of} - osmómetro Roebing, mod. 13DR) y de presión (Ψ_{ph} ; Ψ_{pf}). En idéntico número de hojas se controló el potencial de tallo a mediodía (Ψ_t). Las fluctuaciones de diámetro de tronco se registraron mediante 6 sensores LVDT (Solartron Metrology, Bognor Regis, UK, model DF \pm 2.5 mm, precision \pm 10 μ m) por tratamiento, instalados a 40 cm del suelo y en la cara norte del tronco, y a partir de ellas se obtuvieron la máxima contracción (MCD) y tasa de crecimiento (TCD) diarias. Al inicio y final del ensayo se midió con cinta métrica el perímetro de tronco en 6 árboles por tratamiento y se calculó la sección transversal de tronco (STT). Los pesos secos de poda se estimaron a partir de la relación obtenida en la misma parcela entre el peso fresco (PF) y peso seco (PS) de la madera eliminada [PS (kg) = $-0,041 + 0,551 \cdot PF$ (kg); $r^2 = 0,99$; ($P < 0,001$)]. El déficit de presión de vapor (DPV) utilizado fue el medio diario del periodo 10.00–15.00 h TU. La recolección tuvo lugar el día 229 y se valoró a partir de los 4 árboles de la fila central de cada repetición.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ψ_t presentó valores altos ($\Psi_t \approx -0,6$ MPa) y prácticamente similares y constantes en los tres tratamientos en las fases previas a la eliminación de frutos (día 150). Tras la eliminación de frutos, Ψ_t disminuyó de forma gradual con el aumento de la demanda climática y significativamente con el aumento de la carga, registrándose diferencias medias respecto a T_0 de 0,15 y 0,35 MPa para T_{50} y T_{100} respectivamente (Figura 1A). Tras la cosecha Ψ_t fue nuevamente similar en los 3 tratamientos, sugiriendo un claro efecto del número de frutos sobre el estado hídrico del árbol (Figura 1A). De modo similar, MCD fue significativamente diferente durante la fase IV ($MCD_{T_{100}} > MCD_{T_{50}} > MCD_{T_0}$) y no tras la cosecha ni en las fases previas a la eliminación de los frutos (Figura 1B). Durante la fase IV, las pendientes de las rectas de regresión, MCD (μ m) vs DPV (kPa), forzadas a pasar por el origen, aumentaron significativamente con la carga (Figura 1C). La explicación a este hecho podría encontrarse en el aumento de MCD con la carga, debido a: i) mayores tasas de transpiración, tal como indican los niveles medios de conductancia estomática durante esta fase (127, 151 y 198 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ - T_0 , T_{50} y T_{100} ;) y de transpiración (2,9, 3,3 y 3,9 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ - T_0 , T_{50} y T_{100}) y la caída de Ψ_t con el incremento de carga (Figura 1A), ii) al menor crecimiento del tronco, T_0 presentó valores medios de TCD de 55 $\mu\text{m día}^{-1}$, mientras los de T_{50} y T_{100} fueron de 22 y 19 $\mu\text{m día}^{-1}$ respectivamente (Figura D) y iii) a la menor concentración de azúcares en los tejidos leñosos lo que implicaría un aumento de Ψ_0 en los tejidos del floema y a la vez un mayor gradiente de potencial hídrico entre corteza y xilema lo que implicaría una mayor MCD para un determinado Ψ_t (Figura 1E - Intrigliolo y Castel, 2007).

La figura 1F ilustra como Ψ_h a diferencia de Ψ_f (Figura 1G) no detectó diferencias de estado hídrico entre tratamientos. Sin embargo, las hojas de los tratamientos con menor carga (T_0 y T_{50}) y posiblemente la parte vegetativa en general, a tenor del mayor crecimiento observado en STT y madera de poda (Tabla 1), disminuyeron Ψ_{oh} (Figura 1H) respecto a T_{100} ganando relevancia relativa su papel de sumidero de fotoasimilados. Sin embargo, a nivel de fruto la

tendencia cambió ya que T_{100} fue el que presentó menores Ψ_{of} (Figura 1I), posiblemente debido a una menor hidratación de los frutos y a su importante misión de sumidero; priorizando el árbol el destino de los fotoasimilados a favor del fruto frente a los tejidos de reserva.

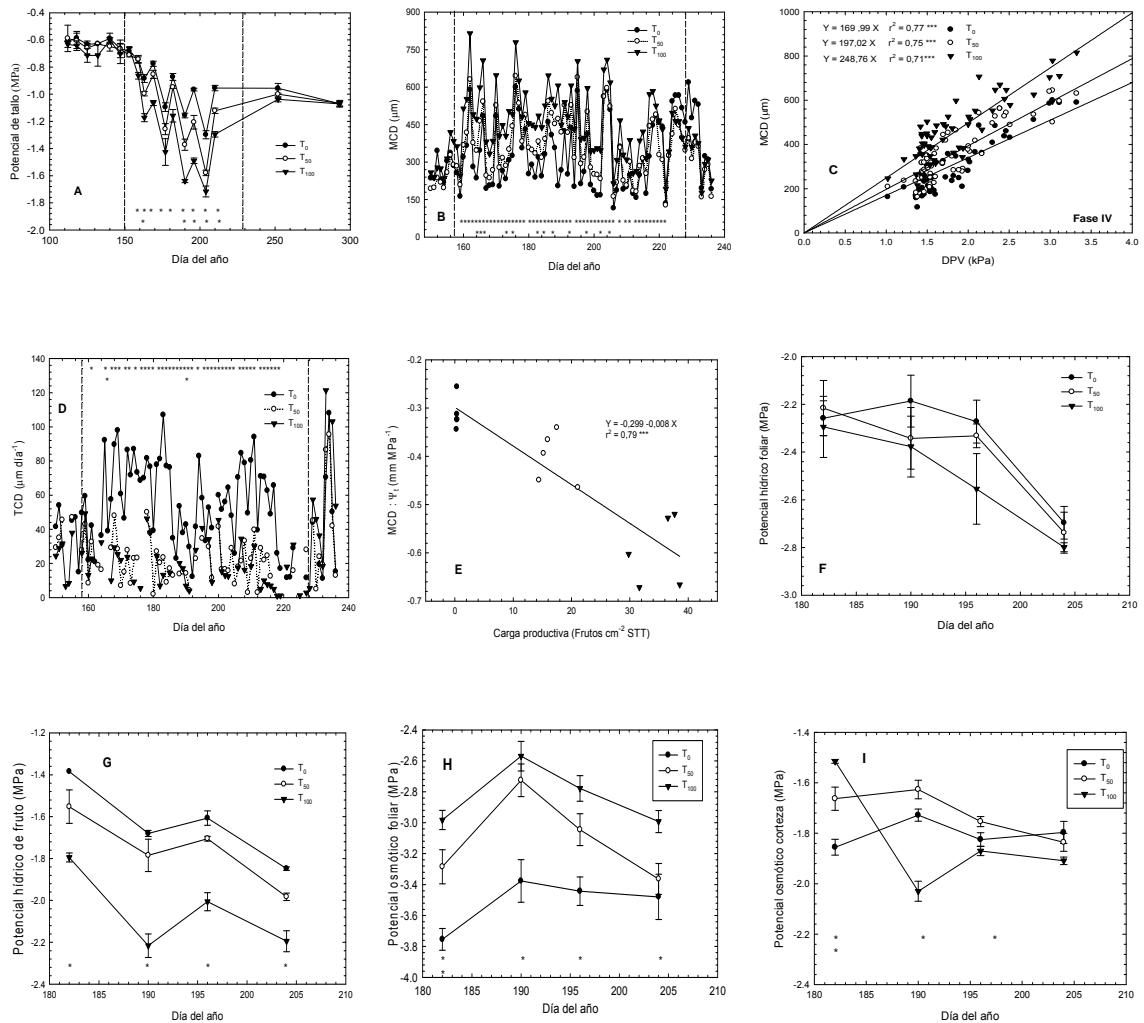


Figura 1. A) Evolución del potencial de tallo a mediodía. B) Máxima contracción diaria del diámetro de tronco. C) Relación entre MCD y DPV durante la fase IV. D) Tasa de crecimiento diaria del diámetro de tronco, las líneas verticales discontinuas indican el día de eliminación de los frutos y de cosecha. E) Relación entre el ratio MCD: Ψ_t y la carga productiva. F) Potencial hídrico foliar. G) Potencial hídrico de fruto. H) Potencial osmótico foliar. I) Potencial osmótico de corteza. Las barras verticales indican el error estándar de la media. Un asterisco indica diferencias significativas entre los tratamientos extremos y dos asteriscos entre los 3 tratamientos según el test de Rango Múltiple de Duncan ($P < 0,05$).

La producción y sus componentes fueron acordes a las cargas de cosecha simuladas (Tabla 1). El peso medio del grano fue mayor en T_{50} que en T_{100} , lo que pone de manifiesto la mayor disponibilidad de fotoasimilados para los frutos de árboles de menor carga. La competencia existente por los fotoasimilados entre órganos en crecimiento quedó reflejada por la alta correlación existente entre los pesos secos de poda y ΔSTT frente al número de frutos por árbol ($R^2 \approx 0,99$).

Tabla 1: Producción, pesos de poda y crecimiento de tronco.

Tratamiento	Alm- cáscara kg ha ⁻¹	Alm-grano kg ha ⁻¹	Nº frutos árbol ⁻¹	Peso seco grano (g)	Peso seco poda (Kg)	ΔSTT (cm ²)
T ₀	-	-	-	-	14,40a	1,41a
T ₅₀	4044a	1290a	4080a	1,32a	11,28b	0,45b
T ₁₀₀	7673b	2540b	8720b	1,22b	9,09b	0,23b
ANOVA	***	***	***	*	**	***

Valores medios de cada columna seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas según el test de rango múltiple de Duncan. *, P<0,05; **, P<0,01; *** P<0,001.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio indican que la carga de frutos afecta a las relaciones hídricas del almendro tanto a nivel foliar, de fruto como de tronco, ya que la generalidad de los indicadores de estrés hídrico controlados respondieron al nivel de carga ensayado. El hecho de que la carga modifique las relaciones de predicción del valor de la MCD en función de la demanda climática, indica la conveniencia de que ésta sea considerada en los protocolos de riego basados en la intensidad de señal de MCD. Aunque TCD fue un indicador menos sensible que Ψ_c y MCD para detectar el estado hídrico de almendros adultos, puso de manifiesto, en conjunción con el crecimiento de ramos y en un año de alta producción, la competencia existente por los fotoasimilados entre frutos, ramos y tronco. Una carga alta de cosecha afecta negativamente al peso medio del grano, parámetro de calidad relevante de la almendra, al crecimiento del tronco y a los pesos de poda pero no así a la fracción semilla/almendra-cáscara, porcentaje de pelonas, almendras dobles y vacías. El hecho de que se observaran condiciones de déficit hídrico ligero-moderado a partir del potencial hídrico de tallo a mediodía en T₅₀ y T₁₀₀ recomienda un segundo año de estudio bajo condiciones no limitantes de agua en el suelo garantizadas para poder corroborar o no la influencia del número de frutos en las relaciones MCD vs DPV.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN). Proyecto AGL2007-66279-C03-03/AGR. Pablo Puerto recibió una ayuda del subprograma FPI del MICINN.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.G. et al. 1998. FAO-Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome 174
- Conejero, W. et al. 2010. Agricultural Water Management 97. 333-338.
- Doorenbos, J., Pruitt, W.O. 1977. FAO Irrigation and drainage paper 24. FAO. Rome, p 144.
- Egea, A. et al. 2009. Irrigation Science. 27(6): 431-441.
- Fereres, E., Goldhamer, D.A. 1990. American Society of Agronomy. pp 987-1017.
- Fereres, E., Goldhamer, D.A. 2003. Journal of Horticultural Science & Biotechnology. 78 (2): 139-144
- Goldhamer, D.A., Fereres, E. 2001. Irrigation Science. 20 (3): 115-125.
- Goldhamer, D.A., Fereres, E. 2004. Irrigation Science. 23 (1): 11-19.
- Intrigliolo, D.S., Castel, J.R. 2007. Tree Physiology. 27: 89-96.

New tools for regulated deficit irrigation scheduling in early maturing peach trees

C.D. Mellisho¹, W. Conejero¹, M.F. Ortuño¹, A. Galindo¹, A. Moriana², F. Moreno³, A. Torrecillas^{1,4}

¹ Dpto. Riego. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CSIC). P.O. Box 164, E-30100 Espinardo (Murcia), Spain.

wenceslao@cebas.csic.es

² Dpto. Ciencias Agroforestales. EUITA. Universidad de Sevilla. Crta de Utrera km 1, E-41013 Sevilla, Spain.

³ Dpto. Protección del Sistema Suelo-Planta-Agua. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (CSIC), P.O. Box 1052, E-41080 Sevilla, Spain

⁴ Unidad Asociada al CSIC de Horticultura Sostenible en Zonas Áridas (UPCT-CEBAS). Paseo Alfonso XIII s/n, E-30203 Cartagena (Murcia), Spain.

Introduction

Regulated deficit irrigation (RDI) is an irrigation strategy designed to save water with a minimum impact on yield and fruit quality (Chalmers, 1989). In stone fruits trees two critical periods have been defined. The first one corresponds to the second rapid fruit growth period (stage III), when water stress induces a reduction in yield due to the smaller fruit size at harvest. The second critical period is the early postharvest period, in which water stress affects flower bud induction and/or the floral differentiation processes that occur at this time (Ruiz-Sánchez et al., 1999).

It is important to bear in mind that in peach trees RDI can reduce yield if the recovery of tree water status is delayed after deficit irrigation, particularly when the water stress extends into the stage III of fruit development (Girona et al., 1993). For this reason, in early maturing peach trees, with their very short period from fruit set to harvest and a very long post-harvest phenological period, deficit irrigation should be applied only during the post-harvest period in order to avoid any effect on yield and fruit quality.

Under deficit irrigation conditions, the continuous control of tree water status is crucial in order to prevent a moderate, potentially beneficial, water stress from becoming too severe and ending in a reduction of yield (Domingo et al., 1996). In this sense, LVDT sensors are able to measure daily trunk diameter fluctuations (TDF) with great precision, generating sensitive parameters which strongly correlate with established plant water status parameters (Ortuño et al., 2010). The most common TDF parameter for the irrigation scheduling is the maximum daily trunk shrinkage (MDS). Absolute MDS values registered without considering the evaporative demand might be meaningless, and for irrigation scheduling it is better to use the concept of signal intensity (SI) (actual MDS/reference MDS) (Goldhamer and Fereres, 2001). MDS SI values above unity indicate water stress levels, while SI values of unity indicate the absence of irrigation-related stress (Ortuño et al., 2010).

The research reported in this paper was conducted to test the hypotheses that RDI scheduling can be based exclusively on MDS measurements, and that by maintaining MDS SI values close to unity during fruit growth, a moderate water deficit during early postharvest

period and a more severe water stress during late postharvest period, it is possible to save water without affecting yield and fruit components.

Materials and methods

Experimental conditions, plant material and treatments

The experiment was performed during three growing seasons (2007, 2008 and 2009). The soil was stony (33% w/w) and shallow, with a clay-loam texture. The volumetric soil water content at field capacity and permanent wilting point were 0.35 and 0.15 m³ m⁻³, respectively. The plant material was 6 year old early maturing peach trees (*Prunus persica* (L.) Batsch cv. Flordastar) grafted on GF-677 peach rootstock. Tree spacing followed a 5 m x 5 m square pattern.

ET_C was estimated according to Allen et al. (1998). T0 plants were irrigated daily above the estimated ET_C (≈ 130%). Before fruit thinning, the regulated deficit irrigation (RDI) treatment (T1) was irrigated at 100% ET_C. From fruit thinning to 2 weeks after, RDI plants were irrigated to maintain MDS SI at values close to unity (no irrigation-related stress). During the early postharvest period, RDI plants were irrigated to maintain MDS SI values close to 1.3. Finally, during the late postharvest period RDI plants were irrigated to maintain MDS SI values close to 1.6. In T1, the irrigation rate was decreased by 3% when the MDS SI did not exceed the threshold value on the previous day, and increased by 3% when the MDS signal intensity exceeded the threshold value.

Measurements

The soil volumetric water content (θ_v) of the top 150 mm of the soil profile was measured by time-domain-reflectometry (TDR). The θ_v content of the soil from 0.2 m down to a maximum depth of 0.80 m was measured using a neutron probe, in access tubes installed 1.0 m from the trees and next to the emitters (10 cm).

Midday (12.00 h solar time) stem water potential (Ψ_{stem}) was measured in leaves enclosed in a small black plastic bag covered with aluminium foil for at least 2 h before measurements in a pressure chamber.

TDF were measured throughout the experimental period in four trees per treatment, using a set of linear variable displacement transducers (LVDT) attached to the trunk, with a special bracket made of Invar and aluminium. MDS was calculated daily as the difference between maximum and minimum daily trunk diameter.

Results and discussion

The fact that MDS SI values from fruit thinning to 2 weeks after harvest in T1 plants showed low variability and remained close to the selected MDS SI threshold value (unity) (Fig. 1) and that their Ψ_{stem} values were similar to those of T0 plants (data not shown) indicates that the irrigation water amounts applied were suitably adjusted and able to satisfy the plant water requirements while saving irrigation water compared with the amount estimated by ET_C (Conejero et al., 2007). The difference between the applied water rate in the MDS signal intensity-driven schedule (T1) and peach evapotranspiration (ET_C) during this period (Table 1)

could be attributed to the fact that the crop factors used to calculate ET_C (FAO 56, Allen et al., 1998) were not developed for an early maturing peach cultivar as the used in the experiment.

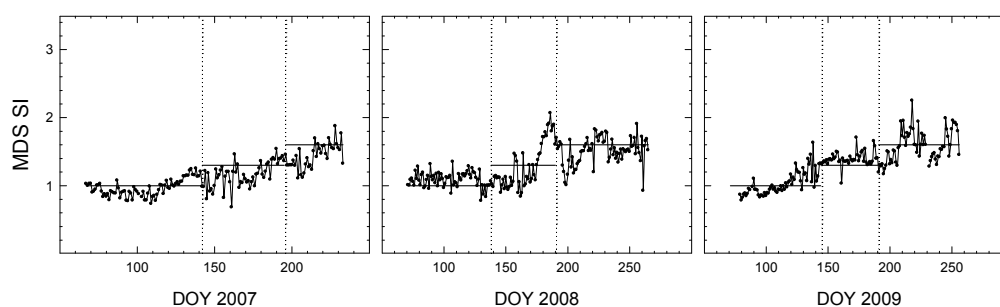


Fig. 1. MDS SI values in T1 treatment plants. Horizontal lines indicate the MDS signal intensity threshold values (1, 1.30 and 1.60). Vertical dotted lines from left to right represent the beginning of early and late postharvest periods, respectively. Each data point is the mean of four values.

The moderate variability of MDS SI values during the early and late postharvest periods (Fig. 1) also indicated that the information generated in this way under RDI was sufficient to adjust the irrigation schedule to maintain MDS signal intensity close the selected threshold values and that peach tree irrigation scheduling can be based on MDS measurements alone (García-Orellana et al., 2007). Nevertheless, the fact that the average MDS SI values during the early and late postharvest period of 2007, and during the late postharvest period of 2008, were lower than the threshold value (Fig. 1) suggests that it is necessary to modify the proposed irrigation protocol in order to obtain the new water stress level faster. So, when an RDI schedule involves a change from one MDS SI threshold value to higher one, the decrease in the irrigation rate during the first days of this change should be greater than 3%.

The fact that the θ_v in T0 remained close to field capacity during the 3 years of the experimental period (data not shown) indicated that irrigation scheduling in this treatment kept the plants under non-limiting soil water conditions. The deficit irrigation during early and late postharvest (T1) resulted in a progressive reduction in θ_v values, which, in turn, induced a decrease in Ψ_{stem} values, reflecting a moderate water stress during the early postharvest period and a more severe water stress during late postharvest period (data not shown).

The fact that the only vegetative growth component affected by deficit irrigation was pruning weight may be related with the fact that apex elongation is more sensitive than other physiological parameters to water deficit (Dichio et al., 2007) (Table 2). Also, the absence of a significant effect of RDI on the yield/ ΔTCA ratio could indicate similar carbon partitioning schemes during fruit growth. However, taking into consideration that vegetative apexes are the main users of carbohydrates during the postharvest period, vigor regulation in T1 plants may decrease the competition for assimilates between vegetative apexes and reserve tissues, reducing pruning (Boland et al., 2000).

Although the seasonal irrigation water applied in RDI was 35-42% lower than the estimated ET_C , no effect on total yield, yield efficiency components or the distribution of different peach fruit categories was observed (data not shown). This behaviour could be related to the fact that during the early postharvest period the water stress achieved was moderate, and that the late postharvest period is not a critical period for yield and fruit quality. Moreover, Ruiz Sánchez et al. (1999) indicated that in stone fruit trees severe water stress for one and a half months after

harvest, when floral bud induction and/or bud differentiation processes take place, leads to a lower germination potential in the pollen and the following year also encourages young fruit to drop.

Table 1. Precipitation (mm), estimated crop evapotranspiration (ETc, mm) and irrigation applied (mm) to T0 (control) and T1 (RDI scheduled using different maximum daily trunk shrinkage signal intensity (MDS SI) threshold values) treatments during different phenological periods (DOY). Values in parenthesis indicate obtained average MDS SI values.

Year	Period	MDS SI	Rainfall	ETc	Irrigation applied	
					T0	T1
2007	67-141	1 (0.96)	156.3	147.5	195.6	117.5
	142-195	1.3 (1.16)	3.4	214.0	286.1	158.4
	196-233	1.6 (1.44)	1.7	142.9	195.1	53.0
2008	71-137	1 (1.09)	46.8	184.4	261.5	164.4
	138-190	1.3 (1.27)	76.8	257.1	335.0	147.6
	191-265	1.6 (1.51)	18.2	355.7	461.5	173.4
2009	79-144	1 (1.03)	104.4	194.6	261.9	80.3
	145-190	1.3 (1.39)	3.8	256.7	345.1	131.2
	191-256	1.6 (1.58)	5.0	326.3	424.6	241.5

Table 2. Effect of irrigation treatments on pruning weight (kg tree⁻¹), fruit load efficiency (number of fruits per tree divided by trunk cross sectional area (TCA, cm²)), yield efficiency (Yield/TCA, kg cm⁻²), yield per increase in trunk cross sectional area (Yield/ΔTCA, kg cm⁻²) and water use efficiency (WUE, kg m⁻³) during the experimental period. Means for each year within a column that do not have a common letter are significantly different by LSD_{0.05} test.

Year	Treatment	Pruning	Fruit load efficiency	Yield/TCA	Yield/ΔTCA	WUE
2007	T0	24.5a	1.15a	0.14a	0.80a	1.06a
	T1	16.4b	1.12a	0.14a	0.99a	1.96b
2008	T0	30.8a	1.72a	0.21a	1.34a	1.24a
	T1	17.7b	1.62a	0.21a	2.07a	2.41b
2009	T0	35.2a	2.12a	0.26a	1.45a	1.90a
	T1	21.2b	1.88a	0.24a	1.66a	3.54b

Acknowledgments

Research supported by MEC (CICYT/FEDER AGL2007-66279-C03-02/AGR) and Fundación Séneca (11981/PI/09) grants to the authors.

References

- Allen, R.G. et al. 1998. Irrigation and Drainage 56, FAO, Roma, pp. 56.
 Boland, A.M. et al. 2000. J. Am. Soc. Hort. Sci. 125, 135–142.
 Chalmers, D.J. 1989. NZ. J. Agric. Sci. 23, 44–48.
 Conejero, W. et al. 2007. Tree Physiol. 27, 1753-1759.
 Dichio, B. et al. 2007. Plant Soil 290, 127-137.
 Domingo, R. et al. 1996. Irrig. Sci. 16, 115-123.
 García-Orellana, Y. et al. 2007. Agr. Water Manage. 89, 167-171.
 Girona, J. et al. 1993. J. Am. Soc. Hort. Sci. 118, 580–586.
 Goldhamer, D.A., Fereres, E. 2001. Irrig. Sci. 20, 115-125.
 Ortuño, M.F. et al. 2010. Agr. Water Manage. 97, 1–11.
 Ruiz-Sánchez, M.C. et al. 1999. Ann. Appl. Biol. 135, 523–528

Maximum daily trunk shrinkage and stem water potential baselines for irrigation scheduling of early maturing peach trees

A. Galindo¹, C.D. Mellisho¹, W. Conejero¹, M.F. Ortuño¹, Z.N. Cruz³, P. Rodríguez³, A. Torrecillas^{1,2}

¹ Dpto. Riego. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CSIC). P.O. Box 164, E-30100 Espinardo (Murcia), Spain.

wenceslao@cebas.csic.es

² Unidad Asociada al CSIC de Horticultura Sostenible en Zonas Áridas (UPCT-CEBAS). Paseo Alfonso XIII s/n, E-30203 Cartagena (Murcia), Spain.

³ Dpto. Fisiología y Bioquímica, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Carretera de Tapaste, km 3.5. San José de Las Lajas (La Habana), Cuba.

Introduction

Plant-based water status indicators have become very popular for planning precise irrigation programmes. Since plant water status controls many physiological processes, this information can be of great practical interest for irrigation scheduling (Ortuño et al. 2010). Stem water potential (Ψ_{stem}) measurements require frequent trips to the field and a significant input of labour. However, it is a reliable plant-based water status indicator and has been used for irrigation scheduling (Shackel et al. 1997). Maximum daily trunk shrinkage (MDS) provides continuous and automatic information of the plant water status, and it has been successfully used as a management tool for irrigation scheduling (Goldhamer and Fereres 2004; Conejero et al. 2007b; Velez et al. 2007; Ortuño et al. 2009a,c).

Before plant-based water stress indicators can be used for irrigation scheduling, their absolute values must be normalized with respect to reference values obtained in plants under non-limiting soil water conditions (signal intensity (SI), actual value/reference value). In general, reference values are obtained by maintaining reference plants in conditions of non-limiting soil water supply (Conejero et al. 2007b). However, when trees are irrigated clearly above their water requirements in order to obtain non-limiting soil water conditions, oxygen status may be affected. In this sense, flooding stress modifies plant-based water stress indicators in the same way as drought stress, including higher MDS values (Ortuño et al. 2007), which can also complicate the information needed for irrigation scheduling. Another option would be to previously define the effects of the evaporative demand on the plant water status indicator and to use this baseline as a reference to normalize the actual plant-based water status indicator values obtained (Ortuño et al. 2009a,c). Daudet et al. (2005) indicated that trunk diameter variations have to be considered not only in the context of the water balance of the plant but also in the context of the tree carbon balance, because in some woody crop species the sugar content of woody tissues changes as a function of the presence or absence of sinks, including fruits. For these reasons, the objective of this paper was to study the inter and intra season constancy of the MDS and Ψ_{stem} reference equations in early maturing peach trees, in order to obtain robust and transferable reference equations based on appropriate climatic variables for use in irrigation scheduling.

Materials and methods

Site description

Measurements were performed over 2006-2009 in 5 year old early maturing peach trees (*Prunus persica* (L.) Batsch cv. Flordastar) grafted on *P. persica* x *P. amygdalus* GF-677 peach rootstock. Tree spacing followed a 5 m x 5 m. The trees were located in Santomera (Murcia) (38° 06' N, 1° 02' W). The soil is stony (33% w/w) and shallow, with a clay-loam texture. The volumetric soil water content at field capacity and permanent wilting point were 0.35 and 0.15 m³ m⁻³, respectively.

Peach trees were drip irrigated daily, during the night, above ET_c in order to obtain non-limiting soil water conditions. ET_c was estimated according to Allen et al. (1998) and taking into account the ideas of Ayars et al. (2003) and Fereres and Goldhamer (1990).

Measurements

The soil volumetric water content (θ_v) of the top 0.15 m of the soil profile was measured by time domain reflectometry (TDR). The θ_v content of the soil from 0.2 m to 0.80 m was measured using a neutron probe. Midday (12.00 h solar time) Ψ_{stem} was measured using a pressure chamber in leaves inserted into a small black hermetic plastic bag covered with aluminium foil for at least 2 h before detaching from the tree.

Trunk diameter fluctuations were measured on four trees, using linear variable displacement transducers (LVDT) attached to the trunk, with a special bracket made of Invar and aluminium. MDS was calculated as the difference between maximum and minimum daily trunk diameter.

Statistical design and analysis

Four replicates of this treatment were distributed randomly within the field, with each replication consisting of three adjacent rows, each of them with 13 trees. Measurements were taken in the inner tree of the central row of each replicate. A one-way ANOVA was performed and means were separated by LSD_{0.05} range test. Linear regression analysis was carried out to explore relationships between variables, and linear regression differences were determined using covariance analysis.

Results and discussion

θ_v values were always close to field capacity, indicating that the trees were under non-limiting soil water conditions. The finding that the relationships between MDS and the environmental variables were linear (Fig. 1), even in situations of high evaporative demand, can be attributed to efficient water movement from storage sites within the tree when evaporative demand increased. Given that MDS encompasses a daily time scale, the results indicated that it was possible to predict MDS reference values by pooling data across the four studied seasons only when climatic variables measured on a whole-day basis (ET_o, VPD_m and T_m) were used (Fig. 1). However, taking into consideration that air temperature is a poor indicator of atmospheric evaporative demand, it is difficult to explain why T_m is an adequate predictor of MDS (Fig. 1).

Despite the fact that Ψ_{stem} values are obtained at point measurements, the covariance analysis indicated that it was only possible to predict Ψ_{stem} reference values when ET_o and VPD_m are used by pooling data across the whole experimental period (Fig. 2).

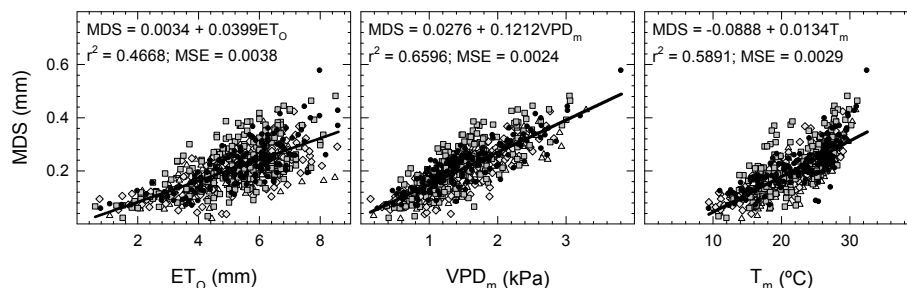


Fig. 1. Relationships between MDS and (A) ET_o , (B) VPD_m and (C) T_m , using all data pooled (2006, open triangles; 2007, grey diamonds; 2008, dark grey squares; 2009, closed circles).

Our result indicated that, despite the significant differences existing between seasons in crop load and fruit load efficiency, there is inter seasonal constancy in the reference equations to estimate MDS and Ψ_{stem} as a function of ET_o , VPD_m and T_m , and ET_o and VPD_m , respectively (Figs. 1 and 2). That these yield components have no effect on MDS and Ψ_{stem} reference equations could be attributed to the fact that the inter seasonal differences in these yield components, while being statistically significant, are within the range of the typical alternate bearing pattern of this species. In this sense, in a recent paper, Conejero et al. (2010) showed that MDS reference equations for peach trees, in which fruitless were not thinned were statistically different from those for trees from which all the fruitless were removed. However, in the cases of trees in which fruits were hand-thinned to obtain commercial crop load (547 fruits tree⁻¹) and trees in which fruits were not thinned (3114 fruits tree⁻¹), no significant differences in MDS reference equations were obtained.

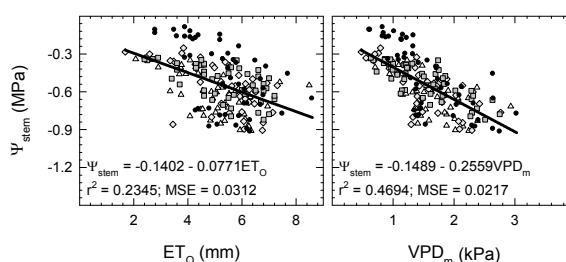


Fig. 2. Relationship between midday stem water potential (Ψ_{stem}) and (A) crop reference evapotranspiration (ET_o) and (B) mean daily air vapour pressure deficit (VPD_m), using all data pooled. Each data point is the mean of four values. Symbols as in Fig.2.

Also, the results indicated that when the regressions between MDS or Ψ_{stem} and ET_o , VPD_m , VPD_{md} , T_m and T_{md} are broken down into fruit growth and postharvest periods the coefficients of determination obtained are lower than those for the seasonal relationships. This behaviour could be attributed to the very short fruit growth period (52-56 days from fruit thinning) and to the fact that MDS values under non-limiting soil water conditions in the postharvest period are closely related to the presence or absence of sugar-demanding sinks, such as active root growth (Conejero et al., 2007a; Abrisqueta et al., 2008). In this sense, the improved correlation coefficients obtained when the postharvest regressions between MDS or Ψ_{stem} and ET_o , VPD_m and VPD_{md} were broken down into early and late postharvest periods,

could also be related to the presence or absence of sugar-demanding sinks (Conejero et al. 2007a).

The steady relationship between MDS and Ψ_{stem} is in agreement with the result obtained in lemon trees by Ortuño et al. (2009b) and the idea of Génard et al. (2001), who suggested that this behaviour is probably related to the unchanging radial hydraulic conductivity in the bark tissues. Also, the significant correlation found between MDS and Ψ_{stem} confirmed that one of the main factors controlling MDS was the water potential (Molz and Klepper 1973).

The above mentioned results indicate that in early maturing peach trees with an alternate crop load pattern, MDS and Ψ_{stem} baselines or reference values can be obtained by pooling data across several seasons for ETo, VPD_m and T_m, and ETo and VPD_m, respectively. This means that the use of MDS and Ψ_{stem} baselines for irrigation scheduling may be less complex than was previously supposed. The inter and intra season constancy of the relation between MDS and Ψ_{stem} underlines the constancy of the radial hydraulic conductivity of bark tissues and confirms the idea that the main factor controlling MDS is the water potential.

Acknowledgments

Research supported by MEC (CICYT/FEDER AGL2007-66279-C03-02/AGR), Fundación Séneca. (11981/PI/09) and AECID (D/016779/08) grants to the authors.

References

- Abrisqueta, J.M., Mounzer, O., Álvarez, S., Conejero, W., García-Orellana, Y., Tapia, L.M., Vera, J., Abrisqueta, I., Ruiz-Sánchez, M.C. 2008. *Agr. Water Manag.* 95, 959-967.
- Allen RG, Pereira RS, Raes D, Smith M. 1998. *FAO Irrigation and Drainage paper No 56*. Rome, Italy, pp 15-27.
- Ayars, J.E., Johnson, R.S., Phene, C.J., Trout, T.J., Clark, D.A., Mead, R.M. 2003. *Irrig. Sci.* 22, 187-194.
- Conejero, W., Alarcón, J.J., García-Orellana, Y., Abrisqueta, J.M., Torrecillas, A. 2007a. *Tree Physiol.* 27:81-88
- Conejero, W., Alarcón, J.J., García-Orellana, Y., Nicolás, E., Torrecillas, A. 2007b. *Tree Physiol.* 27:1753-1759
- Conejero, W., Ortuño, M.F., Mellisho, C.D., Torrecillas, A. 2010. *Agr. Water Manag.* 97:333-338.
- Daudet, F.A., Améglio, T., Cochard, H., Archilla, O., Lacomte, A. 2005. *J. Exp. Bot.* 56:135-144
- Fereres, E., Goldhamer, D.A. 1990. *In Irrigation of Agricultural Crops*. Eds. B.A. Stewart and D.R. Nielsen. A.S.A. Madison, Monograph 30, pp 987-1017
- Génard, M., Fishman, G., Vercambre, J.G., Huguet, J.G., Bussi, C., Besset, J., Habib, R. 2001. *Plant Physiol.* 126: 188-202
- Goldhamer, D.A., Fereres, E. 2004. *Irrig. Sci.* 23:11-19
- Molz, F.J., Klepper, B. 1973. *Agron. J.* 65:304-306
- Ortuño, M.F., Alarcón, J.J., Nicolás, E., Torrecillas, A. 2007. *Biol. Plant.* 51:292-296.
- Ortuño, M.F., Brito, J.J., Conejero, W., García-Orellana, Y., Torrecillas, A. 2009a. *Irrig. Sci.* 27:271-276.
- Ortuño, M.F., Brito, J.J., García-Orellana, Y., Conejero, W., Torrecillas, A. 2009b. *Irrig. Sci.* 27:121-127.
- Ortuño, M.F., Conejero, W., Moreno, F., Moriana, A., Intrigliolo, D.S., Biel, C., Mellisho, C.D., Pérez-Pastor, A., Domingo, R., Ruiz-Sánchez, M.C., Casadesu, J., Bonany, J., Torrecillas, A. 2010. *Agr. Water Manage.* 97:1-11.
- Ortuño, M.F., García-Orellana, Y., Conejero, W., Pérez-Sarmiento, F., Torrecillas, A. 2009c. *Agr. Water Manage.* 96:80-86
- Shackel, K.A., Ahmadi, H., Biasi, W., Buchner, R., Goldhamer, D., Gurusinghe, S., ACEI, J., Kester, D., Krueger, B., Lampinen, B., McGourty, G., Micke, W., Mitcham, E., Olson, B., Pelletrau, K., Philips, H., Ramos, D., Schwankl, L., Sibbett, S., Zinder, R., Soutwick, S., Stevenson, M., Thorpe, M., Weinbaum, S., Yeager, J. 1997. *HortTechnology* 7:23-29
- Velez, J.E., Intrigliolo, D.S., Castel, J.R. 2007. *Agr. Water Manag.* 90:197-204.

Líneas de referencia basadas en la máxima contracción diaria del tronco en nectarinos extratempranos

de la Rosa, J.M.¹, Conesa, M.R.¹, Domingo, R.¹, Corbalán, M.¹, Caro, M.², Gonzalez, P.²,
Pérez-Pastor, A.¹

¹Dpto. Producción Vegetal. Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT). Paseo Alfonso XIII, 48. 30203. Cartagena (Murcia).

alex.perez-pastor@upct.es

²Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario - IMIDA

INTRODUCCIÓN

La fluctuación del diámetro del tronco (FDT), y más concretamente la máxima contracción diaria del tronco (MCD), ha pasado a ser un indicador de referencia para establecer criterios de programación del riego basados en el estado hídrico de la planta. Dada la estrecha relación existente entre estos indicadores y la demanda climática, diversos autores han manifestado la necesidad de normalizar sus valores absolutos procedentes de árboles bien regados, respecto a distintas variables climáticas (Egea et al., 2009; Ortuño et al., 2010).

El objetivo principal del estudio fue relacionar MCD con diferentes variables climáticas en nectarino extratemprano cv. 'Viowhite' injertado sobre ciruelo Puebla de Soto 101, durante los períodos con actividad del cambium (poscosecha, preparada invernal, crecimiento y maduración del fruto) con el fin de obtener líneas de referencia que puedan ser utilizadas en la programación del riego y de este modo poder prescindir de árboles control en el manejo del riego de plantaciones comerciales.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante un ciclo anual del cultivo (2009/10), en una explotación frutícola (38° 8' N; 1° 13' W) ubicada en el término municipal de Molina de Segura (Murcia). Los árboles de 7 años de edad y situados a un marco de plantación de 6 m x 3,5 m y en riego localizado (2 laterales por hilera de árboles y 10 emisores por árbol de 1,7 L h⁻¹), se regaron al 120% de la evapotranspiración máxima del cultivo (ETc) durante todo el ciclo del cultivo al objeto de evitar condiciones limitantes de agua en el suelo.

El agua de riego procedente de pozo y/o de trasvase Tajo-Segura según la disponibilidad de ésta última, presentó una conductividad eléctrica que osciló entre 1,7 y 2,5 dS m⁻¹. El diseño estadístico consistió en bloques al azar con cuatro repeticiones por tratamiento de 40 árboles cada una. Las variables climáticas se obtuvieron en una estación climática situada en la parcela experimental, y estas fueron: la temperatura máxima diaria (T_{mx}), déficit de presión de vapor medio entre las 12 y 15 horas (DPV₁₂₋₁₅), evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o, Penman-Monteith), radiación media diaria (R_m) y radiación neta (R_n).

Las medidas realizadas fueron: i) fluctuación del diámetro de tronco (FDT) a partir de 6 árboles con sensores LVDT (Solartron Metrology. Mod. DF ±2.5 mm, Bognor Regis, UK) instalados en el tronco a unos 30 cm de altura; ii) potencial hídrico de tallo a mediodía (Ψ_t) con cámara de presión (Soil Moisture Equipment Corp. Mod. 3000) en hojas adultas, sanas y próximas al tronco, según las indicaciones de Hsiao (1990), y en árboles con sensores LVDT. A

partir de FDT se obtuvieron los siguientes parámetros (Goldhamer y Fereres, 2001): i) máximo crecimiento diario del diámetro del tronco (MXTD), alcanzado a primera hora del día; ii) mínimo crecimiento diario del diámetro del tronco (MNTD), alcanzado a mediodía; iii) máxima contracción diaria del diámetro de tronco (MCD), obtenido de la diferencia entre MXTD y MNTD; y iv) tasa de crecimiento diario del tronco (TCD), obtenido de la diferencia entre MXTD en dos días consecutivos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el periodo estudiado la climatología fue característica de un clima mediterráneo con inviernos suaves y veranos secos y calurosos en los que se alcanzaron temperaturas máximas por encima de 40°C. Las precipitaciones tuvieron lugar entre otoño y primavera contabilizando 310 mm a lo largo del ciclo mientras que ETo supuso 1367 mm. Las variables climáticas estudiadas presentaron una tendencia similar, con valores máximos en julio y mínimos en enero (Figura 1 A).

El valor medio de Ψ_t fue -0,80 MPa, con valores relativamente constantes y por encima de -1,00 MPa. Estos valores son típicos de árboles bajo condiciones no limitantes de agua en el suelo (Shackel et al., 1997). Como consecuencia de la demanda climática, Ψ_t alcanzó un valor máximo de -0,2 MPa en abril y un mínimo de -1,31 MPa en agosto. MCD alcanzó valores máximos ($\approx 500 \mu\text{m}$) durante los periodos de mayor demanda climática y coincidió con mínimos valores de Ψ_t . Los valores más bajos de MCD ($\approx 40 \mu\text{m}$) tuvieron lugar en noviembre, tras la poda de otoño, cuando se inicia la parada invernal (Figura 1).

TCD se caracterizó por un crecimiento constante ($51 \mu\text{m día}^{-1}$) durante la poscosecha y una ralentización del mismo en la preparada invernal hasta hacerse nulo. El crecimiento se inició en marzo coincidiendo con la emisión de brotes y disminuyendo durante la fase III de crecimiento del fruto, incrementándose en ese momento MCD en respuesta a la demanda de los frutos (Figura 1.B).

La evolución mostrada por MCD y TCD denota una mayor relación del primer parámetro con la demanda climática. TCD respondería más a la fenología y edad del cultivo. Este hecho ha sido reflejado por otros autores en diferentes cultivos (Ortuño et al., 2010). Así las regresiones obtenidas con MCD presentaron un mejor ajuste que las procedentes de otros parámetros derivados de FDT, siendo T_{mx} y DPV_{12-15} las variables climáticas con un mayor coeficiente de determinación. Similares resultados se obtuvieron en ciruelo (Intrigliolo y Castel, 2006), olivo (Moreno et al., 2006) y almendro (Fereres y Goldhamer, 2003; Egea et al., 2009), donde DPV fue la variable que mejor correlacionó con MCD en árboles bien regados.

Todas las variables estudiadas presentaron una elevada correlación con MCD, si bien las correlaciones realizadas con datos de todo el ciclo presentaron un coeficiente de determinación menor que las obtenidas para cada fase fenológica (Figura 1 y Tabla 1).

Las regresiones lineales procedentes de MCD vs T_{mx} (Figura 2) fueron estadísticamente diferentes entre sí, observándose una mayor pendiente del ajuste en la fase III del crecimiento del fruto (Recolección) que en el resto de periodos. Del mismo modo la pendiente obtenida en el mes de octubre (pre-parada invernal) fue la menor, indicativo del inicio del reposo invernal. Los ajustes procedentes de valores medios diarios (Figura 2A) mostraron

coeficientes de determinación inferiores que las procedentes de valores medios semanales (Figura 2B), si bien no se detectaron diferencias entre ellos.

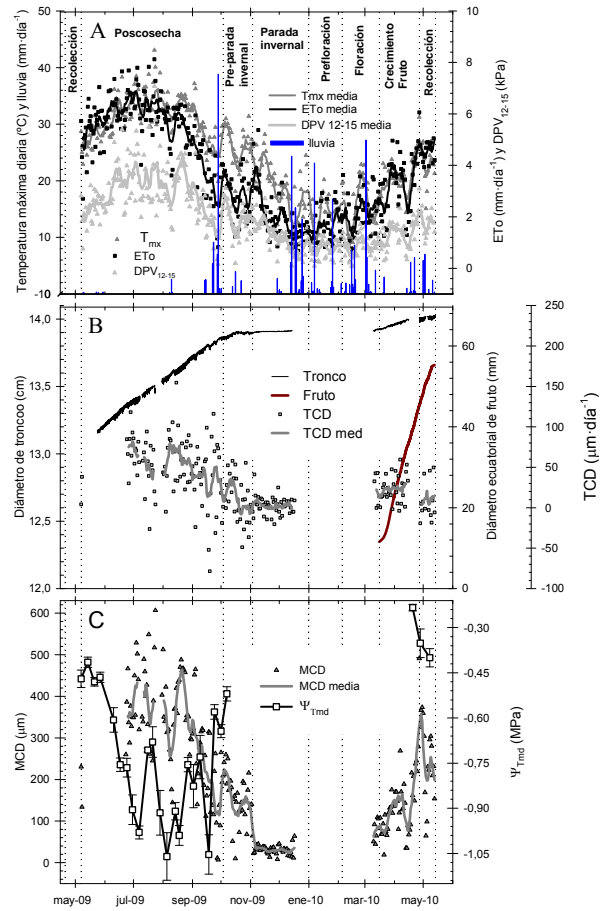


Figura 1.- Evolución de variables climáticas (T_{mx} , ETo y DPV_{12-15} y lluvia) (A); fluctuación del diámetro de tronco, fruto y tasa de crecimiento diario del tronco (TCD) (B); de MCD y Ψ_T (C). Las líneas de puntos separan periodos fenológicos.

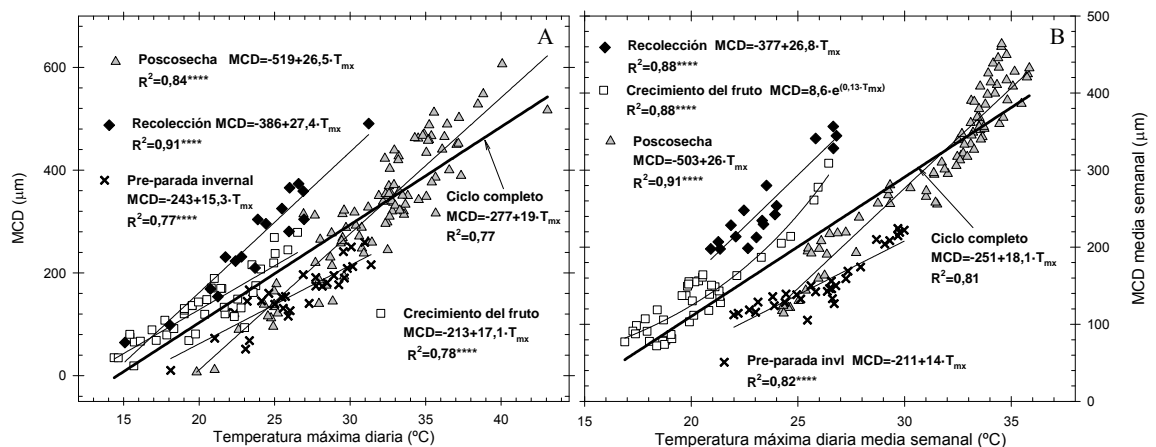


Figura 2.- Regresiones lineales entre la MCD y T_{mx} para valores diarios (A) y medios semanales (B), para cada periodo fenológico y para el ciclo completo en nectarino extratemprano.

Tabla 1.- Ecuaciones de ajuste obtenidas entre la máxima contracción diaria del tronco (MCD) y los parámetros climáticos más representativos, para cada fase fenológica y ciclo completo del nectarino extratemprano.

		Diarios			Medias semanales		
		Ecuación	R ²	p	Ecuación	R ²	p
Poscosecha	DPV (MPa)	$MCD = 35 + 93,8 \cdot DPV$	0,84	****	$MCD = -9 + 100,4 \cdot DPV$	0,95	****
	T _{mx} (°C)	$MCD = -519 + 26,5 \cdot T_{mx}$	0,84	****	$MCD = -509 + 26 \cdot T_{mx}$	0,91	****
	ET _o (mm)	$MCD = 48 + 70,3 \cdot ET_o$	0,74	****	$MCD = -25 + 66,1 \cdot ET_o$	0,85	****
Pre-parada	DPV (MPa)	$MCD = 19 + 71,9 \cdot DPV$	0,79	****	$MCD = 15 + 73 \cdot DPV$	0,78	****
	T _{mx} (°C)	$MCD = -243 + 15,3 \cdot T_{mx}$	0,77	****	$MCD = -211 + 14 \cdot T_{mx}$	0,82	****
	R _m (W·m ²)	$MCD = -50 + 1,2 \cdot R_m$	0,76	****	$MCD = -151 + 1,7 \cdot R_m$	0,94	****
Crec. fruto	DPV (MPa)	$MCD = -8 + 106,8 \cdot DPV$	0,76	****	$MCD = 29,9 \cdot e^{1,09 \cdot DPV}$	0,91	****
	T _{mx} (°C)	$MCD = -215 + 17,1 \cdot T_{mx}$	0,78	****	$MCD = 8,6 \cdot e^{0,12 \cdot T_{mx}}$	0,88	****
	ET _o (mm)	$MCD = -29 + 49,9 \cdot ET_o$	0,72	****	$MCD = 21,5 \cdot e^{0,04 \cdot ET_o}$	0,88	****
	R _n (MJ·m ²)	$MCD = -58 + 20,5 \cdot R_n$	0,80	****	$MCD = 18,1 \cdot e^{0,01 \cdot R_n}$	0,97	****
Recolección	DPV (MPa)	$MCD = -47 + 170 \cdot DPV$	0,67	****	$MCD = -84 + 187 \cdot DPV$	0,65	****
	T _{mx} (°C)	$MCD = -306 + 27,4 \cdot T_{mx}$	0,91	****	$MCD = -377 + 26,3 \cdot T_{mx}$	0,88	****
Ciclo completo	DPV (MPa)	$MCD = 11,7 + 99,4 \cdot DPV$	0,83	****	$MCD = -13,3 + 111 \cdot DPV$	0,88	****
	T _{mx} (°C)	$MCD = -277 + 19 \cdot T_{mx}$	0,77	****	$MCD = -251 + 18,1 \cdot T_{mx}$	0,81	****
	ET _o (mm)	$MCD = -64 + 71,3 \cdot ET_o$	0,77	****	$MCD = -78 + 74,9 \cdot ET_o$	0,87	****

CONCLUSIONES

Se han obtenido líneas de referencia entre la máxima contracción diaria del tronco (MCD) y distintas variables climáticas con elevados coeficientes de determinación, tanto para el ciclo completo como para las diferentes fases fenológicas del nectarino, aunque los coeficientes fueron superiores para éstas últimas. Tanto unas como otras pueden ser consideradas útiles para la programación del riego, si bien es necesario compararlas con las de años sucesivos para comprobar su estabilidad en el tiempo. Se ha distinguido entre líneas obtenidas a partir de valores diarios y de medios semanales, para ser utilizadas en ambos rangos de frecuencia en la programación del riego.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó en una finca comercial propiedad de la empresa Frutas Esther S.A., al amparo del proyecto financiado por la Fundación Séneca de la Región de Murcia (08845/PI/08).

BIBLIOGRAFÍA

- Egea, G. et al, 2009. Irrig. Sci. 27, 431–441.
 Fereres, E., Golhamer, D.A., 2003. J. Hort. Sci. Biotech. 78 (2), 139–144.
 Goldhamer, D.A., Fereres, E., 2001. Irrig. Sci. 20, 115–125.
 Hsiao, T.C. 1990.. American Society of Agronomy. Madison, Wis., p 243-279.
 Intrigliolo, D.S., Castel, J.R., 2006. Tree Physiol. 26, 303–311.
 Moreno, et al. Water Manage. 84, 290–294.
 Ortuño, M.F., et al; 2010. Agricultural Water Management 97: 1–11.
 Ortuño, M.F., et al; 2006b. Plant Soil 279, 229–242.
 Pagán E, et al; 2008. Ital. J. Agron. 3, 691–692.
 Shackel K A, et al. J. 1997. HortTechnology 7, 23-29.

Sesión 2. Relaciones hídricas en plantas arbustivas y forestales.

Moderadores:

Sebastián Bañón (UPCT, España)
y José Dell'Amico (INCA, Cuba)

Mecanismos de control estomático como herramienta de selección clonal orientada a mejorar la productividad de *Eucalyptus globulus* en el SO español.

Pita, P.¹, Montes F.², Pardos J.A¹

¹Unidad Docente de Anatomía y Fisiología Vegetal. ETSI Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

pilar.pita@upm.es

²CIFOR INIA Carretera de la Coruña km 7.5. 28040 Madrid.

INTRODUCCIÓN

La selección precoz de genotipos para incrementar la productividad de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* en el SO peninsular ofrece interesantes ventajas sobre los ensayos de campo. No solo permite acortar de forma significativa los tiempos; también garantiza la independencia de condiciones meteorológicas -que pueden limitar la validez de los resultados obtenidos en campo- y resulta mucho menos costosa en términos estrictamente monetarios. La UD de Anatomía y Fisiología vegetal de la ETSI Montes (UPM) desarrolla una línea de investigación financiada por el Grupo Empresarial ENCE SA con el fin de evaluar la posibilidad de realizar una selección precoz de clones basada en su respuesta morfo-fisiológica a condiciones de estrés hídrico, combinado con altas temperaturas. Entre los posibles parámetros a utilizar en la selección de genotipos destaca la conductancia estomática, porque regula el gasto de agua en competencia con otros potenciales consumidores y porque posibilita el enfriamiento de las hojas. En los últimos años se viene trabajando en la identificación de posibles señales químicas capaces de inducir cierre estomático, transportadas vía xilema desde las raíces hasta las hojas. Muchos de estos trabajos se han realizado en especies agronómicas (Jackson et al. 2003, Dodd et al 2003) y en alguno se cuestiona la utilidad de este tipo de señales en especies arbóreas de gran talla (Heilmeyer et al. 2007). En este sentido, el estudio de *E. globulus* resulta particularmente atractivo, por ser una especie capaz de alcanzar grandes alturas y también altas tasas de transpiración.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en invernadero, en los meses de mayo y junio de 2009. Las temperaturas se mantuvieron entre 15°C y 35°C. Se utilizaron cinco clones de *Eucalyptus globulus*. Cuatro de estos clones se han obtenido por hibridación del quinto clon utilizado (C14) con otros dos clones y son por tanto hermanos entre sí (PI y OD por una parte, T y SA por otra). Las plantas se cultivaron en macetas de 5 l de capacidad, con sustrato de turba fertilizada y perlita (1:1 v:v). Se plantaron el 8 de mayo. A partir del 14 de mayo se fertirrigaron (250 ml planta⁻¹) cada dos semanas con abono NPK (20:20:20) en concentración de 4 g l⁻¹. Hasta el 29 de mayo las plantas se mantuvieron en condiciones óptimas de riego para favorecer el desarrollo del sistema radical. A partir de este día se establecieron dos regímenes de riego (R1 y R2). Desde este momento, las plantas se regaron cada dos o tres días a peso constante, 2600g para el tratamiento R1 y 2300g para el tratamiento R2. Se anotó el peso

antes de regar para calcular la evapotranspiración entre riegos. Durante las próximas cuatro semanas se realizaron las siguientes mediciones a media mañana (11:00-13:00) en las mismas plantas:

-Parámetros de intercambio gaseoso con un equipo LICOR 6400XT en una hoja plenamente desarrollada del 6º-7º verticilo contando desde el ápice. Después de medir cada planta se llevaba al laboratorio (a menos de cinco minutos) y allí se cortaba bajo agua la porción apical (justo por encima de la hoja utilizada para medir intercambio gaseoso).

-En la porción apical se midió el potencial hídrico y el pH de la savia exudada a una presión de uno a dos bares superior a la correspondiente al potencial hídrico. El pH se midió inmediatamente después de recolectar la savia con ayuda de una micropipeta.

-En la porción basal se midió la conductancia hidráulica inicial (K_i , $\text{g s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$) y máxima (K_M , $\text{g s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$) según la metodología de Sperry (Pita et al. 2003). A partir de ambos valores se calculó la pérdida de conductividad hidráulica ($\text{PCH}=100 (K_M-K_i) K_M^{-1}$).

-Se midió la superficie foliar de cada planta con un equipo Win Folia (Regent Instruments Quebec, Canada), separando las hojas correspondientes a la porción apical del resto. La superficie foliar de la porción apical (S_{fap}) se utilizó para calcular la conductancia hidráulica foliar ($K_{\text{fol}}=K_i S_{\text{fap}}^{-1}$)

Cada día de medición se seleccionaron entre seis y diez plantas, la mitad pertenecientes al tratamiento R1 y la mitad al tratamiento R2. Se seleccionaron plantas de idénticos clones para ambos tratamientos. Únicamente en la última semana de medición (días 23 y 26 de junio) se midieron en días separados las plantas de ambos tratamientos, con el fin de establecer un posible efecto de la hora de medición sobre los parámetros estudiados.

RESULTADOS Y DISCUSION

No se encontró un efecto significativo de la hora de medición sobre ninguno de los parámetros estudiados. Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos de riego para la superficie foliar y evapotranspiración (Fig. 2), pero no para los valores de pH ni conductancia hidráulica foliar, por lo que en la Fig.3 se calculan las medias por clon para ambos tratamientos. El efecto "día de medición" fue significativo para los valores de pH y conductancia estomática (Fig. 1) y no para la pérdida de conductividad hidráulica (no se muestra). Se encontraron diferencias entre clones para los valores de conductancia estomática y tasa de fotosíntesis (solo para datos medidos los días 3-16, Fig.4) y para la conductancia hidráulica foliar (Fig. 3). Los valores medios de conductancia estomática se mantuvieron por encima de los $0.6 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ hasta el día 10 en ambos tratamientos (Fig.1). A partir del día 18 se detectó cierre estomático, incluso en las plantas del tratamiento R1. Los máximos valores de pH se midieron los días 8, 9 y 16 (Fig.1). Bajo condiciones de cierre estomático (día 18 y sucesivos) los valores medios de pH permanecieron por debajo de 6.6 para ambos tratamientos. Estos resultados sugieren que la alcalinización de la savia podría actuar como una señal que anticipa el cierre estomático, pero que no contribuye a su mantenimiento. Nuestros resultados corroboran el incremento de pH en savia en condiciones que favorecen la transpiración recogido por Chaves y Oliveira (2004) y sugieren un mecanismo de respuesta

secuencial, que se iniciaría con el aumento de pH en savia y posterior cierre estomático para prevenir caídas de potencial hídrico (Jackson et al. 2003, Heilmeier et al 2007).

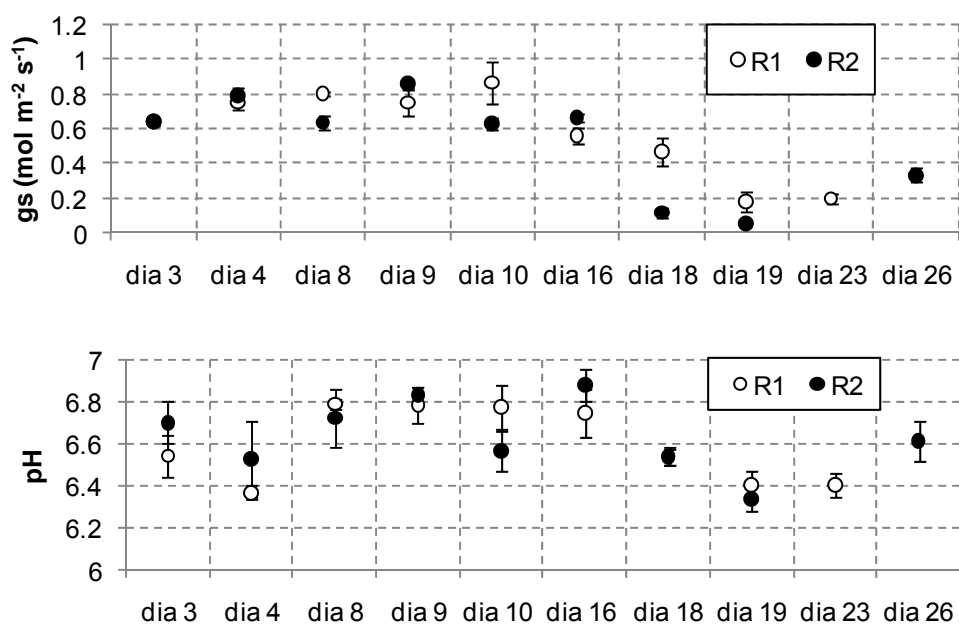


Figura 1. Valores medios de conductancia estomática (gs) y pH de la savia a lo largo del estudio ($n=3-5$ datos por tratamiento y día).

Es interesante destacar que la mayor parte de los valores de pH de la savia superiores a 6.8 se midieron en plantas que alcanzaron las más altas tasas de transpiración en el rango de valores de DPV de 1 a 2 kPa (Fig.2). En los clones OD, SA y PI se midieron valores de $\text{pH} > 6.8$ en 4-6 plantas de cada clon y solo en una planta por clon en T y C14.

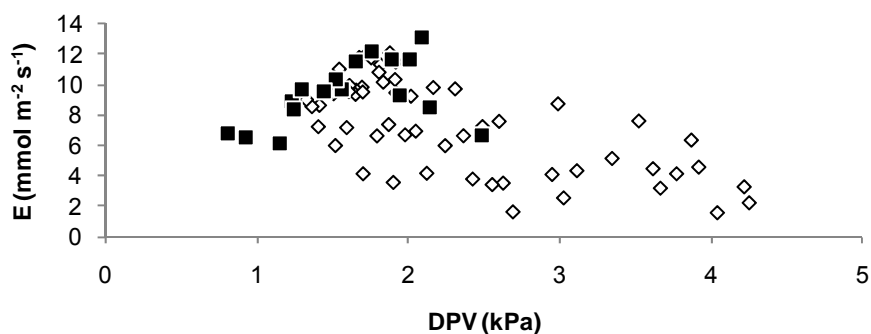


Figura 2. Relación entre la tasa de transpiración (E) y el déficit de presión de vapor (DPV). En oscuro, datos medidos en plantas con pH savia > 6.8 .

La mayor reducción de la evapotranspiración al disminuir el riego se midió en el clon SA (Fig.3). Este clon alcanzó la mayor evapotranspiración para el tratamiento R1, los mayores valores de conductancia estomática (Fig.4) y los menores valores de conductividad hidráulica foliar (Fig. 3). Estos resultados indican que la estrategia del clon SA en condiciones de déficit hídrico moderado (R1) es agresiva, maximizando la conductancia estomática a costa de sufrir una mayor cavitación y consecuente pérdida de conductividad hidráulica.

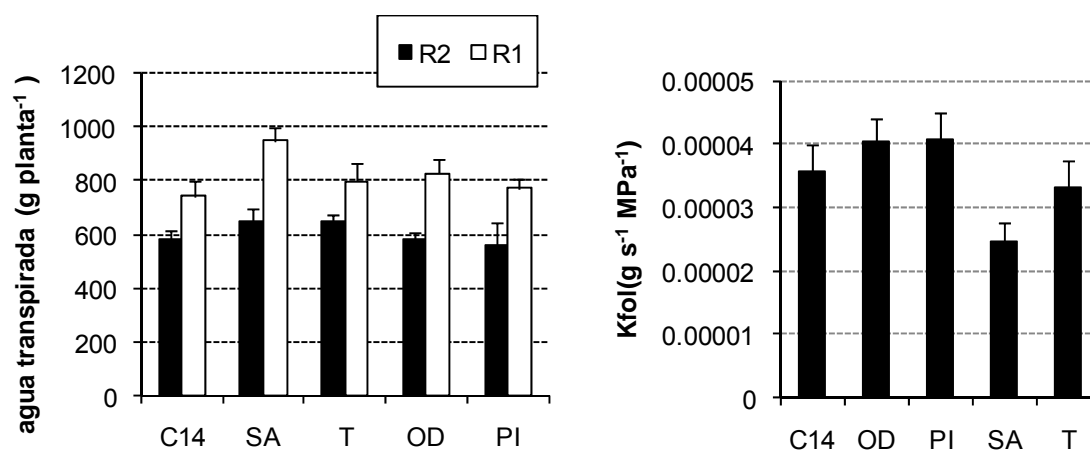


Figura 3. Izquierda: Evapotranspiración total en los siete primeros días tras la imposición de tratamientos. Derecha: Valores medios de conductancia hidráulica foliar.

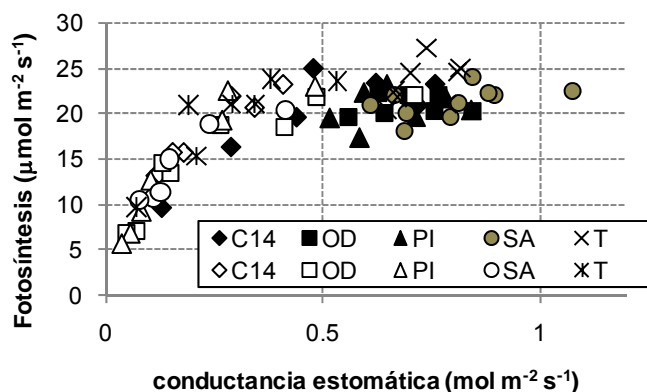


Figura 4. Relación entre los valores de conductancia estomática y tasa de fotosíntesis medidos los días 3-16 (símbolos oscuros y ×) y días 18-26 (símbolos claros y *) en cinco clones de *E. globulus* (un dato por planta).

El clon T destacó por su capacidad de mantener altas tasas de fotosíntesis, incluso bajo cierre estomático parcial (Fig. 4), estrategia que se ha relacionado con una mayor adaptación a la sequía en *Alnus* (Schrader et al 2005).

CONCLUSIONES

Las diferencias entre clones próximos en parámetros relacionados con el control estomático reafirman la posibilidad de clasificar a edad temprana los genotipos de *E. globulus* por su respuesta al estrés hídrico. Parece interesante abordar en futuros estudios el papel del pH de la savia en el control estomático en la especie y la posibilidad de obtener diferencias entre clones para este parámetro, incrementando el tamaño de la muestra.

BIBLIOGRAFÍA

- Chaves MM., Oliveira MM. 2004. J Exp Bot 55 (407): 2365-2384.
 Dodd IC., Tan LP., He J. 2003. J Exp Bot 54 (385): 1281-1288
 Heilmeier H., Schulze E-D., Fan J., Hartung W. 2007. Doi:10.1016/j.flora.2007.06.002
 Jackson MB., Saker LR, Crisp CM., Else MA., Janowiak F. 2003. Plant and Soil 253: 103-113.
 Pita P., Gascó A., Pardos JA. 2003. Functional Plant Biology 30:891-899.
 Schrader JA., Gardner SJ., Graves WR. 2005. Environmental and Experimental botany 53: 281-298.

Differences in leaf water potentials among four populations of European beech (*Fagus sylvatica*) under controlled conditions

Robson T.M.¹, Wang, F.¹, Sánchez-Gómez D.², Aranda I.², Aphalo, P. J.¹

¹Department of Biosciences, Plant Biology, P.O. Box 65, 00014 University of Helsinki, Finland
matthew.robson@helsinki.fi

²CIFOR-INIA, Carretera de La Coruña km. 7,5, Madrid 28040, Spain

INTRODUCTION

With increased summer temperatures and more frequent and severe droughts predicted to occur as a result of climate change across Europe it is pertinent to consider how plant communities and their keystone species may respond. Traditionally, ecologists have considered species and ecotypes originating near to or in a similar environment to that present today at a particular site to be the best adapted to local conditions, and from a practical perspective, the most appropriate to plant for forestry, agriculture, or conservation purposes. However the rapid changes in climate predicted to occur in the next century at a result of increased atmospheric greenhouse gas concentrations have called into question this expectation. To further our understanding of selection and adaptation in plant populations, and to prepare appropriate mitigation strategies for threatened species, their capacity to respond to harsher environments should be quantified.

European beech (*Fagus sylvatica* L.) is a keystone species in maintaining European forest diversity and cultural heritage across the landscape (COST E52, 2006). The natural range of beech stretches from central Spain in the south-west of Europe to Sweden in the north and Poland & Ukraine in the east (Paule et al., 1994). The species was largely eliminated from Europe during the last glaciation, apart from sheltered refugia around the Mediterranean and in the Balkans (Petit et al., 2003; Magri, 2008), and subsequently returned during the Holocene spreading from the south east of Europe (Giesecke et al., 2007).

As a late-successional forest species, beech is shade-tolerant and relatively slow growing. It has relatively low plasticity compared with more opportunist tree species, and its strategy is expected to make it vulnerable to changes in the climate, in particular increased summer droughts (Jump et al., 2006; Gebler et al., 2007; Piovesan et al., 2008).

We grew beech seedlings, originating from four contrasting environments, under near-ambient temperature and radiation regimes in Helsinki southern Finland, and tested their response to imposed drought and shade treatments during the growing season. The aim of this trial was to identify differences in the response to provenances of contrasting origin, so as to test whether intra-specific genetic traits account for significant variability in drought and shade responses compared to within-population variability and plasticity of response in this species. Superior performance from the Spanish provenance from *Montejo de la Sierra* under water stressed conditions could indicate that this relict population may harbour adaptive traits for drought tolerance, which would confer conservation value on this population (Robson et al., 2009). Differences in performance of the two Bavarian provenances originating from low and high elevations might indicate whether the upwards displacement of populations in mountainous

regions, often proposed under climate change scenarios, is likely to occur in beech (Sabate et al., 2002; Thuiller et al., 2008). Rates of gas exchange and stomatal conductance in the Swedish provenance relative to the other populations will reflect its capacity to cope with high summer temperatures, since the summer of 2010 was unusually warm in Helsinki.

MATERIALS AND METHODS

Beech nuts were obtained from four contrasting origins (Table 1). In early February 2010, the beech nuts were cleaned and fully rehydrated in water, and sown in seedtrays of coarse sand where they were kept moist and stratified at 3°C for 8 weeks in a growth chamber with a photoperiod of 8 h light to 16 h darkness. Germination of the four provenances was sequential (Table 2) and later germinating cohorts were forced in a greenhouse at 20 C under supplementary light from lamps, while early-germinating seedlings were held close to the 2-cotyledon stage in cooler near-ambient conditions. Germinated seedlings were transplanted to individual tubes (20 cm length × 3.5 cm diameter) in a substrate of 3:1 sand:peat containing slow release fertiliser. During May 2010 all seedlings were transferred to near-ambient temperature and photoperiod in an open-sided greenhouse with a roof blocking precipitation but transparent to ~ 90% solar radiation.

Of 500 seedlings, 350 of the most similar height at the two-leaf stage were selected to receive the experimental treatments of sun/shade × drought/water in a stratified-random balanced design. Half the seedlings were placed under neutral shade cloth where they received about 20-25% of ambient solar radiation. Half of the seedlings in both the sun and shaded treatments received unlimited water while the other half were subject to a drought treatment maintained from the inception of the experiment on May 24th throughout the summer until mid-September. Soil moisture content was continuously monitored using a TDR probe, and a measured volume of water (usually 10-20 ml) was administered to each pot every 2-3 days to maintain the level at 10-15% v/v, whereas in the well-watered treatment soil moisture content was between 20-35% v/v.

The relative performance of seedlings from each provenance under each of the treatments was monitored through the summer by comparing growth, leaf gas exchange, absorption by leaf pigments and leaf water potential.

Provenance	Country	Latitude	Longitude	Altitude	Mean Annual Temp	Mean Annual ppt
Montejo de la Sierra	Spain	41 01'	W3 5'	1400m	9.5 C	1100 mm
Rindelpholz Bavaria	Germany	47 29'48"	E10 08'48"	1175m	4.8 C	2535 mm
Eichelberg Bavaria	Germany	48 55'56"	E11 26'10"	525m	7.8 C	692 mm
Blavikslarna	Sweden	62 90'40"	E13 35'90"	75m	6.5 C	860 mm

Table 1: The origin of the four provenances and some of their environmental parameters

Provenance	Seedling (n)	Bud Stage	Height (mm)	Leaves	Leaf Length
Montejo de la Sierra	32	5.66 ± 0.37	48.6 ± 4.0	1.88 ± 0.20	54.1 ± 2.9
Rindelpholz Bavaria	120	5.82 ± 0.11	46.5 ± 1.1	2.00 ± 0.01	44.3 ± 1.3
Eichelberg Bavaria	120	6.05 ± 0.12	40.8 ± 1.3	1.99 ± 0.01	55.5 ± 1.4
Blavikslarna	97	5.83 ± 0.11	49.8 ± 1.3	1.99 ± 0.01	43.5 ± 1.8

Table 2: Initial values of growth parameters of the four provenances (mean ± 1 SE)

RESULTS AND DISCUSSION

The timing of germination was an important factor in drought response since early germinating seedlings had the opportunity to better establish prior to the on-set of imposed summer drought. This put the late-germinating Spanish provenance which required a greater temperature sum to germinate at an early disadvantage, whereas the early-germinating Swedish provenance performed well early in the season. However these differences had disappeared by July. Seedlings differed in their capacity to grow under low soil moisture in the sun and the shade treatments. The provenances Rindelpholz & Blavikslia grew more in the sun than shade under wet conditions, Eichelberg & Montejo grew slightly more in the shade than sun under dry conditions (Figure 1). Leaf water potential differed predictably among the treatments. Otherwise, the provenances behaved similarly at this young stage (Figure 2).

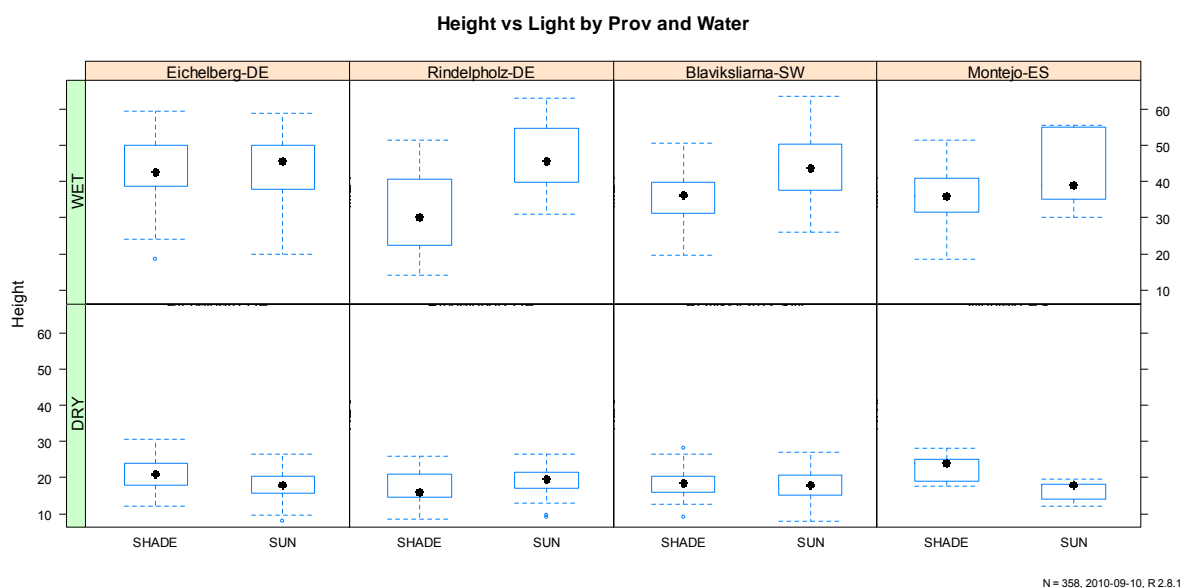


Figure 1: Final Height (cm) attained in August by seedlings of the four provenances.

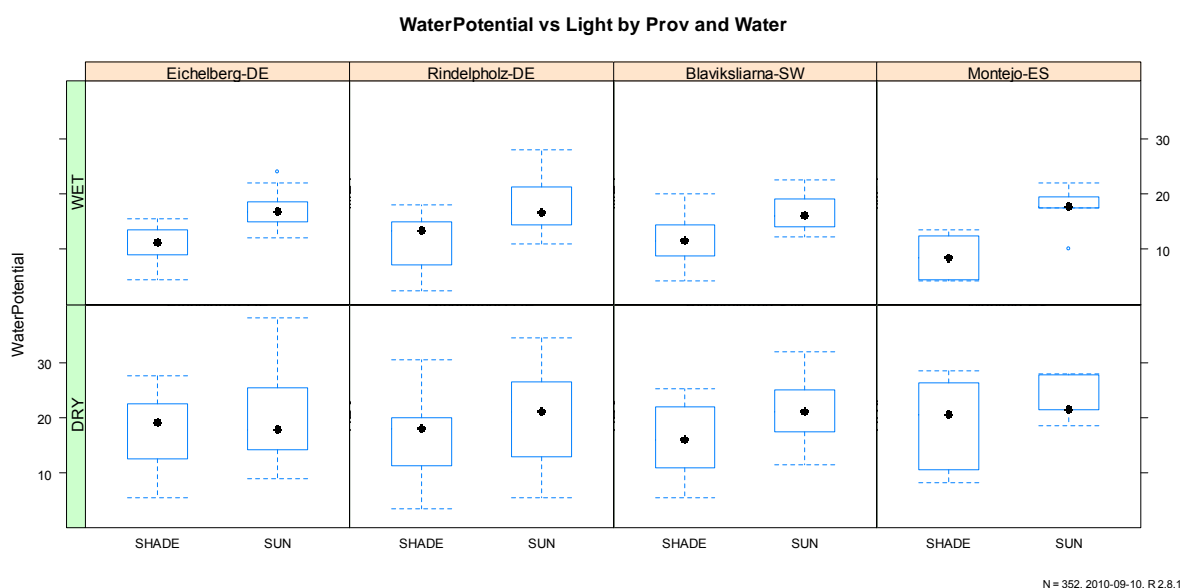


Figure 2: Boxplots showing the median and range of mid-day Leaf Water Potential (Ψ_{md} bar) during July in the four provenances

CONCLUSIONS

After a few months of growth there were clear treatment effects on water relations but provenance differences were hard to discern. Future research will contrast differences in water relations with differences in their photosynthetic capacity and responses to changes in the light environment as the seedlings age. We will assess whether planting local provenances remains a sensible choice for beech forests in northern Spain, or whether other populations also have favourable traits that should not be discounted when selecting for resistance to future climate conditions in Spain and across Europe. Perhaps more pertinently, we will try to isolate whether the more drought-resistant strategies apparently represented in southern provenances of beech, coupled with late flushing to avoid spring frosts, are consistent with the physiological traits of young seedlings. If so, these threatened relict populations should be conserved to provide material for future breeding programmes to counter climate change effects in more-northern parts of Europe where the current climate is still relatively mild.

ACKNOWLEDGEMENTS

This collaborative project was initiated during the COST Action E52, "Evaluation of beech genetic resources for sustainable forestry". We are grateful to Gerhard Huber of the Bavarian Office for Forest Seeding and Planting in Teisendorf, and to Rolf Övergaard of the Southern Swedish Forest Research Centre in Alnarp, for supplying the beech nuts. This work was supported by a grant from the Spanish Ministry of Education and Science to the project CLIMHAYA-BOSALIM CGL2007-66066-C04-03/BOS and *Juan de la Cierva Fellowships* to T.M.R. & D.S.G. The authors are grateful to the Autonomous Community of Madrid (CAM) for permission to work at *el Hayedo de Montejo*. The research was supported by the University of Helsinki and Academy of Finland decision no. 116775 to P.J.A. We thank Noora Imberg and David Israel for helping to do the experimental work.

BIBLIOGRAPHY

- COST E52. 2006. Evaluation of beech genetic resources for sustainable forestry. COST E52 technical annex. COST 210/06.
- GEßLER; A.; KEITEL C.; KREUZWIESER J.; MATYSSEK R.; SEILER W.. RENNENBERG H. 2007. Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. *Trees*, 21, 1-11.
- GIESECKE T.; HICKLER T.; KUNKEL T.; SYKES MT; BRADSHAW RHW. 2007. Towards an understanding of the holocene distribution of *Fagus sylvatica* L. *J Biogeogr.* 34, 118-131.
- JUMP AS.; HUNT JH.; PEÑUELAS J. 2006. Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica*. *Global Change Biol.* 12, 2163-2174.
- MAGRI, D. 2008. Patterns of post-glacial spread and the extent of glacial refugia of European beech (*Fagus sylvatica*). *J. Biogeogr.* 35, 450-463.
- PAULE L.; KRIZO M.; PAGAN J. 1994 Genetics and improvement of common beech (*F. sylvatica* L.) *Ann For.* 11, 1-22.
- PIOVESAN G.; BIONDO F.; DI FILIPPO A.; ALESSNADRINI A.; MAUGERI M. 2008. Drought-driven growth reduction in old beech (*Fagus sylvatica* L.) forests of the central Apennines, Italy. *Global Change Biol* 14, 1-17.
- PETIT RJ.; AGUINAGALDE I.; DE BEAULIEU JL. ; ET AL. (17 co-authors) 2003. Glacial refugia: hotspots but not melting pots of genetic diversity. *Science*, 300, 1563-1565.
- ROBSON TM.; RODRIGUEZ-CALCERRADA J.; SANCHEZ-GOMEZ D.; ARANDA I. 2009. Summer drought impedes beech seedling performance more in a sub-Mediterranean forest understory than in small gaps. *Tree Phys*, 29, 249-259.
- SABATE S.; GRACIA CA.; SANCHEZ CA. 2002. Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region. *For Ecol Manag*, 162, 23-37.
- THUILLER W.; ALBERT C.; ARAUJO M.; BERRY PM.; CEBEZA M.; GUISAN A.; HIKLER T.; MIDGLEY GF.; PATERSON J.; SCHURR FM.; SYKES MT.; ZIMMERMANN NE. 2008 Predicting global change impacts on plant species' distributions. *Perspective in Plant Ecol*, 9, 137-152.

Sex-related differences in water-use in two dioecious Mediterranean scrubs under summer stress

Díaz-Barradas, M.C.¹, Correia, O.², Alvarez-Cansino, L.¹, Zunzunegui, M.¹, Máguas, C.²

¹Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Universidad de Sevilla. Apartado 1095. 41080 Sevilla. España.

diaz@us.es

²Departamento de Biología Vegetal. Universidade de Lisboa. Bloco C2. Campo Grande. Lisboa. Portugal.

ABSTRACT

The cost of reproduction in dioecious plants is often female-biased. However, several studies have reported no differences in costs of reproduction between the sexes. In this study we compare water-use under summer stress in two Mediterranean dioecious species which differ in fruit water content and fruit phenology. Several instantaneous and integrated physiological measurements, together with LAI were taken in the field in the central coast of Portugal. Our results suggest that female plants of *Pistacia lentiscus* have a more conservative water economy than males, while in *Corema album* they present an opposite pattern probably due to compensatory mechanisms such as differences in root production.

INTRODUCTION

Because all organisms have a limited access to energy and other resources, there are compromises, defined as trade-offs or costs among life history variables as growth, survival and reproduction (Obeso 2002). Each of these activities expends energy, water and nutrients, which are in limited supply, and current investments in each one of these activities results in losses in the potential investment in the other.

In dioecious plants, where male and female functions occur in different individuals of the same species these reproduction costs are different between gender and may originate gender dimorphism at different levels as population, morphology or physiology (Alvarez-Cansino et al. 2010).

Mediterranean climate is characterized by a strong seasonality, with mild and humid winters, contrasting with dry summers where elevated temperatures are associated with high levels of photosynthetic radiation and absence of rainfall. Mediterranean scrub species present different morphological and physiological traits to cope with summer stress which can be grouped in two main strategies tolerant versus avoiders (Levitt 1980), although some species combine tolerant and avoider strategies (Zunzunegui et al. 2010).

Many dioecious species in Mediterranean climate regions produce fleshy fruits. This feature implies an important cost of carbon, nutrients and water for female comparing to male plants, and this cost should be more significant for female plant survival if fruit production occurs during the summer season. So we hypothesized that gender-dimorphism in water use should be more intense in dioecious plants that produce fleshy fruits during the summer season and they were richer in water content.

To test this hypothesis we have selected two dioecious species that grow under Mediterranean climate, *Corema album* with water-rich fruits produced in summer and *Pistacia lentiscus* with

fruits rich in lipids that fruits from summer to autumn in two neighbouring areas in the centre of Portugal and we have posed the following questions:

1. Are inter-gender differences in leaf water potential lower in *Pistacia lentiscus* than in *Corema album*?
2. Is female instantaneous water use efficiency higher in female comparing to males in *P.lentiscus* than in *C. album* ?. Is this pattern maintained using carbon isotope discrimination as a proxy of long-term water use efficiency?
3. Is it possible to find compensatory mechanisms in female plants, as higher C assimilation, to reduce these higher costs of reproduction?

MATERIAL AND METHODS

Site and species characteristics

Pistacia lentiscus (Anacardiaceae) is a dioecious sclerophyllous evergreen species that forms shrubs up to 2 m high, sometimes attaining a tree growth form in the more humid and protected sites. *Corema album* (Ericaceae) is a dioecious, evergreen shrub that rarely exceeds 1 m high, growing on sand dunes and coastal cliffs in the Atlantic coast of the Iberian Peninsula.

The field study was conducted in the central coast of Portugal. For *P. lentiscus* in the Natural Park of Serra da Arrábida (Convento) on a south facing slope with a well developed Mediterranean maquis, 20 to 30 years old, after last burning. For *C. album* on the stabilized sands that form the fossil cliff of Caparica Coast and on the dunes of Monte Velho beach (St. André).

Methods

Physiological measurements were made during the morning and at midday in 5 individuals of each sex in selected days during August.

Shoot water potential was measured at midday by means of a Scholander pressure chamber (Manofrígido, Portugal).

Chlorophyll fluorescence kinetics of leaves was determined *in situ* at midday by means of the pulse-amplitude modulation technique using a portable fluorometer (mini-PAM, for *Corema album* and PAM-2000 for *Pistacia lentiscus*, Walz, Germany). Maximum quantum yield of PSII was determined from the ratio of variable to maximal fluorescence, i.e. $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$, where F_0 and F_m are initial and maximal fluorescence of dark-adapted leaves during 15 minutes, a period found to be sufficient to allow complete reoxidation of the PSII reaction centers. The effective quantum yield (Φ_{PSII}), or photochemical efficiency of PSII in a light adapted state, was estimated on light adapted leaves with the leaf-clip-holder, as $\Phi_{PSII} = (F'_m - F)/F'_m$ (F'_m maximal and F steady-state fluorescence under actinic irradiance).

Measurement of net photosynthetic rates (A), stomatal conductance (g_s) and transpiration rates (E) were made using a portable compact CO₂/H₂O system (LCi-portable photosynthesis ADC system, UK for *C. album* and Walz for *P. lentiscus*). Water use efficiency (WUE) was calculated as the ratio of net photosynthesis to leaf transpiration (WUE=A/E). Measurements were carried out during the morning.

Leaf samples were collected in the same individuals to perform carbon isotope discrimination ($\Delta^{13}C$) and $\delta^{15}N$ measured by isotope ratio mass spectrometry (Isoprime, GV, UK) and nitrogen content through elemental analysis.

Leaf Area Index was estimated *in situ* with a Plant Canopy Analyser, LAI-2000 (LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA).

Data Analysis

The effect of sex on the different physiological variables was analysed using *t*-tests. Sexual dimorphism in photosynthetic activity and water use was calculated with the ratio (male-female)/male values.

RESULTS

Pistacia lentiscus plants presented higher photosynthetic rates, leaf conductance, leaf transpiration and instantaneous WUE than *Corema album* plants. Looking at sexual differences male plants of *P. lentiscus* displayed significantly ($p < 0.05$) higher values of A_{max} , E_{max} and g_{max} and lower WUE while no significant differences were found in *C. album*. Female plants from Caparica displayed higher photosynthetic and transpiration rates than male plants, but with high variation among the different individuals. Plants from Caparica dunes exhibited the lowest values of F_v/F_m , but with no significant sexual differences in any case. N content in leaves was higher in *P. lentiscus*, but with no significant differences (Table 1).

Looking at minimum Ψ , *P. lentiscus* plants displayed lower values than *C. album*, but with no significant sex-related differences in any case ($p > 0.05$). In the case of $\Delta^{13}C$ there were significant differences in *P. lentiscus* populations among South and North facing slopes ($p < 0,01$), but no significant differences were found between $\Delta^{13}C$ sexes ($p > 0.05$). Integrating both populations of *C. album*, female plants presented significantly higher values of $\Delta^{13}C$ ($p < 0.05$) than male plants (Table 1).

Although differences are generally small, sexual dimorphism did not show any especial trend in any species, showing either positive or negative values in the different cases (Figure 1).

From a morphological point of view, although *P. lentiscus* plants are higher than *C. album* (2 to 3 m in the first in contrast to 0,5 to 0,6 m in the second), LAI presented similar values in both species with no significant sex related differences ($p > 0.05$) (Table 1). Gender dimorphism did not present any specific trend (Figure 1).

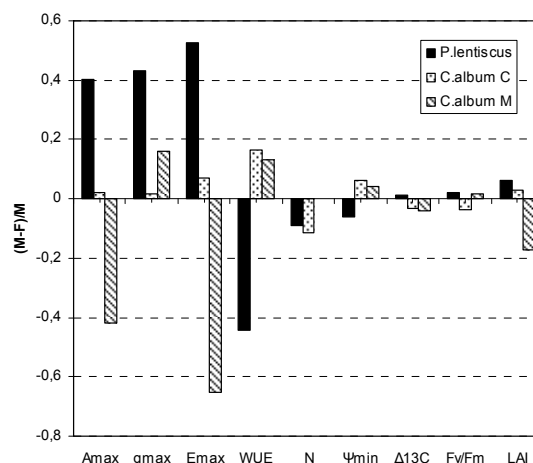


Figure 1. Sexual dimorphism (measured as the ratio (male-female)/male values) for the different study variables.

Table 1. Average values of different physiological and morphological variables recorded in summer in male and female plants of populations of *P.lentiscus* and *C. album* in the centre of Portugal coast. Significant differences are marked in male plants with * 0.05 and ** 0.01. Some of the data of *P. lentiscus* are taken from Correia & Díaz Barradas (2000)

		A_{max} ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	g_{max} ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	E_{max} ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	WUE (mmol mol^{-1})	Ψ_{min} (MPa)	%N	$\Delta^{13}C$	F_v/F_m	LAI
<i>P.lentiscus</i>	Male	10.9*	173.3*	2.27*	4.96*	-2.83	1.22	20.03	0.74	2.84
	Female	6.5	98.5	1.08	7.16	-3.00	1.32	19.79	0.72	2.66
<i>C.album</i> Caparica	Male	3.84	28.7	0.55	4,10	-1.41	0.56	17.35	0.63	2.75
	Female	3.76	28.2	0.51	3.34	-1.32	0.63	17.92	0.65	2.68
<i>C. album</i> Mte.Velho	Male	2.71	25.7	0.40	3.39	-1.56	-	17.49	0.70	2.01
	Female	3.85	21.6	0.67	2.95	-1.49	-	18.21	0.69	2.36

DISCUSSION

The low photosynthesis and transpiration rates in July and August, restricted to the morning period clearly reflects the high temperatures, water saturation deficit and water stress characteristic of Mediterranean environments and this pattern is more accentuated in *Corema album*, probably due to the low water retention of sandy soils in summer. The results of this study did not clearly support the first hypotheses of this study. Any of the study species presented inter-gender differences of leaf water potential. But in relation to the second hypothesis female plants of *P. lentiscus* showed higher WUE than males, since they exhibited lower stomatal conductance and transpiration rates. In *C. album*, although the results were not significant, the general trend in females was to exhibit a lower WUE than males, which is in accordance with higher expenses for fruit production. If we assume that $\Delta^{13}\text{C}$ might be considered a long-term proxy of water use efficiency our results opposed our hypothesis, females plants of *C. album* have higher values of $\Delta^{13}\text{C}$ and as a consequence lower WUE because they have to produce water-rich fruits during the summer season. In a global study of fruit characteristics of vertebrate-dispersed plants of the Iberian Peninsula, Herrera (1987) found that *C. album* fruits were richer in water while *P. lentiscus* fruits were richer in lipid content (74.6% versus 46.8% of water content of the whole fruit while 5.8 versus 58.8 in lipid % of the pulp). Following Correia (not published) the growth timing of *P. lentiscus* occurs mostly in summer, while in *C. album* takes place mostly during spring months (Zunzunegui et al. 2006), this different phenological pattern might explain the differences in long-term WUE.

The assumption that female plants should have higher reproductive effort than male plants due to fruit production would explain the inter-gender differences in photosynthetic rate in *P. lentiscus*. Compensatory mechanisms as have been described in another dioecious species (Case and Ashman 2005) may exist in *C. album* at underground level, mitigating the higher water expenses of female plants (Alvarez-Cansino et al. 2010 b).

REFERENCES

- Alvarez-Cansino L, Zunzunegui M, Díaz-Barradas MC, Esquivias MP. 2010 (a). *Annals of Botany* (in press.)
- Alvarez-Cansino L, Zunzunegui M, Díaz-Barradas MC, Esquivias MP. 2010 (b) *Physiologia Plantarum* DOI:10.1111/j.1399-3054.2010.01382.x
- Case AL, Ashman TL. 2005. *Reproductive allocation in plants*. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 129-157.
- Correia O, Díaz Barradas MC. 2000. *Plant Ecology* 149: 131-142
- Herrera C. 1987. Vertebrate-dispersed plants of the Iberian Peninsula. A study of fruit characteristics.
- Levitt J (1980) Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, New York
- Obeso JR 2002. *New Phytologist* 155: 321-348.
- Zunzunegui M, Díaz-Barradas MC, Ain-Lhout F, Alvarez-Cansino L, Esquivias MP, García Novo F. 2010. *Plant Ecology*. DOI 10.1007/s11258-010-9809-7
- Zunzunegui, M., Díaz Barradas, M.C., Clavijo, A., Alvarez-Cansino, L., Ain-Lhout, F, & García Novo, F, 2006. *Plant Ecology* 183: 35-46.

Drought stress and recovery in two contrasting *Eucalyptus* species

F. Javier Cano-Martín^{1,2}, Charles R Warren³ and Ismael Aranda^{1*}

¹Centro de Investigación Forestal (CIFOR), Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), Carretera de la Coruña km 7.5, 28040 Madrid. Spain. ²Unidad Docente de Anatomía, Fisiología y Genética Forestal, E.T.S.I. Montes, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid. Spain.

³School of Biological Sciences, Heydon-Laurence Building A08, University of Sydney, Sydney NSW 2006, Australia

* Corresponding author: E-mail: aranda@inia.es Tel.: +34 91 347 6773, Fax: +34 91 347 6767

Abstract.

In this study we compare long-term acclimation to drought of a *Eucalyptus* species from a xeric habitat (*E. dumosa*) with a congener from a humid habitat (*E. pauciflora*). Water stress was imposed by reducing irrigation to potted seedlings to achieve medium and severe drought stress. Treatments were controlled based on stomatal conductance. Well watered plants had stomatal conductance of 0.41 and 0.37 molm⁻²s⁻¹ in *E. pauciflora* and *E. dumosa* respectively and a reduction of 80% and 92% was reached for moderate and severe water stress. After 2 months of drought plants were re-watered by repeated short immersions of pots until they reached the weight of well watered pots. Changes in the pressure– volume (P–V) curve in mature leaves were followed before and after re-watering. The leaf water potential at full (Π^{100}) and turgor loss (Π^0) decreased and the maximum bulk elastic modulus (ϵ_{\max}) increased under drought treatments in both species contrary to those reported in other *Eucalyptus* species. There was not reduction in relative water content in drought treatments (85%) with the exception of *E. pauciflora* of severe stress (80%). These changes together with decrease in water potential helped maintain water status of leaves under drought by a sensitive stomatal control. The more sclerophyllous leaves of *E. dumosa* had lower osmotic potentials with lower cell-wall elasticity than *E. pauciflora*. After re-watering, osmotic potential of *E. dumosa* decreased whereas osmotic potential of *E. pauciflora* increased. Morphology and physiology of *E. dumosa* plants were better adapted to prolonged drought conditions.

Introduction.

Drought decreases plant water potential that could decrease the leaf cells turgor. Maintenance of turgor is a necessary prerequisite for cell enlargement and for gas exchange through stomata (Hsiao, 1973; Kramer & Boyer 1995). *Eucalyptus* species responses to water deficits include changes in biomass allocation (Rawat & Banerjee 1998), stomatal control (Macfarlane et al. 2004), cell wall reinforcement (Ladiges 1975), cell wall water storage (Tuomela 1997) and cellular osmolarity (Lemcoff et al. 2002; Myers and Neales 1986). Reductions in osmotic potential are likely to act in combination with morphological adaptations such as the regulation of cell-wall elasticity and relative leaf water content that vary widely between species (Merchand et al., 2007). A key aspect of responses to drought and design of experiments is that a plant's capacity for osmotic adjustment relates to the rate and extent of water stress imposed (Morgan 1984). To date, most studies of drought have involved withholding water for few days or weeks, but much less is known about responses to long-term drought and recovery

from long-term drought. We contrasted responses of two *Eucalyptus* species to a two-month drought stress by estimating P-V parameters at the end of drought period and after rewatering.

Materials and methods.

Two *Eucalyptus* species, one from cold and humid mountains (*E. pauciflora* Sieb. ex Spreng.; annual precipitation >1200 mm) and other from the semi-arid Mallee formation (*E. dumosa* A. Cunn. ex Schauer.; annual precipitation < 400 mm), were grown in 8l plots and watered daily inside a greenhouse under natural sunlight at Sydney University (Australia). Water stress treatments began on 20th of February when seedlings of both species were around 30-40 cm tall. Five replicate plants of both species were randomly chosen and assigned to three water status treatments. Severe and moderate water stress were imposed by allowing pots to slowly dry down over a period of three weeks until stomatal conductance (measured with a Li-Cor LI6400 under saturating light) was less than $0.05 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ for plants in the severe stress treatments and between 0.1 and $0.05 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ for plants in the moderate stress treatment (92% and 80% reduction from well watered plants). Stomatal conductance in control plants was always $> 0.3 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Once the target stomatal conductance was reached we continued to weigh pots every day and add enough water to replace what had been transpired in the previous day. These drought stress treatments were maintained for 8 weeks until the 14th of April when water-stressed plants were re-watered. Predawn water potential (Ψ_{pd}) was measured by using a pressure chamber (Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, California, USA) on 13th April, at the moment of maximum water stress two months after beginning of the drought treatments and just next day after rehydration. One leaf per plant was recollected at morning of days 17th February, 8th and 16th April, and used to establish the pressure – volume curves (Tyree & Hammel, 1972) by the free transpiration dehydration method (Hinckley et al., 1980). Leaves were recut under water to rehydrate with the cut petiole immersed in distilled water for less than 24 hours at 4°C in darkness as in Dreyer et al (1990). The following parameters were derived: osmotic potential at full (Π^{100}) and zero turgor (Π^0), relative water content of the apoplasmic fraction (R_a) and bulk modulus of elasticity at full turgor (ϵ_{max}) in accordance with Robichaux (1984). Bulk elastic modulus was calculated assuming that the weight of apoplasmic fraction of water in leaf remained constant. Dry weight was evaluated by drying the samples at 65°C in an oven to constant weight.

Results.

The different parameters derived from the pressure–volume curves showed significant acclimation to drought stress in both species. Firstly, predawn leaf water potential confirmed the differences in the intensity of drought for the two watering treatments applied (table 1). The Ψ_{pd} , was lower in *Eucalyptus dumosa* than *E. pauciflora* at similar stomatal conductances (table 1). Drought treatments led to lower Π^{100} and Π^0 . *E. dumosa* always had lower osmotic potentials than *E. pauciflora*, even for the well watered treatments. In addition, both species adjusted the Π^{100} in response to water stress. This was slightly higher in *E. dumosa* reaching on average 0.5 MPa for the severe drought treatment. Other responses to the drought were increase of bulk modulus of elasticity (higher in *E. dumosa*) and decrease of the apoplasmic water content to

same levels in both species. *E. dumosa* had higher leaf mass per leaf area (LMA; *E. dumosa* = 17 mg cm⁻², *E. pauciflora* = 13 mg cm⁻²) and leaf dry weight per full turgor weight ratio (DW/FW; *E. dumosa* = 0.38, *E. pauciflora* = 0.31) than *E. pauciflora* for all watering treatments. RWC⁰ was around 85% in all plants (including plants after re-watering). The exception was the significant lower value in *E. pauciflora* leaves for the severe stress treatment (around 80%). One day after re-watering, *E. pauciflora* plants from drought treatments recovered Ψ_{pd} to values close to control plants. A similar pattern was observed in *E. dumosa*, however recovering of Ψ_{pd} from the water stress were not as complete in *E. dumosa* as in *E. pauciflora* (table 1). The evolution of Π^{100} and Π^0 after three days of rewatering showed a different pattern according to species. There was decrease in osmotic potential for *E. dumosa*, but a significantly rise for *E. pauciflora* in the severe plants treatment three days after re-watering (table 1).

Table 1. The average values (n = 5) and standard deviation (in brackets) of parameters derived from P-V curves (see Mat & Meth) for two *Eucalyptus* species, at the end of the two-month drought treatments and three days after re-watering. Predawn water potential was measured the morning after re-watering. Letters indicate significant different groups by Duncan's test for each variable and stars are derived from "repeated measures ANOVA" showing statistical differences between dates for each treatment and species. (***) p<0.001; (**) p<0.01; (*) p<0.05.

		End drought experiment			Re-watered	
		Well watered	Moderate Stress	Severe Stress	from Moderate	from Severe
ϵ_{max} (MPa)	<i>E. dumosa</i>	13.6 (1.4) ab	17.2 (1.5) d	17.1 (1.3) d	14.9 (2.0)	12.6 (2.0) **
	<i>E. pauciflora</i>	12.2 (2.0) a	15.8 (1.2) cd	14.2 (0.8) bc	11.9 (1.3) **	12.3 (1.2) *
Π^{100} (MPa)	<i>E. dumosa</i>	-1.85 (0.15) c	-2.16 (0.17) d	-2.30 (0.19) d	-2.34 (0.19)	-2.46 (0.12)
	<i>E. pauciflora</i>	-1.46 (0.10) a	-1.61 (0.06) ab	-1.70 (0.07) bc	-1.49 (0.12)	-1.59 (0.04) *
Π^0 (MPa)	<i>E. dumosa</i>	-2.25 (0.15) c	-2.56 (0.17) d	-2.75 (0.19) d	-2.82 (0.19)	-3.13 (0.12) *
	<i>E. pauciflora</i>	-1.80 (0.10) a	-1.91 (0.06) ab	-2.14 (0.07) bc	-1.83 (0.12)	-1.95 (0.04) **
R _a (%)	<i>E. dumosa</i>	11.1 (4.2) a	4.8 (3.4) a	4.5 (2.2) a	19.6 (9.9) *	29.1 (3.9) ***
	<i>E. pauciflora</i>	21.9 (11.3) b	9.5 (4.4) a	4.2 (1.9) a	24.3 (10.3) *	17.4 (3.0) ***
Ψ_{pd} (MPa)	<i>E. dumosa</i>	-0.01 (0.0) a	-2.44 (0.42) c	-3.80 (0.64) d	-0.03 (0.01) ***	-0.11 (0.03) ***
	<i>E. pauciflora</i>	-0.01 (0.0) a	-1.45 (0.39) b	-2.88 (0.45) c	-0.01 (0.0) ***	-0.01 (0.01) ***

Discussion.

Evidence for osmotic adjustment from PV curves. Exposure of *E. dumosa* and *E. pauciflora* seedlings to drought for 2 months decreased the osmotic potential at full turgor (Π^{100}) and at the turgor loss point (Π^0) in both species, as has been found in a variety of other *Eucalyptus* species (Lemcoff et al. 2002; Merchant et al. 2007; Myers and Neales 1986; Stoneman et al. 1994; Tuomela 1997). There was a significant difference in Π^{100} between species in well watered plants (0.4 MPa), and this difference between species was larger in drought stressed seedlings (0.6 MPa). The species from a dryer habitat (*E. dumosa*) had lowest lower osmotic potential than its congener from a wetter habitat. This trend of more negative osmotic potentials in *Eucalyptus* species from dry habitats has been reported in a range of other *Eucalyptus* species (Lemcoff et al. 2002; Merchant et al. 2007; Myers and Neales 1986; Tuomela 1997) and thus would appear to be ubiquitous for the genus *Eucalyptus*. The bulk modulus of elasticity. Lack of elastic adjustment under drought. These two *Eucalyptus* species had rather inelastic cell walls ($\epsilon = 12 - 13$ MPa for well watered plants), and are in the middle of the range between species

from tropical (Myers et al., 1997) or rain forest (White et al., 1996), and xeric environments (Clayton-Greene et al., 1983; White et al., 2000). Drought treatments increased ϵ in both species (15 and 17 MPa for *E. pauciflora* and *E. dumosa* respectively), contrary to previous water stress experiments with *Eucalyptus*, in which ϵ decreased (Merchant et al., 2007; Stoneman et al., 1994; White et al., 2000). The high bulk elastic modulus in both species confers inelastic wall cells properties (Tyree & Jarvis 1982) that confers advantages to maintain water status of leaves under drought by a sensitive stomatal control and depression of water potential (Lo Gullo & Salleo, 1988). Water relations after re-watering. Both species recovered from drought in terms of gas exchange (data not shown) and water potentials. After re-watering, *E. dumosa* decreased its osmotic potential and increased the amount of osmolytes. This pattern has been seen in other *Eucalyptus* species (Guarnaschelli et al., 2003; Myers & Neales, 1986), and is suggested to predispose the plant to maintain higher pressure potential that allows stomatal opening and improves gas exchange under future water stress (Jones & Turner, 1978; Morgan 1984; West et al., 1990). In *E. pauciflora*, by contrast, the osmotic potential increased to well watered values. This reduction in the osmolytes after re-watering could be associated with synthesis of new biomass as has been shown for sorghum (McCree et al., 1984).

Conclusions

E. dumosa is more adapted to drought not only because it has more sclerophyllous leaves, but was also by having larger osmotic adjustment with higher bulk modulus of elasticity. This is supported by the observation that re-watering of *E. dumosa* led to an increase in osmolytes, as would be expected for species from habitats with frequent drought. In contrast, *E. pauciflora* showed more of a drought avoidance strategy as has been reported for other *Eucalyptus* species from mesic habitats. In both species, acclimation to a prolonged dry period was brought about by a combination of high bulk elastic modulus and osmotic adjustment.

Acknowledgements

This work was supported by a Discovery Grant and QEII Fellowship from the Australian Research Council (CR Warren), by a PhD fellowship from Regional Government of Madrid (FJ Cano) and in the frame of the project "SUM2008-00004-C03-01", by the Ministry of Science and Innovation of Spain.

Bibliography:

- Clayton-Greene KA (1983). *Oecologia* 57:368–373.
Dreyer E, et al. (1990). *Ann Sci For* 47:285-297.
Guarnaschelli AB, et al. (2003). *Trees* 17:501–509.
Hinckley TM, et al. (1980). *Plant, Cell and Environ* 3:131-140.
Hsiao TC (1973). *Annu Rev Plant Physiol* 24:519-570.
Jones MM, Turner NC (1978). *Plant Physiol*. 61:122-126.
Kramer PJ, Boyer JS (1995) *Water relations of plants and soils*. Academic Press, San Diego.
Ladiges PY (1975). *New Phytologist* 75:53-62.
Lemcoff JH, et al. (2002). *Flora* 197:134-142.
Lo Gullo MA, Salleo S (1988). *New Phytologist* 108:267–276.
Macfarlane C, et al. (2004). *Plant, Cell and Environ* 27:1268-1280.
McCree KJ, et al. (1984). *Plant Physiol*, 76:898- 902.
Merchant A, et al. (2007). *Annals of Botany* 100:1507-1515.
Morgan JM (1984). *Annu. Rev. Plant Physiol*. 35:299-319.
Myers BA, et al. (1997). *Aust. J. Bot.* 45:225–250.
Myers BA, Neales TF (1986). *Aust. J. Plant Physiol* 13:597-603.
Rawat JS, Banerjee SP (1998). *Plant and Soil* 205:163-169.
Robichaux BS (1984). *Oecologia* 65:75–81.
Stoneman GL, et al. (1994). *Tree Physiology* 14:633-646.
Tuomela K (1997). *Forest Ecol. and Management* 92:1-10
Tyree MT, Hammel HT (1972). *J. Exp. Bot.* 23:267–282.
Tyree MT, Jarvis PG (1982) *Water in tissues and cells*. In *Physiological Plant Ecology*. Springer-Verlag, Berlin, pp 36–77.
West CP, et al. (1990). *Env. and Exp. Bot.* 30:149-156
White DA, et al. (1996). *Tree Physiology* 16:469–76.
White DA, et al. (2000). *Tree Physiology* 20:1157-1165.

Sesión 3. Relaciones hídricas bajo condiciones de estrés
abiótico.

Moderadores:

M^a Jesús Sánchez Blanco (CEBAS-CSIC,
España)

y Juan José Irigoyen (UNAV, España)

Application of sewage sludge improves growth, photosynthesis and antioxidant activities of nodulated alfalfa plants under drought conditions

Sánchez-Díaz, M., Muro, I., Antolín, M.C.

Dpto de Biología Vegetal. Sección Biología Vegetal (Unidad Asociada al CSIC, EEAD, Zaragoza e ICVV, Logroño).
Facultades de Ciencias y Farmacia, Universidad de Navarra, Irunlarrea 1, 31008 Pamplona.

msanchez@unav.es

ABSTRACT

We have examined the influence of sewage sludge application on the capacity for acclimation to drought of N₂-fixing alfalfa plants. Nodulated alfalfa plants were grown in pots with sludge. Pots without sludge but with inoculated plants were used as control treatment for comparison. Two levels of irrigation were imposed: (1) well-watered and (2) drought stress during some cycles of moisture stress and recovery. Sludge application improved net photosynthesis resulting in higher plant growth and photosynthetic products (soluble sugars) required for nodule metabolism. Under drought, nodules of sludge-treated plants had higher antioxidant metabolites as ascorbate and some antioxidant enzyme activities as catalase than untreated plants. All these changes might have contributed to protect nodules from oxidative stress as indicated by low products of lipid peroxidation.

INTRODUCTION

The recycling of sewage sludge to agricultural land is favoured over disposal through landfill or incineration due to potentially beneficial effects on soil fertility from organic matter and plant nutrients in the sludge. Although it was reported that the fertilizing effect of sewage sludge depended on soil water content (Mata-González et al. 2004) we hypothesize that sludge addition to crops could result in improved protection capacity of plants under drought. Therefore, the aim of this study was to examine the effects of sludge application on growth and photosynthesis of N₂-fixing alfalfa plants subjected to periodic drought.

MATERIAL AND METHODS

Alfalfa (*Medicago sativa* cv. Aragón) plants were grown in pots with a mixture of perlite and vermiculite (2:1, v/v) and sludge, which was incorporated into substrate at rate of 10% (w/w), which was equivalent to approximately 30 t dry matter (DM) ha⁻¹. The experimental design included two treatments: (1) Plants inoculated with *Sinorhizobium meliloti* strain 102F34 and amended with sewage sludge, and (2) plants inoculated with rhizobia without any amendment. When 45 days old, half of sludge-amended or unamended plants were subjected to drought by withholding irrigation in a cyclic way (see more details in Antolín et al. 2010).

RESULTS AND DISCUSSION

Results showed that the application of sewage sludge increased net photosynthesis per unit area in alfalfa (Fig. 1), resulting in higher DM production and high photosynthetic products (soluble sugars) to the nodules (Table 1). As expected, drought resulted in stomatal closure and decreased net photosynthetic rates (Fig. 1). However, sludge-treated plants subjected to water

deficit exhibited higher rates of photosynthesis and lower intercellular CO₂ than untreated plants with no changes in leaf conductance. These observations suggest that non-stomatal factors were important factors influencing photosynthesis of sewage sludge-treated plants. Antolín and Sánchez-Díaz (1993) showed that inhibition of rubisco activity was the main constraint for photosynthesis under cyclic drought. Thus, it is plausible to conclude that sludge-treated plants might maintain better CO₂ fixation capacity.

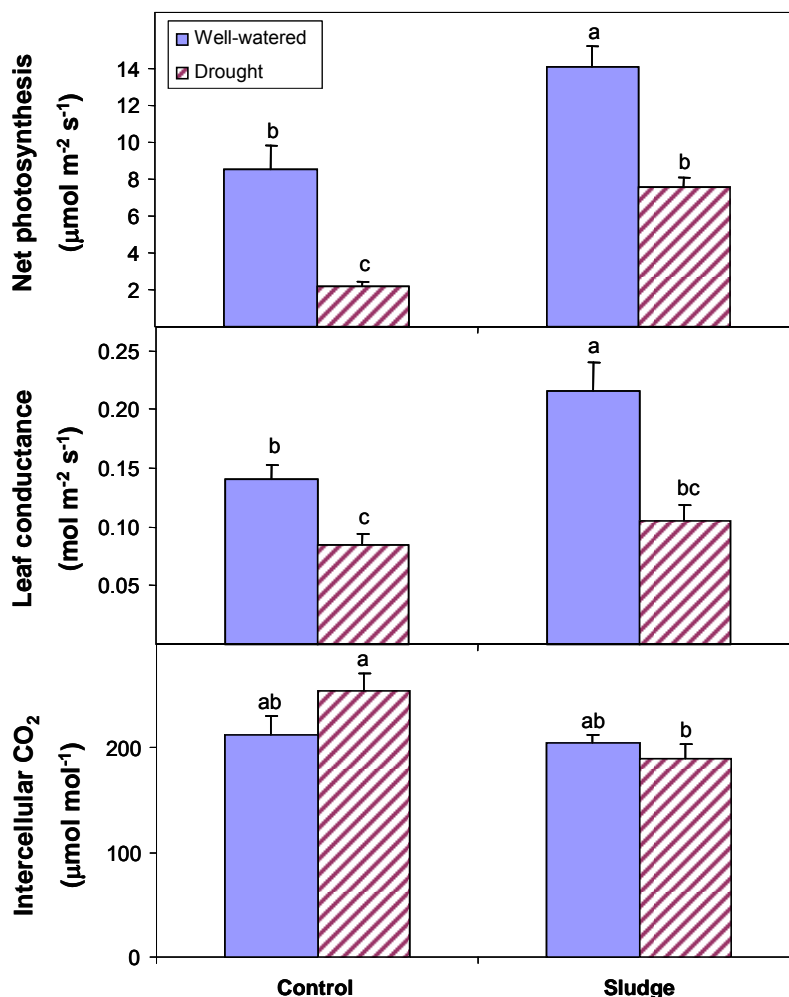


Figure 1. Net photosynthetic rate, leaf conductance to water vapour and intercellular CO₂ concentration in leaves of alfalfa grown in sludge-amended or unamended (Control) under well-watered or soil water deficit (Drought) conditions. Values are means (n = 5). Different letters indicate significant differences (p ≤ 0.05) between treatments according to a Tukey's test.

Drought decreased nodule DM both in sludge-treated and untreated plants (Table 1). Nitrogenase activity was significantly affected by drought in control plants but remain unaffected in sludge-treated plants, suggesting that nodules were more protected during water stress in a sludge-amended substrate. Oxidative stress could become a serious problem in nodules (Becana et al. 2000). Our results showed that sludge addition induced an increase of nodule thiols (Fig. 2), which play an important role by relieving the oxidative stress in this organ (Corticeiro et al., 2006).

Table 1. Plant and nodule characteristics of nodulated alfalfa plants grown in sludge-amended or unamended soils (Control) under well-watered or soil water deficit conditions.

	Control		Sludge	
	Well-watered	Drought	Well-watered	Drought
<i>Water status</i>				
Soil WC (cm ³ cm ⁻³)	0.69 a	0.17 c	0.60 b	0.14 c
Nodule RWC (%)	94.77 a	68.45 b	90.06 a	72.08 b
<i>Plant growth</i>				
Plant DM (g plant ⁻¹)	0.90 c	0.56 d	2.08 a	1.24 b
Nodule DM (g plant ⁻¹)	0.014 a	0.004 b	0.015 a	0.004 b
<i>Nodule characteristics</i>				
Nitrogenase (μmol H ₂ min ⁻¹ plant ⁻¹)	0.031 a	0.013 b	0.015 b	0.010 b
TSS (mg g ⁻¹ DM)	53.03 b	76.91 b	104.93 a	111.85 a
Soluble protein (mg g ⁻¹ DM)	31.33 b	53.78 b	77.00 a	78.60 a

WC: water content; RWC: relative water content; DM: dry matter; TSS: total soluble sugars. Within each file, means followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$) according to a Tukey's test. Values are means (n=5).

Table 2. Hydrogen peroxide (H₂O₂) and main antioxidant enzyme activities in nodules of alfalfa plants grown in sludge-amended or unamended soils (Control) under well-watered or soil water deficit conditions.

	Control		Sludge	
	Well-watered	Drought	Well-watered	Drought
H ₂ O ₂ (μmol g ⁻¹ DM)	2.83 b	3.39 ab	1.10 c	3.89 a
APX (μmol mg ⁻¹ prot s ⁻¹)	4.96 b	8.40 a	9.78 a	9.50 a
GR (μmol mg ⁻¹ prot s ⁻¹)	0.0022 c	0.0074 a	0.0037 bc	0.0048 b
CAT (μmol mg ⁻¹ prot s ⁻¹)	0.64 c	0.96 b	0.90 b	1.23 a

DM: Dry matter. Within each file, means followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$) according to a Tukey's test. Values are means (n=5).

The abundance of ASC and thiols in the nodule-infected tissue strongly suggest that both types of redox metabolites cooperate in scavenging harmful concentrations of H₂O₂ in host cells by fueling the ASC-GSH cycle (Matamoros et al., 2003). Our results reveal that oxidative damage occurs in alfalfa nodules of untreated plants and were confirmed by the accumulation of peroxidized lipids (estimated as malondialdehyde, MDA) (Fig. 2). Moreover, although

antioxidant enzyme activities (APX, GR and CAT), as assayed *in vitro*, increased with drought (Table 2), a large decrease in the concentrations of ASC may compromise H₂O₂ detoxification through the ASC-GSH cycle *in vivo* (Fig. 2). Sludge-treated nodules also showed a decline in ASC and thiols but it seemed to stay more protected from oxidative stress as indicated by lower concentration of MDA and higher ASC levels compared to untreated nodules (Fig. 2).

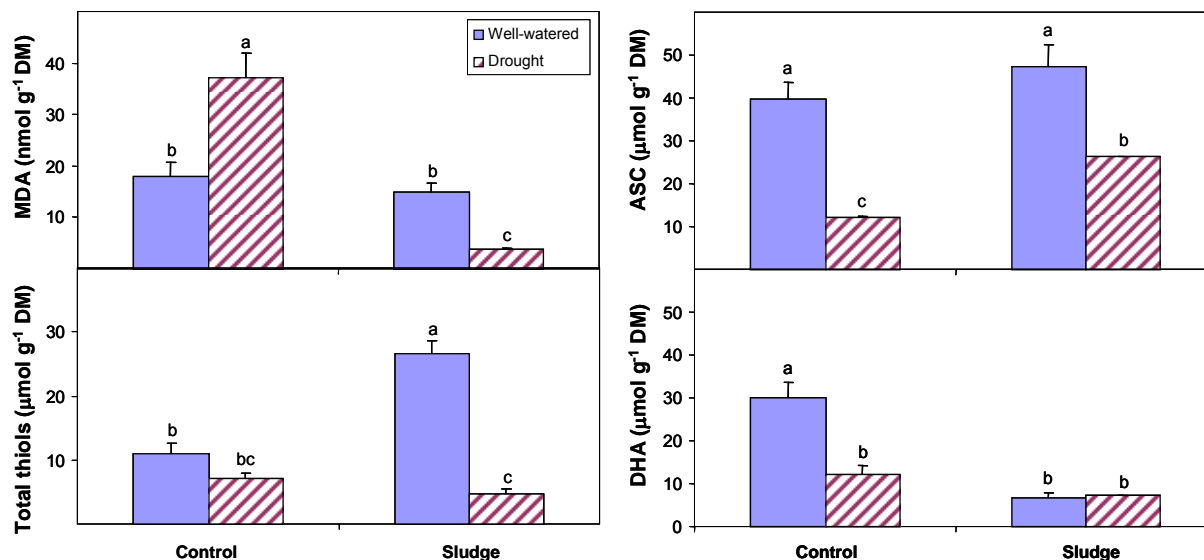


Figure 2. Markers of oxidative damage and antioxidant metabolites in nodules of alfalfa plants grown in sludge-amended or unamended (Control) under well-watered or soil water deficit (Drought) conditions. Otherwise as in Fig. 1.

CONCLUSIONS

Sludge application to nodulated alfalfa plants improved net photosynthesis resulting in higher plant growth and high photosynthetic products (soluble sugars) to nodule metabolism. Under drought, nodules of sludge-treated plants had higher antioxidant metabolites and antioxidant activity than in untreated plants. All these changes might have contributed to protect nodules from oxidative stress. This study provides evidence for a beneficial effect of sewage sludge application to nodulated alfalfa plants under cyclic drought.

ACKNOWLEDGEMENTS

This project was supported by NILSA (Navarra de Infraestructuras Locales S.A.). I. Muro was the recipient of a grant from Asociación de Amigos de la Universidad de Navarra.

REFERENCES

- Antolín MC, Sánchez-Díaz M (1993). *J. Exp. Bot.* 44, 1341-1349.
 Antolín MC, Muro I, Sánchez-Díaz (2010). *Environ. Exp. Bot.* 68, 75-82.
 Becana M, Dalton DA, Morán JF, Iturbe-Ormaetxe I, Matamoros MA, Rubio MC. (2000). *Physiol. Plant.* 109, 372-567.
 Corticeiro SC, Lima AIG, Figueira EMP. (2006). *Enz. Microb. Technol.* 40, 132-137.
 Mata-González R, Sosebee RE, Wan C. (2004). *Arid Land Res. Manage.* 18, 385-395.
 Matamoros MA, Dalton DA, Ramos J, Clemente MR, Rubio MC, Becana M. (2003). *Plant Physiol.* 133, 499-509.

El sistema de doble maceta enterrada mejora el crecimiento y desarrollo de *Rhamnus alaternus* en condiciones de riego salino

Miralles, J.¹, Martínez-Sánchez, J.J.^{1,3}, Valdés, R.¹, Sánchez Blanco, M.J.^{2,3}, Bañón, S.^{1,3}

¹Departamento de Producción Vegetal, UPCT. 30203 Cartagena, Spain.

julian.miralles@upct.es

²Departamento de Riegos, CEBAS-CSIC. P.O. Box164. 30100 Espinardo, Spain

³Unidad Asociada al CSIC. Horticultura Sostenible en Zonas Áridas

ABSTRACT

The assessment of the pot-in-pot cultivation system as a way to optimize the irrigation with saline water was achieved. So, a two factors treatment was set, one of them being the cultivation system (above ground pot [AGP]) vs. pot-in-pot [PIP]) and the other one the irrigation water (control [1.5 dS m^{-1}] and saline [6 dS m^{-1}]). The study was carried out during 10 months with *Rhamnus alaternus* plants. The soil matric potential (SMP) was hourly monitored and at the end of the experiment measurements of growth and development, color, water relations and chlorophyll fluorescence were performed. The results showed that there was no interaction between the factors except for the index shoot dry weight/total dry weight where the PIP eliminated the salinity effect. The salinity reduced the dry weight of the plant parts and the leaf area, the PIP increased the plant dry weight specially in the roots what reduced the shoot:root ratio (S:R) contrary to salinity. The salinity also reduced the photosynthesis and the estomatal conductance, and damaged the photosystem II, the chlorophyll and the leaf color, the PIP did not affect this variables. The PIP produced less negative SMP registries however under saline conditions this effect was nearly null. In conclusion, this results pointed that the PIP is not enough to produce good quality plant with saline water despite it can improve its dry weight, leaf area and S:R ratio. This lack of effectiveness maybe caused by similar leaching fractions in both saline treatments because of the similar SMP registries.

INTRODUCCIÓN

El uso de aguas de baja calidad cada vez está más extendido debido a la escasez de recursos hídricos, afectando a la calidad de la planta, por lo que es necesario un manejo adecuado para tener éxito en la producción. Una de las técnicas utilizadas consiste en aumentar la fracción de agua drenada para lixiviar las sales y evitar que se acumulen en el sustrato (Hoffman et al. 1983), pero supone un gasto importante de agua. En esta línea, la disposición de una maceta dentro de otra maceta enterrada en el suelo (MME) reduce el consumo de agua, amortigua las temperaturas de las raíces en la maceta y permite un desarrollo radical en el espacio entre macetas que permite la absorción de más humedad por parte de las raíces (Miralles et al. 2009). Por lo tanto, nuestra hipótesis de partida es que este sistema de cultivo puede favorecer el crecimiento y desarrollo de las plantas sometidas a riegos con aguas salinas aumentando la disponibilidad de agua y mejorando el desarrollo radical.

El objetivo fue estudiar la influencia de ambos factores (salinidad y sistema de cultivo) sobre la producción de *Rhamnus alaternus* en maceta, incidiendo en aspectos de crecimiento, desarrollo, relaciones hídricas, funcionamiento fotoquímico y potencial matricial del sustrato.

MATERIAL Y MÉTODOS

En este experimento se estudió aladierno silvestre (*Rhamnus alaternus* L.), arbusto con interés ornamental y paisajístico. Se cultivaron plántulas con dos años de edad en maceta de PVC de 2,5 litros y 16 cm Ø, en la Estación Experimental Agroalimentaria "Tomás Ferro" de la Universidad Politécnica de Cartagena, (37°35' N, 0°59' W). El trasplante de las plantas a las macetas de cultivo se realizó el 15 de marzo de 2009, con un sustrato formado por turba negra (35% vol.), fibra de coco (35% vol.) y tierra arcillosa (30% vol.), más 2 g L⁻¹ de abono de liberación controlada (Agroblen 18N+5P₂O₅+11K₂O+4CaO+2MgO, 3-4 Meses). El experimento tuvo lugar entre el 1 de abril 2009 y el 4 de diciembre de 2009.

La parcela experimental y el sistema MME fue el mismo descrito por Miralles et al. (2009). En total se dispusieron 110 macetas en el sistema MME y otras 110 en la forma de cultivo tradicional maceta sobre suelo (MS). El sistema de riego se dispuso de forma que las líneas impares se regaron con agua salina a 6 dS m⁻¹, y las líneas pares con agua control a 1,5 dS m⁻¹. Cada momento de riego regaba todo a la misma vez durante el mismo tiempo, lo que suponía riegos de 600-700 ml de una a tres veces por semana según el periodo estacional. Esta dosis solía asegurar un drenaje del 15-20% para las plantas regadas sin sal y bajo el sistema MS.

En el centro de la parcela se instaló un registrador de datos desde el que se conectaban 8 sondas de temperatura y 32 de potencial mátrico de suelo, para tomar los registros periódicos de ambos parámetros cada hora. Al final del experimento se tomaron datos de parámetros de crecimiento, desarrollo, fluorescencia clorofílica (Fluorímetro FMS-2), intercambio gaseoso (CIRAS-2), clorofila SPAD (SPAD-502), color (coordenadas CIELAB) y potencial hídrico foliar (Ψ_h) (Scholander-3000). La significación estadística de los resultados fue analizada por un ANOVA bifactorial (salinidad x maceta), con un nivel de probabilidad menor al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico mostró que para todos los parámetros estudiados excepto para el índice peso seco tallo/planta (T:P) los factores salinidad y maceta fueron independientes (Tabla 1). La salinidad redujo el peso seco de todas las partes de la planta. El sistema de cultivo MME aumentó de forma significativa la biomasa radical y total aérea. El índice Aéreo:Radical (A:R) aumentó por la salinidad y el sistema MS. El área específica foliar (AEF) fue mayor en presencia de salinidad como sucedió en maíz (Cramer et al 1994) y no fue afectada por el sistema de maceta, sin embargo, tanto el área foliar (AF) y el número de hojas fue reducido por la salinidad y por el sistema MS. El área del limbo no fue afectada, por lo tanto la salinidad produjo hojas más ligeras. Los valores de Ψ_{hmd} apuntan a un peor estado hídrico de las plantas salinizadas. La salinidad redujo la fotosíntesis y la conductancia estomática, produciendo daños irreversibles en el fotosistema II (PSII) según los datos de máxima eficiencia del PSII adaptado a la oscuridad (Fv/Fm) como ocurrió en Sorgum (Netongo et al. 2004), y además redujo el SPAD. La disposición de la maceta no afectó a estos parámetros de forma significativa, aunque se observó una tendencia al alza de la fotosíntesis bajo el sistema MME que justificaría la mayor producción de peso seco, como fue observado en *Myrtus communis* (Miralles et al.

2009). No obstante, una medida puntual al final del ensayo solo refleja el estado final de la planta y es muy probable que MME haya producido mayores tasas en otros meses.

La salinidad incrementó el índice de compacidad (menor altura y brotes más cortos) y produjo hojas con un color más amarillento, claro y vivo al obtener un menor ángulo hue y una mayor claridad (L) y saturación (H) (Tabla 1). Por lo tanto el aspecto ornamental general de la planta se vio negativamente afectado por la salinidad por el amarilleamiento de las hojas y su menor número a pesar de ser plantas más compactas (menor frondosidad).

El análisis de la interacción entre salinidad y maceta para T:P, indica que el cultivo en MS potenció este índice cuando el riego fue salino (menor frondosidad), lo que significa una mayor afección de la salinidad sobre la biomasa radical y foliar. No obstante, el agua salina pierde su efecto sobre este índice cuando se cultiva en MME al no tener diferencias con MME sin salinidad (Tabla 2).

El potencial mátrico de suelo nos revela que el MME mantuvo valores más altos que el MS salvo el primer y el último mes (el primero por estar recién trasplantadas, el último por ser un mes muy lluvioso) (Fig. 1). Sin embargo, bajo riego salino, solo provocó diferencias en verano con un potencial mátrico de suelo un poco mayor en MME. Suponemos que esto se debió a que la salinidad redujo la actividad de la planta y su consumo, además el efecto del MME incrementó el AF (Tabla 1) lo que se tradujo en una mayor transpiración de las plantas en este sistema que pudo compensar la mayor evaporación del substrato del sistema MS.

CONCLUSIÓN

Los factores salinidad y disposición de maceta fueron básicamente independientes uno del otro. El riego con agua salina y el sistema MS redujeron el crecimiento de *Rhamnus alaternus* en términos de PS, aumentaron el índice A:R y redujeron el AF. Por lo tanto el uso de MME reduciría estos efectos negativos del riego salino principalmente por el menor estrés térmico radical (más raíz y mejor funcionamiento). Sin embargo, para obtener planta de calidad es necesario otro tipo de medida, ya que el sistema de cultivo no interviene en los daños sufridos en el PSII, en las clorofilas y en el color. Además, MME no provocó diferencias en el potencial mátrico de suelo en condiciones de salinidad, lo que puede indicar que el drenaje fue similar. Este comportamiento puede ser la explicación de la ausencia general de interacción entre ambos factores, ya que la fracción de lavado debió ser similar.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha financiado por los proyectos CICYT (CICYT AGL2008-05258-CO2-1-AGR and CICYT AGL2008-05258-CO2-2-AGR), SENECA (08669/PI/08) y por el Convenio con la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia (UPCT-CEBAS-IMIDA 2008).

BIBLIOGRAFÍA

- Cramer, G.R., Alberico, G.J., Schmidt, C. (1994). Leaf Expansion Limits Dry Matter Accumulation of Salt-Stressed Maize. *Australian Journal of Plant Physiology* 21(5): 663 – 674
- Hoffman, G.J., Jobes, J.A., Alves W.A. (1983). Response of tall fescue to irrigation water salinity, leaching fraction, and irrigation frequency. *Agricultural Water Management* 7 (4): 439-456
- Miralles, J., Nortes, P., Sánchez-Blanco, M.J., Martínez-Sánchez, J.J., Bañón S. 2009. Above Ground and PIP Production Systems in *Myrtus communis*. *Transactions of the ASABE* 52(1): 93-101
- Netondo, G. W., Onyango, J. C., Beck, E. (2004). *Sorghum* and Salinity: II. Gas Exchange and Chlorophyll Fluorescence of *Sorghum* under Salt Stress. *Crop Science* 44(3): 806 - 811.

Tabla 1. Nivel de significación del ANOVA bifactorial para el crecimiento y la distribución de la biomasa, relaciones hídricas, fluorescencia clorofílica, SPAD y color.

PARÁMETRO	SALINIDAD		MACETA		SIGNIFICACIÓN		
	6 dS m ⁻¹	Control	MS	MME	Sal	Maceta	S x M
PS Raíz (g)	7,72	17,68	6,67	18,73	***	***	NS
PS Tallo (g)	16,96	26,64	17,81	25,79	*	NS	NS
PS Hojas (g)	7,36	17,85	11,01	14,20	***	NS	NS
PS aéreo (g)	24,33	44,49	28,83	39,99	***	*	NS
PS planta (g)	32,05	62,17	35,50	58,72	***	**	NS
Aéreo/Radical (A/R)	4,95	2,85	5,58	2,23	*	**	NS
AEF (AF/PSF)	81,06	57,72	70,30	68,47	**	NS	NS
Área foliar (cm ²)	539,57	1033,08	607,37	965,28	**	*	NS
nº hojas/planta	263,01	471,02	300,17	433,86	**	*	NS
Área del limbo (cm ²)	2,04	2,19	1,99	2,24	NS	NS	NS
PS tallo/planta	0,57	0,42	0,56	0,44	**	**	*
PS hojas/PS tallo	0,42	0,73	0,58	0,57	*	NS	NS
Ψ _{hmd} (MPa)	-1,05	-0,79	-0,92	-0,92	*	NS	NS
P _n (μmol m ² s ⁻¹)	1,86	6,39	3,20	5,05	**	NS	NS
g _s (mmol m ² s ⁻¹)	11,13	37,63	24,88	23,88	**	NS	NS
Fv/Fm	0,75	0,80	0,77	0,78	*	NS	NS
Compacidad	0,031	0,024	0,028	0,027	*	NS	NS
SPAD	60,74	72,94	66,41	67,27	*	NS	NS
Luminosidad (L)	34,63	29,51	31,73	32,42	*	NS	NS
Croma	25,28	17,97	21,27	21,98	*	NS	NS
Ángulo hue	106,64	109,11	107,98	107,78	*	NS	NS

Los asteriscos indican diferencias significativas entre las medias o interacción a *P<0.05, **<0.005, ***<0.0005. NS=No Significativo.

Tabla 2. Efectos de la interacción de la salinidad y la maceta sobre el ratio PS tallo/PS planta (T:P)

T:P	MS	MME	significación
CONTROL	0,44	0,41	NS
SAL	*0,68	0,47	*

Los asteriscos en la celda indican diferencias significativas entre las medias en dirección vertical a un P<0.05, los asteriscos a la derecha indican diferencias significativas entre las medias en dirección horizontal a un P<0.05.

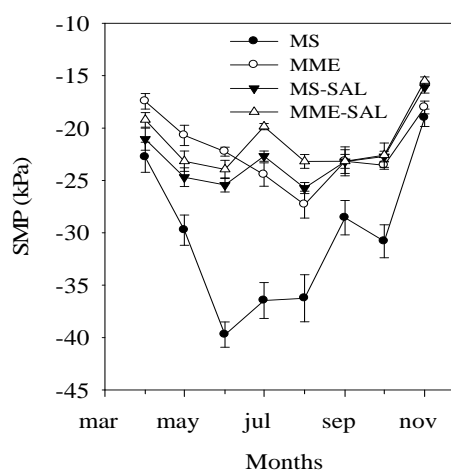


Figura 1. Evolución del potencial mátrico de suelo mínimo mensual de sustrato. Las barras de error muestran el error estándar de las medias (n=8).

Efecto del riego con aguas regeneradas en el desarrollo, composición mineral y estado hídrico de plantas de *Eugenia myrtiflora* L.

Acosta, J.R.¹, Castillo, M.¹, Álvarez, S.¹, Bañón, S.^{2,3}, Pedrero, F.¹, Gómez-Bellot, M.J.¹, Sánchez-Blanco, M.J.^{1,3}

¹ Dpto. de Riego. CEBAS (CSIC). P.O. Box 164, E-30100, Murcia, Spain.

² Departamento de Producción Agraria. Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT). 30203 Cartagena, Spain.

³ Unidad Asociada al CSIC de Horticultura Sostenible en Zonas Áridas (UPCT-CEBAS). Spain.

quechu@cebas.csic.es

ABSTRACT

An experiment was set up to determine the effects of irrigation with treated municipal wastewater with different electrical conductivities (1.5 dS m⁻¹, 4 dS m⁻¹ and 8 dS m⁻¹) on growth, water relations and ion uptake of *Eugenia myrtiflora* plants grown in pot and controlled environment (growth chamber). The plants were irrigated with reclaimed water for 4 months and recovery with control water (0.85 dS m⁻¹) for 2 months. Plants irrigated with saline water had higher Na⁺ and Cl⁻ concentrations in their roots than in their leaves, as a salt-excluder species. Root hydraulic resistance increased in treated plants, in which lower leaf water potential and stomatal conductance values were recorded. The results indicate that the both the osmotic and saline effects are operated. The specie under observation showed no recovery of any parameter considered during relief from salinity due to salt accumulation in the substrate. Soil salinity management is recommended to ensure successful use of recycled water. The specific salt level in recycled water has to be considered for each species.

INTRODUCCIÓN

La reutilización de aguas regeneradas para riego agrícola y de jardinería ha alcanzado una aplicación notable en países desarrollados. Las ventajas del uso de esta agua como riego se derivan de la disponibilidad de un abastecimiento a precio competitivo, del uso potencial de nutrientes y la reducción de los efectos contaminantes al medioambiente (Ferrini et al., 2000). Sin embargo, la calidad del agua requiere el control de una serie de elementos químicos que afectan al crecimiento de las plantas. Los problemas de calidad pueden estar asociados con el contenido en sales y toxicidad de iones (sodio, cloruro y boro), los cuales pueden variar en función del origen de las aguas. Por ello, para un uso eficiente de este tipo de agua para el riego con fines paisajísticos es importante conocer la respuesta de las plantas, cuya información en la actualidad es bastante escasa (Wu and Dodge, 2005).

El objetivo del trabajo fue estudiar el efecto de aguas regeneradas de distinta procedencia, con distintos niveles de salinidad, en el crecimiento, acumulación de iones y relaciones hídricas de plantas de *Eugenia myrtiflora*, arbusto perennifolio mediterráneo, de porte denso y compacto.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se emplearon 120 plántulas de *Eugenia myrtiflora*. de una savia de edad (6 meses – 1 año), las cuales fueron trasplantadas a macetas de 14 cm de diámetro (1.2 l), con una mezcla

de fibra de coco, turba negra y rubia y perlita (8:7:1). Estas macetas fueron trasladadas a una cámara de crecimiento controlado simulando los cambios naturales de temperatura y luz (18°C y oscuridad, 23°C y 350 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ luz, HR; 55%-70%) y distribuidas en grupos de 30, cada una correspondiente a un tratamiento. Durante 4 meses (fase de salinidad, S), se aplicaron 3 tipos de aguas residuales depuradas (ARD) y un tratamiento control. El riego se aplicaba dos días por semana pesando las macetas y con un 15% de drenaje en el control. Las aguas regeneradas procedían de la depuradora de Jumilla: CE=1.5 dS m^{-1} , Na=260 mg l^{-1} , Cloruros=720 mg l^{-1} , B=0.18 mg l^{-1} , (ARD 1); Campo Tejar: CE=4 dS m^{-1} , Na=362 mg l^{-1} , Cloruros=862 mg l^{-1} , B= 0.55 mg l^{-1} , (ARD 2) y Mazarrón: CE=8 dS m^{-1} , Na=1492 mg l^{-1} , Cloruros=1557 mg l^{-1} , B= 1.26 mg l^{-1} , (ARD 3). El agua para el tratamiento control fue de 0.85 dS m^{-1} . Después de este periodo todas las plantas se regaban con agua correspondiente al tratamiento control durante 2 meses (fase de recuperación, R). Al final de las fases de salinidad y recuperación se estimó el peso seco de las distintas partes de la planta y el área foliar total mediante un medidor AM 200 (ADC BioScientific Ltd.). El contenido de solutos inorgánicos se determinó, sobre material seco, en 4 plantas por tratamiento. El ión Cl^- se determinó sobre un extracto acuoso mediante un analizador automático (Model 926 Chloride Analyser, Sherwood Scientific Ltd.) y el contenido de Na^+ y B^{3+} mediante el analizador ICP-OES IRIS INTREPID II XDL.

Periódicamente se midió el contenido relativo de agua (CRA) y el potencial hídrico en 5 repeticiones por tratamiento. Los potenciales hídricos (Ψ_h) se midieron a máxima luminosidad, usando una cámara de presión (Soil Moisture, mod. 3000) de acuerdo con Scholander *et al.*, (1965). La conductancia (g_s) y la fotosíntesis neta (P_n) fueron medidas utilizando un aparato de intercambio gaseoso portátil LI-COR Inc., modelo LI-6400. La conductividad hidráulica de las raíces (L_p) se estimó al final de ambas fases según el método descrito por Ramos y Kaufmann, (1979).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al final de la fase de salinidad, la producción de biomasa de la parte aérea disminuyó sólo en las plantas regadas con ARD 3 (Tabla 1) y el área foliar resultó ser el parámetro más sensible. El crecimiento de las raíces no se vio afectado por el riego con ARD, sin embargo, el cociente raíz/parte aérea incrementó por efecto de las sales. Al final de este periodo, el 100% de las plantas regadas con ARD 3 y el 50% con ARD 2 murieron, debido a que la acumulación de sales en el sustrato fue muy alta (datos no mostrados). De hecho a pesar de que, a partir de ese momento, todas las plantas se regaron con agua buena (fase recuperación), las plantas de ARD 2 crecieron menos que las de ARD 1 y las del control (Tabla 1), como consecuencia de que los efectos tanto ósmóticos como tóxicos no fueron reversibles (Rodríguez *et al.*, 2005). Para cultivos agrícolas el daño por estrés salino es medido como productividad, sin embargo para las especies con fines paisajísticos es evaluado por la calidad visual de la planta y valor ornamental, más que por su crecimiento (Wu and Guo, 2005).

La conductividad hidráulica de las raíces disminuyó conforme se incrementaba la CE del agua de riego, apreciándose, incluso una disminución en la fase de recuperación (Tabla 1). El efecto de los tratamientos produjo una disminución en Ψ_h y CRA (Figura 1), con una

deshidratación foliar importante desde el inicio de los tratamientos hasta alcanzar los -2.0 MPa en las plantas de ARD 3. No se aprecia recuperación de los valores de estos parámetros en la fase de riego con agua del tratamiento control. Las reducciones observadas en estos parámetros por efecto de la salinidad han sido ampliamente descritas.

Tabla 1. Crecimiento y conductividad hidráulica en plantas de *Eugenia myrtiflora* regadas con diferentes niveles de salinidad.

Fase	Tratamiento	P.S aéreo (g/planta)	P.S raíz (g/planta)	P.S.raíz/ P.S.aéreo	Área foliar total (cm ²)	Conductividad hidráulica (L _p)
S	Control	5,75 b	1,88 a	0,33 a	1031 c	0,608 d
	ARD 1	3,98 b	2,11 a	0,53 b	645 b	0,367 c
	ARD 2	3,76 b	1,65 a	0,40 b	465 ab	0,172 b
	ARD 3	2,40 a	1,51 a	0,64 c	205 a	0,117 a
R	Control	9,58 b	1,95 a	0,21 b	1516 b	0,921 b
	ARD 1	8,12 b	2,38 a	0,29 b	1292 b	0,224 a
	ARD 2	3,62 a	1,60 a	0,40 a	340 a	0,141a

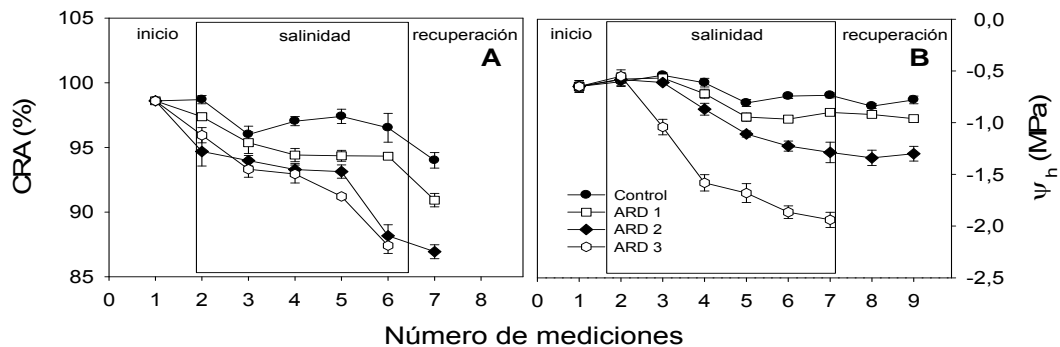


Figura 1. Contenido relativo de agua (CRA; A) y potencial hídrico de hoja (ψ_h ;B) en plantas de *Eugenia myrtiflora* regadas con diferentes niveles de salinidad.

Los valores de conductancia estomática (Figura 2) reflejan el estrés osmótico producido por las sales (Azza Mazher et al., 2007) con una reducción importante en los tratamientos que reciben agua con mayores CE. La fotosíntesis disminuye con reducciones del 50% (Figura 2), quizás factores estomáticos y no estomáticos estén implicados en dicha reducción.

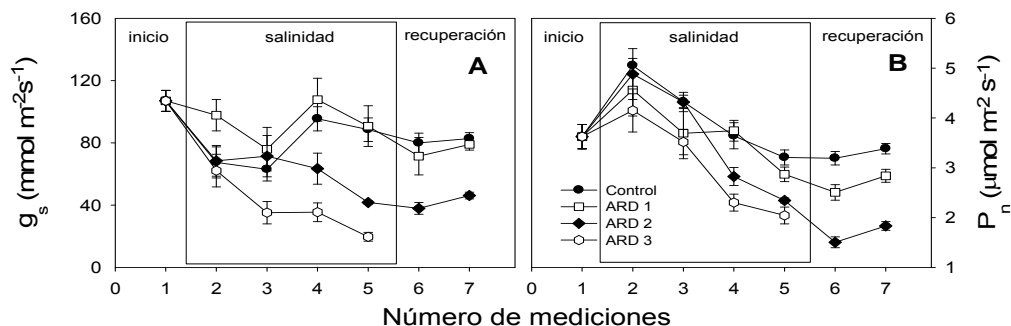


Figura 2. Conductancia estomática (g_s ; A) y fotosíntesis (P_n ;B) en plantas de *Eugenia myrtiflora* regadas con diferentes niveles de salinidad.

A los cuatro meses del inicio de la aplicación de los distintos tratamientos, el contenido de cloro en hoja aumenta sólo significativamente en ARD 3 en relación al control, en tallo y raíz incrementa a partir del tratamiento de 4 dS m^{-1} de CE (ARD 2) (Tabla 2). En cuanto a los valores de Na^+ , dichas diferencias también se producen, pero en el nivel más bajo de salinidad de los tratamientos de ARD. Este comportamiento es más propio de especies no incluídas

(Rodríguez et al., 2005). La acumulación en boro en las plantas por efecto de las aguas empleadas no parece significativa (Tabla 2). Raramente se han encontrado daños debido a estos metales (boro, cadmio, selenio, etc) en plantas con fines paisajísticos por el uso de estas aguas (Wu and Dodge, 2005). En la fase de recuperación es a nivel del sistema radical donde permanecen las diferencias en la concentración de estos elementos y también en los tallos para el Na⁺ y B³⁺. Parece por tanto que los descensos en el peso seco de las hojas podrían estar más relacionados con la acumulación de Cl y en mayor medida de Na⁺ aunque también el efecto osmótico más acentuado en los tratamientos ARD 2 y ARD 3 (Figura 1) podría estar limitando el crecimiento de las plantas de dichos tratamientos (Azza Mazher et al., 2007).

Tabla 2. Concentración de sodio, cloruro y boro en plantas de *Eugenia myrtiflora* regadas con diferentes niveles de salinidad.

Iones (ppm)	órgano	Control	ARD 1	ARD 2	ARD 3	Control	ARD 1	ARD 2
		Salinidad				Recuperación		
Sodio	Hojas	6703 a	7950 ab	8890 c	8845 bc	7956 a	9458 a	14590 a
	Tallo	4601 a	6864 bc	8790 c	7020 bc	5863 a	8055 ab	9455 b
	Raíz	3380 a	6039 b	8596 bc	8991 c	6808 a	10716 b	13255 c
Cloruros	Hojas	7040 a	7845 a	8100 a	9305 b	7360 a	7080 a	7120 a
	Tallo	4800 a	6293 ab	8300 bc	6960 c	6640 a	6520 a	7000 a
	Raíz	5760 a	5080 a	8480 b	8720 b	7360 ab	6160 a	8080 b
Boro	Hojas	115 ab	95 a	125 b	115 ab	105 a	90 a	110 a
	Tallo	30 a	30 a	35 a	35 a	35 a	35 a	45 b
	Raíz	30 a	30 a	60 ab	90 b	35 a	30 a	90 b

CONCLUSIONES

De los resultados podemos concluir que es útil el uso de aguas residuales depuradas para el riego de plantas cultivadas en maceta moderadamente tolerantes a la salinidad como *Eugenia myrtiflora* (aceptables aguas con CE mayor que 2 y menor que 4 dS m⁻¹). Sin embargo, para aquellas aguas con altos niveles de salinidad como algunas de las ensayadas es muy importante el control de la acumulación de sales en el sustrato, por lo que se requiere utilizar en el riego fracciones de lavado adecuadas y el momento oportuno para su aplicación en cada tratamiento. No obstante, en este caso, utilizar especies más tolerantes para el riego con estas aguas implicaría una fracción de lavado menor y un ahorro de agua.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha financiado por los proyectos CICYT (CICYT AGL2008-05258-CO2-1-AGR y CICYT AGL2008-05258-CO2-2-AGR) y por el Convenio con la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia (UPCT-CEBAS-IMIDA 2008).

BIBLIOGRAFÍA

- Azza Mazher, A.M., Fatma El-Quesni, E.M., Farahat, M.M. 2007. World J. of Agric. Sci., 3, 386-395.
- Ferrini, F., Nicese, F.P., Mancuso, S., Giuntoli, A. 2000. J. Arboricul., 26, 281-284.
- Ramos, C., Kaufman, M.R. 1979. Physiology Plantarum, 45, 311-314.
- Rodríguez, P., Torrecillas, A., Morales, M.A., Ortuño, M.F., Sánchez-Blanco, M.J. 2005. Environmental and Experimental Botany, 53, 113-123.
- Scholander, P.F., Hammel, H.T., Bradstreet, E.D., Hemingsen, E.A. 1965. Science, 148, 339-346.
- Wu, L., Dodge, L. 2005. Slosson Research Endowment for Ornamental Horticulture.
- Wu, L., Guo, X. 2005. Environmental and Experimental Botany, 58, 130-139.

Assessing redox state and antioxidant changes under water stress conditions using *Arabidopsis thaliana* transformed with roGFP1 in two subcellular compartments.

Ricard Brossa¹, Tana Jubany-Mari¹, Leonor Alegre¹, Keni Jiang², Lewis.J. Feldman²

¹ Departament de Biologia Vegetal, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona. Av. Diagonal 645. 08028 Barcelona
rbrossa@ub.edu

² Department of Plant and Microbial Biology, University of California, Berkeley, CA, United States

ABSTRACT

Water deficit can induce redox changes in plant cell compartments, and therefore tight control of redox homeostasis is essential for protection against oxidative damage and for maintenance of plant metabolism under stress conditions. Knowledge of subcellular localization of redox changes as well as their kinetics and magnitude, is crucial to understanding the responses of plants to environmental stress. The expression of Reduction-Oxidation Green Fluorescent Proteins (roGFP1) in plants has become a useful tool as it provides *in vivo* direct measurement of redox state, as well as dynamic measurements over the time and in different intracellular compartments.

In this work changes in the redox potential in both the cytosol and mitochondria of leaf cells simultaneously with leaf water relations and reduced and oxidized ascorbate content were monitored. For this effort seeds of *A.thaliana* ecotype Col-0 were transformed with roGFP1 which was expressed either in the cytosol (c-roGFP1) or in the mitochondria (m-roGFP1), and five-week-old plants of the two transformed lines were subjected to two irrigation treatments: Well watered (WW), and Water stressed (WS).

As the plant became more dehydrated the redox status of the leaf cytosol became more oxidized compared to its initial redox state. However, the mitochondria of WS plants decreased their redox potential (becoming less oxidized) with increasing periods of WS. This suggests that under WS the cellular compartments respond differently (presumably adaptively) to WS, exhibiting an enhanced protection against oxidative stress in mitochondria.

INTRODUCTION

Maintenance of redox homeostasis is one of the plant's mechanisms to cope with stress. Knowledge of the location of where redox changes occur, and their kinetics and magnitude, is crucial to understanding the responses of plants to environmental stress. The expression of reduction-oxidation green fluorescent proteins (roGFP1) in plants has become a useful tool as it provides *in vivo* direct measurement of redox state, as well as dynamic measurements over the time and in different intracellular locations. It has been established that water deficit can induce redox changes in plant cell cytosol (Jubany-Mari et al. 2010). However changes in organelles, specifically in the mitochondria, have not yet been described.

MATERIALS AND METHODS

Seeds of *A.thaliana* ecotype Col-0 were transformed with roGFP1 targeted to:

- cytosol (c-roGFP1)
- mitochondria (m-roGFP1)

Five-week-old plants of the two transformed lines were subjected to two irrigation treatments:

- Well watered (WW)
- Water stressed (WS)

Time course measurements of:

- Leaf water relations (H)
- Content of reduced and oxidized forms of ascorbate
- Leaf redox potential in cytosol and mitochondria using c-roGFP1 and m-roGFP1, according to Jiang et al. 2006 (Fig.1)

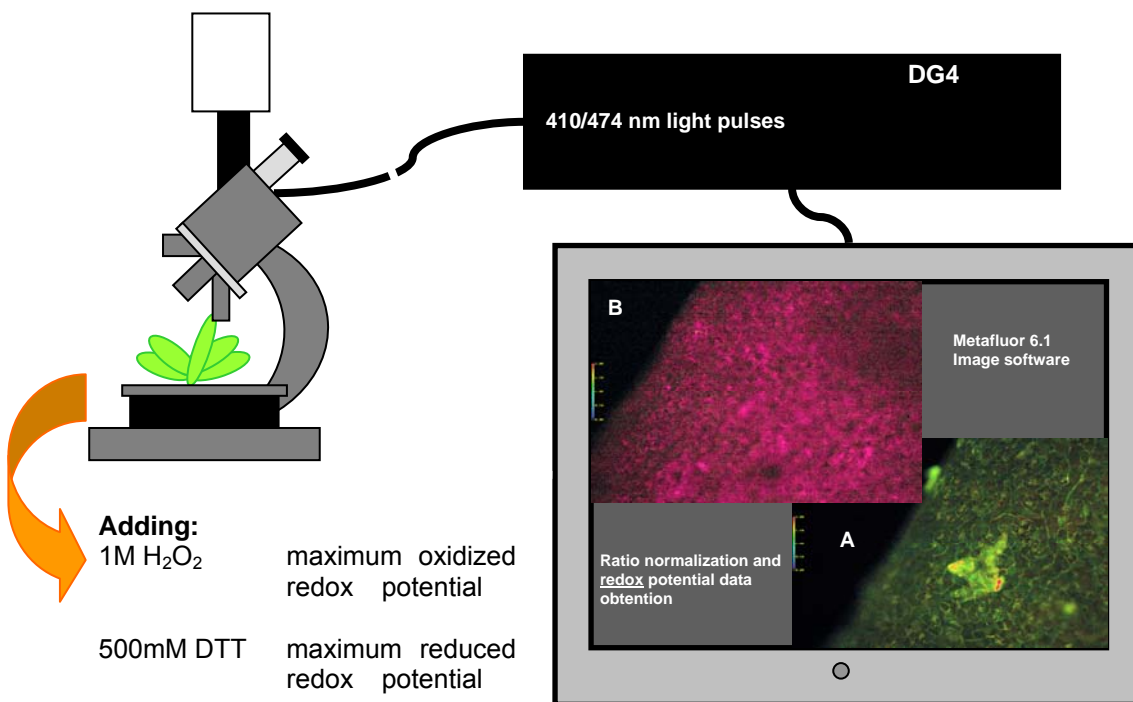


Fig. 1: Schematic of microscope, camera, DG4 unit, and computer with ratio images of c-roGFP Col-0 leaf. Image (A) is ratio image representing current physiological redox potential. Left image (B) is maximum oxidized redox potential after adding 1M H₂O₂.

RESULT DISCUSSION

Based on redox potential measurements with c-roGFP Col-0; as the plant became more dehydrated the redox state of the leaf cytosol became more oxidized compared to its initial redox state (Jubany-Marí et al 2010). In WW plants redox potential slightly increases as plants grow older (Fig.2).

Based on measurements with m-roGFP Col-0 plants it was observed that mitochondria of WS plants decreased their redox potential (becoming less oxidized) with increasing periods of WS. This suggests that under WS the cellular compartments respond differently (presumably adaptively) to WS (Fig. 2).

Ascorbate content increased in WS treatment, considering that the last steps of ascorbate biosynthesis are located in mitochondria (Siendones et al. 1999), this provides an explanation for lower redox potential in mitochondria (Fig.3).

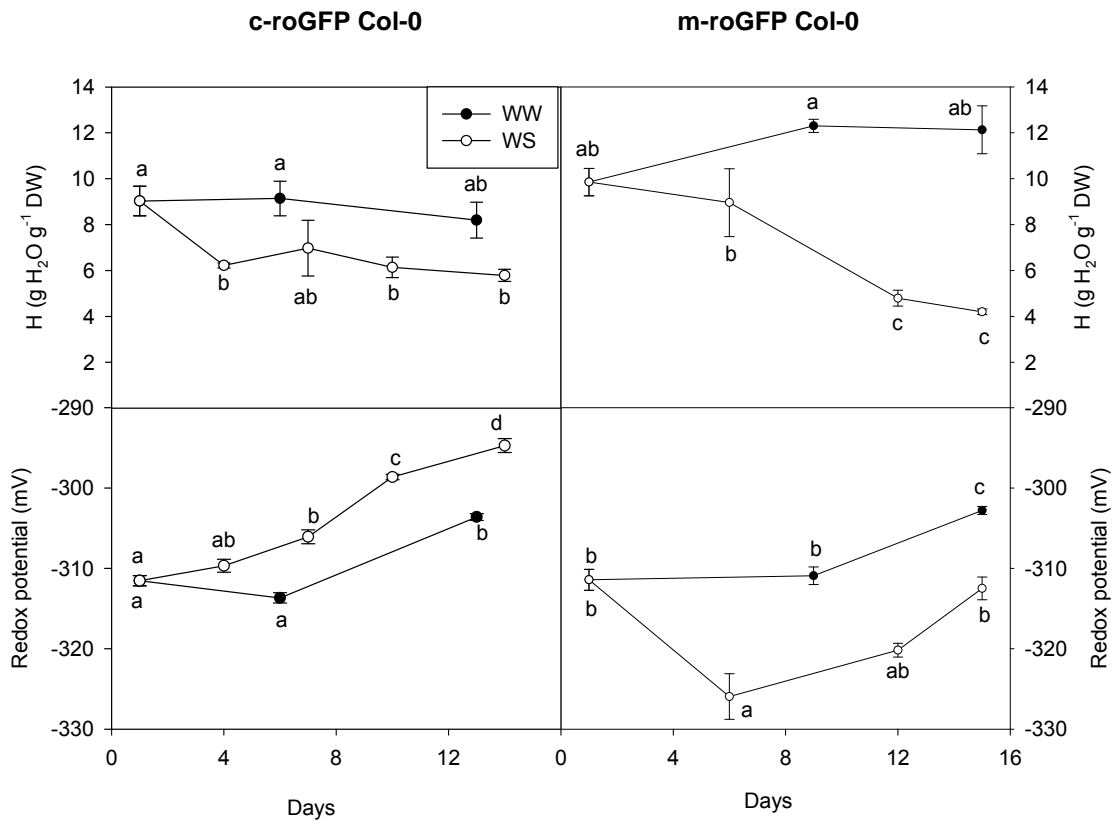


Fig. 2: Hydration (H) and Redox potential in *Arabidopsis thaliana* Col-0 plants transformed with c-roGFP (left) and m-roGFP (right) in WW (Well Watered; control) and WS (Water-Stressed) treatments. Values with different letters (a,b,c,d) indicate significant differences at $p < 0,05\%$. Data are means \pm SE, $n = 6$.

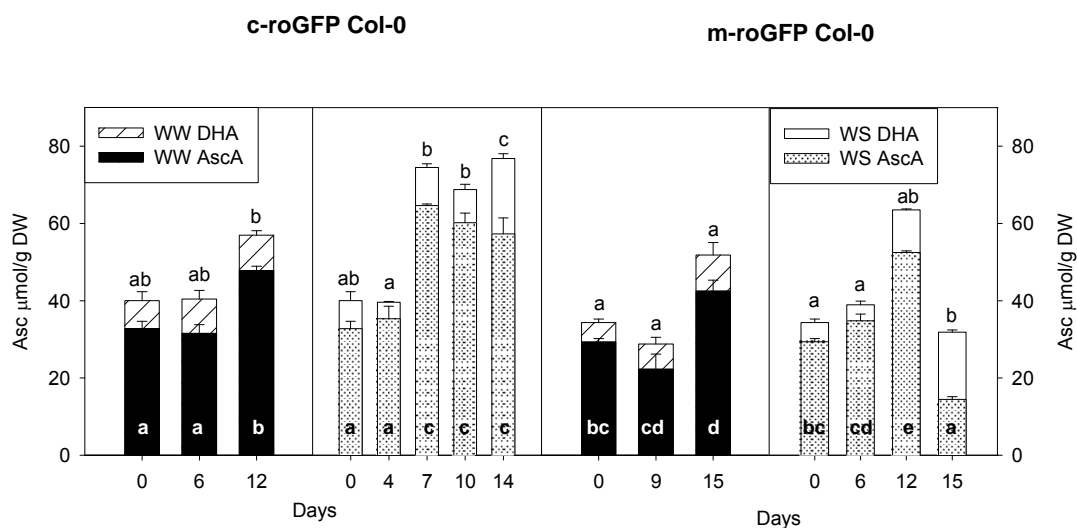


Fig. 3: Total leaf reduced and oxidized ascorbate (AscA+DHA) content in c-roGFP (left) and m-roGFP (right) Col-0 under WW and WS treatments. Values with different letters (a,b,c,d) indicate significant differences at $p < 0,05\%$ Data are means \pm SE, $n = 6$.

CONCLUSION

Water deficit influences differently cytosol and mitochondria redox state, resulting in enhanced protection against oxidative stress in mitochondria.

REFERENCES

- Jiang K, Schwarzer C, Lally E, Zhang S, Ruzin S, Machen T, Remington SJ, Feldman L. 2006. Expression and Characterization of a Redox-Sensing Green Fluorescent Protein (Reduction-Oxidation-Sensitive Green Fluorescent Protein) in Arabidopsis. *Plant Physiology* 141: 397–403
- Jubany-Mari T, Alegre-Batlle L, Jiang K, Feldman, L. J. 2010. Use of a redox-sensing GFP (c-roGFP1) for real-time monitoring of cytosol redox status in Arabidopsis thaliana water-stressed plants. *FEBS LETTERS* 584 (5): 889-897
- Siendones E, Gonzalez-Reyes JA, Santos-Ocana C, Navas P, Cordoba F. 1999. Biosynthesis of ascorbic acid in kidney bean. L-galactono-gamma-lactone dehydrogenase is an intrinsic protein located at the mitochondrial inner membrane. *Plant physiology* 120 (3): 907-912

Sesión 4. Relaciones hídricas en vid.

Moderadores:

J. M. Costa (ITQB, Portugal)
y Diego Intrigliolo (IVIA, España)

Dinámica de crecimiento radicular y efectos sobre el desarrollo de diferentes portainjertos de vid sometidos a dos regímenes hídricos.

de Herralde, F., Aranda, X., Biel, C., Savé, R.

Ecofisiología. IRTA- Torre Marimon. 08140 Caldes de Montbui (Barcelona). España.

felicidad.deherralde@irta.cat

ABSTRACT

El uso de portainjertos de características de compatibilidad y aporte de vigor varietal necesarios y óptimamente adaptados a las condiciones edafoclimáticas es imprescindible para una viticultura sostenible. En este trabajo se evaluó el crecimiento y distribución de las raíces en el suelo de diferentes aunque se siguió portainjertos de vid bajo condiciones semicontroladas. LA dinámica de crecimiento radicular en los portainjertos estudiados se produjo en gran medida durante el verano, en el período de crecimiento y maduración del fruto (entre junio y agosto). Se desarrollaron más raíces en la dosis hídrica más alta aunque la producción de raíces nuevas en el mes de junio no presentó diferencias entre ambos tratamientos. Entre la época de maduración y la de reposo, aunque se siguió observando presencia de raíces nuevas, lo que indica una tasa de recambio de raíces constante, no se produjo un incremento neto de la longitud de raíces. La mayor presencia de raíces no produjo un mayor crecimiento vegetativo de la parte aérea. La dinámica de crecimiento radicular debe tenerse en cuenta en el manejo hídrico en el viñedo y en la elección de portainjertos.

INTRODUCCIÓN

La vid es un cultivo formador de paisaje que, debido a la calidad y el gusto demandados por los consumidores, así como por las diferentes prácticas agronómicas, podría ser vulnerable a los efectos del cambio global. En este contexto, el agua podría ser uno de los factores clave para el mantenimiento de la productividad con elevados niveles de calidad. En viticultura se usan diferentes portainjertos adecuados a diferentes condiciones edafoclimáticas, algunos de ellos descritos como mejor adaptados a condiciones de secano y que confiriendo una mayor eficiencia en el uso del agua (Carbonneau 1985). Los portainjertos provocan diferencias en el comportamiento de las cepas debido a sus características hidráulicas y su distribución radicular (Morlat and Jacquet, 1993, Comas et al 2005, Smart et al 2006) que influyen en el aporte hídrico y nutricional de la variedad a través del vigor o modificando la fecha de maduración. El objetivo del presente trabajo es evaluar el crecimiento y la distribución de las raíces en el suelo de diferentes portainjertos de vid bajo condiciones semicontroladas para explorar su uso como herramienta ecofisiológica para la optimización en la eficiencia en el uso del agua en condiciones mediterráneas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Cepas en vaso de 3 años de edad de *Vitis vinifera* cv. Garnacha tinta injertadas sobre tres portainjertos diferentes (110-R, 41-B y 161-49) se plantaron en un rizotrócn (marzo 2009), consistente en contenedores de 60 cm x 50 cm de superficie x 110 cm de altura, con un cristal

frontal para permitir la observación no invasiva del desarrollo radicular. Los contenedores se llenaron con un suelo arenoso. Se establecieron dos tratamientos de riego por goteo: R (dosis alta) y S (dosis baja) que variaron a lo largo del tiempo en frecuencia y dosis (figura 1). Se hizo un seguimiento semanal del contenido volumétrico de agua en el suelo (SWC, %) mediante sondas FDR (Diviner2000, Sentek) entre 0 y 70 cm. Se tomaron imágenes de las raíces visibles en el cristal frontal en mayo, junio agosto y octubre, clasificándose en tres categorías según color: raíces nuevas (blancas), raíces en crecimiento (color claro) y raíces lignificadas (oscuras) (Comas et al 2000). Se establecieron clases de profundidad en intervalos de 10 cm y se midió la longitud total de raíces por profundidad y categoría (WinRhizoReg Regent Instruments Inc., Canada). Se midió el área foliar mediante conteo de hojas y medición de la longitud del nervio central, que se correlaciona bien con el área de la hoja (Carbonneau, 1976; Cuevas, 2001). Los datos fueron sometidos a análisis de la varianza de medidas repetidas en modelos mixtos (PROC MIXED) (Enterprise Guide 4.2; SAS Institute Inc. Cary, NC, USA)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se inició el crecimiento de las plantas con el sustrato a saturación, alrededor del 16% y se mantuvieron diferencias en las dosis de riego aplicadas, siendo siempre la dosis y la frecuencia mayor en el tratamiento R que en el tratamiento S. La intención era mantener a las plantas R por encima de un nivel de estrés moderado y a las plantas S en un estado de estrés entre moderado y severo. Como se puede observar en la figura 1 el SWC de las plantas S descendió a lo largo de todo el periodo de estudio, sin llegar a alcanzar el punto de marchitez permanente (4%) y sin detectarse diferencias entre portainjertos. En el tratamiento de riego el SWC se mantuvo entre 10 y 17% en todo el ciclo. Desde el mes de junio se redujo la dosis de R y hasta se interrumpió el riego. Esto produjo un descenso de SWC en los tres portainjertos, pero mayor para los portainjertos 110-R y 161-49, que en 41-B. Al volver a subir la dosis de riego, los portainjertos volvieron a igualarse hasta el final del ciclo.

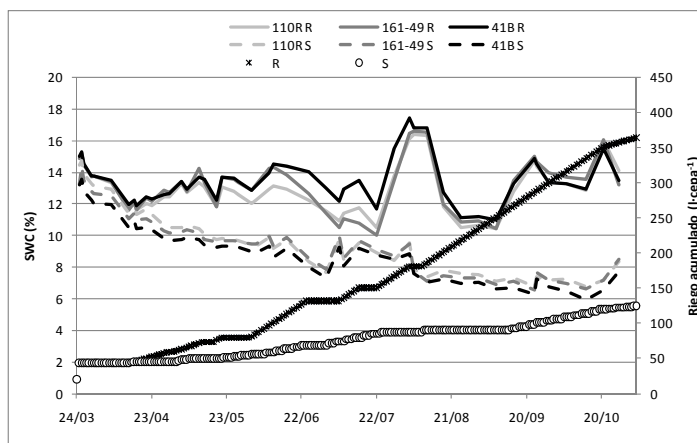


Figura 1. Contenido volumétrico de agua en el suelo (SWC, %) y dosis de riego acumulada ($l \cdot cepa^{-1}$) a lo largo de la temporada de crecimiento, para los tres portainjertos y dos regímenes hídricos.

La longitud de raíces observables se midió en mayo (estadio de hojas expandidas), junio (floración), agosto (maduración) y octubre (defoliación) (Figura 2). No se encontraron diferencias significativas entre portainjertos en la longitud de raíces nuevas; en las raíces en crecimiento, 110-R fue el que presentó mayor longitud que los otros dos portainjertos; y

también 110-R presentó más raíces lignificadas y totales que 161-49. La longitud de raíces presentó una interacción entre el momento del ciclo y el tratamiento hídrico para todas las categorías medidas. Aunque se encontró un cierto recambio de raíces nuevas en todas las fechas muestreadas, el crecimiento de este tipo de raíces fue notablemente mayor en el mes de junio, especialmente en el tratamiento de riego, que fue mayor que todos los tratamientos en el resto de fechas. De hecho, se observó la aparición de raíces nuevas en cualquier momento del año y prácticamente con cualquier contenido de agua, aunque el desarrollo posterior de estas raíces (raíces en crecimiento) si necesitaba de un SWC mínimo de un 10% , y del 12% para su transformación a raíces lignificadas, mostrando tendencias diferentes según el portainjertos (datos no mostrados). En el mes de mayo no hubo diferencias entre riego y secano en las raíces en crecimiento. En el tratamiento S se produjeron incrementos significativos de este tipo de raíces entre mayo y agosto y entre junio y octubre. Los tratamientos R crecieron mucho más que los S, pero el incremento solo fue significativo entre mayo y junio y junio y agosto. En el caso de las raíces lignificadas, estas incrementaron significativamente entre junio y agosto. En mayo y junio no hubo diferencias entre riego y secano, pero en agosto y octubre, las de riego crecieron más que las de secano. En conjunto se observó un pequeño crecimiento inicial en el mes de mayo, sin diferencias en los tratamientos, a pesar de que ya había diferencias en el contenido de agua en el suelo. En el mes de junio ya hubo una diferenciación entre tratamientos, que se mantuvo en el resto del año. Entre junio y agosto se produjo el mayor incremento en la longitud de raíces, asociado a la mayor diferenciación en el contenido de agua en el suelo. El crecimiento se paró entre agosto y octubre, de una manera más relacionada con la fenología de las cepas que con el contenido de agua en el suelo. Estos resultados están en concordancia con los observados por Comas et al. (2005) y Bauerle et al. (2008) y se diferencian de los encontrados por (van Zyl, 1988; Mullins et al., 1992)

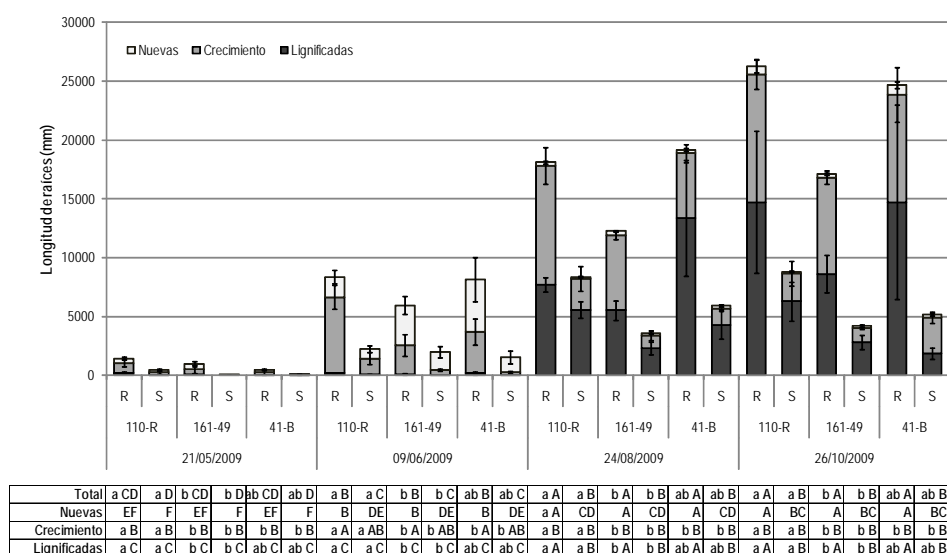


Figura 2. Longitud (mm) de raíces nuevas, raíces en crecimiento y raíces lignificadas en el total del perfil analizado en cuatro fechas, para los tres portainjertos y dos tratamientos hídricos. Letras diferentes para cada columna representan diferencias significativas para cada tipo de raíces (Test de Tukey ($p < 0.05$): minúsculas son diferencias entre portainjertos para cada día de muestreo y mayúsculas diferencias en la interacción fecha x régimen hídrico.

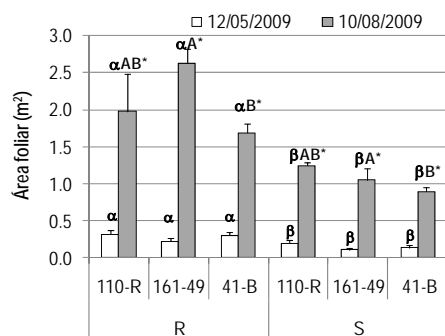


Figura 3. Área foliar ($\text{m}^2\text{-cepa}^{-1}$) en los tres portainjertos, y dos regímenes hídricos en mayo y agosto. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre portainjertos. Las letras griegas diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos hídricos según el Test de Tukey ($p < 0.05$). El asterisco indica diferencias marginales ($p < 0.1$).

Los tratamientos hídricos tuvieron un efecto positivo en el mayor área foliar de las cepas R que las S, al igual que en el caso de las raíces (Figura 3). Sin embargo, una mayor cantidad de raíces en 110-R que en 161-49, no produjo una cantidad mayor de hojas.

CONCLUSIONES

La dinámica del crecimiento radicular en los portainjertos estudiados se produjo en gran medida durante el verano, en el período de crecimiento y maduración del fruto (entre junio y agosto). Se desarrollaron más raíces en la dosis hídrica más alta, aunque la producción de raíces nuevas en el mes de junio no presentó diferencias entre ambos tratamientos. Entre la época de maduración y la de reposo, aunque se siguió observando presencia de raíces nuevas, lo que indica una tasa de recambio de raíces constante, no se produjo un incremento neto de la longitud de raíces. La mayor presencia de raíces no produjo un mayor crecimiento vegetativo en la parte aérea. La dinámica del crecimiento radicular debe tenerse en cuenta para el manejo del agua en el viñedo y en la elección de portainjertos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la participación de Julián Cazaña, Marc Ferrer, Beatriz Grau, José Montero, Cristian Morales y Eulàlia Serra en el trabajo de campo y procesamiento de imágenes. Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto MICINN AGL2008-04525-C02-02

BIBLIOGRAFÍA

- Bauerle TL, Smart DR, Bauerle W, Stockert CM, Eissenstat DM. 2008. *New Phytol*, 179: 857–866.
- Carbonneau A. 1976. *Ann. Amélio. Plantes*, 26:327-343
- Carbonneau A. 1985. *Am J Enol Vitic* 36: 195-198.
- Comas LH, Eissenstat DM, Lakso AN. 2000. *New Phytol*. 147: 171-178.
- Comas, LH, Anderson, LJ, Dunst, RM, Lakso, AN, Eissenstat, DM. 2005 *New Phytol*, 167:829-840.
- Cuevas E. 2001. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Morlat, R and Jacquet, A. 1993. *Vitis*, 32: 35-42.
- Smart, D.R., E. Schwass, L. Morano and A.N. Lakso. 2006. *Amer J Enol*, 56:157-168
- Mullins MG, Bouquet A, Williams LE. 1992. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- van Zyl JL. 1988. In: van Zyl JL, (ed). Dept Agricult Supply, No. 215. Pretoria, South Africa: 30–43.

Influencia del mesoclima en el crecimiento y producción de *Vitis vinifera* 'Carignan' en la DOCa Priorat

A. Sánchez-Ortiz¹, M. Nadal¹, M. Lampreave¹, T. Viñas¹, A. R. Savé², F. de Herralde²

1) Grup de Recerca Vitivinicultura. Fac. Enologia, Dept. Bioquímica i Biotecnologia, U.Rovira i Virgili, Campus Sant Pere Sescelades. 43007 Tarragona.

2) IRTA Torre Marimon, Ecofisiologia. 08140. Caldes de Montbui.

montserrat.nadal@urv.cat

ABSTRACT

La sequia propia de la zona mediterránea en conjunción con los suelos pedregosos y pobres caracterizan el mesoclima de la DOCa Priorat, lo cual puede inducir a una mayor vulnerabilidad de la vid frente al cambio climático. El objetivo del presente estudio es evaluar el efecto de la variabilidad del clima en el crecimiento y rendimiento de una de las variedades principales de dicha DO, cv. 'Carignan'. Para llevar a cabo este estudio, se eligieron dos parcelas a diferente altitud y exposición en el municipio de El Molar, Tarragona. Se instalaron estaciones agroclimáticas y sensores de humedad de suelo para obtener datos climáticos del mesoclima en cada parcela. En las cepas se midió el potencial hídrico foliar, la temperatura de las hojas y la superficie foliar total. La parcela que registró valores más elevados en las temperaturas mínimas y déficit de presión de vapor y menores en amplitud térmica, presentó cepas que desarrollaron mayor superficie foliar, sin embargo, al final de maduración se produjo una mayor defoliación que en las cepas de la otra parcela.

INTRODUCCIÓN

La calidad de la uva viene determinada por muchos y diversos factores incluyendo la variedad, las condiciones ambientales (clima y suelo) y las prácticas culturales. Entre dichos factores, el clima parece ser el factor dominante en la calidad de la uva (Tonietto y Carbonneau 2004, Downey et al. 2006). Así pues, se ha constatado que dentro de una misma región, la variabilidad mesoclimática (clima y topografía) puede ser esencial en lo que ha sido llamado el "efecto terroir" (Van Leeuwen y Seguin, 2006 Mateus et al., 2001, Deloire, A. et al. 2005, Nadal et al. 2008) en la calidad de la uva. Tonietto y Carbonneau (2004) demuestran la importancia de la temperatura mínima en la calidad de la uva, especialmente durante la maduración. El estrés hídrico, favorecido por la elevada evapotranspiración, la falta de precipitaciones durante el verano así como por la presencia de suelos con buen drenaje y poca capacidad de retención tiene un gran impacto en el estado hídrico, en el crecimiento de la planta y en la calidad del fruto. El presente trabajo tiene por objetivo evaluar el efecto de la variabilidad del clima en distintas parcelas de una misma zona vitícola (DOCa Priorat) en la variedad *V. vinifera* 'Carignan'.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo se realizó en 2009 en 2 parcelas de vid cv. 'Carignan' situadas a diferente altitud y exposición: EMDA (a 160 m, orientación de filas E-O y exposición O-NO) y EMBA (a 130m,

orientación de filas E-O y exposición S-SO), en el municipio de El Molar en Tarragona (41°9'56"N, 0°42'26"E), perteneciente a la DOCa Priorat. Cepas en vaso de entre 50 y 60 años, podadas a 3 pulgares con 2 yemas por pulgar, y en un marco de plantación de 2,1x1,20 m. Estaciones agroclimáticas (DECAGON) situadas en cada parcela registraron temperatura (°C), humedad relativa (%), radiación ($W \cdot m^{-2}$) y precipitación (mm) en base horaria, que permitieron el cálculo del déficit de presión de vapor (DPV, kPa), la amplitud térmica (AT, °C), los grados día (GDD_{10} , °C) y la evapotranspiración potencial (ET_0 , $l \cdot m^{-2}$) según Hargreaves. Se midió el contenido de agua en el suelo mediante sondas de capacitancia (ECH_2O , DECAGON) en un perfil de hasta 60 cm de profundidad y se expresó como lámina de agua (SWC_{WL} , $l \cdot m^{-2}$). La determinación del área foliar total (AFT; m^2) se realizó en tamaño guisante, envero, maduración y post-cosecha (Carbonneau 1976 ; Cuevas 2001). En cada uno de dichos estados fenológicos, al amanecer (05:00 hs) y mediodía (12:00 hs) se midió el potencial hídrico foliar (Ψ_f), utilizando la cámara de presión de Scholander (ARIMAD), y la temperatura foliar de hojas expuestas al sol (t_h^a) con termómetro IR (Testo). El ANOVA fue utilizado para el análisis de los datos y se aplicó el test de Tukey ($\alpha=0,05$) para evidenciar las diferencias significativas entre parcelas (SPSS, 17.0, SPSS Inc. USA).

RESULTADOS Y DISCUSION

Las diferencias de temperatura en el área estudiada, muestran diferencias en las temperaturas mínimas de hasta 7°C en EMBA, para la mayoría del tiempo, excepto de inicios de marzo a mediados de mayo y las tres primeras semanas de julio, donde la mínima fue hasta 3°C inferior en la parcela EMDA (Fig. 1A). Estas diferencias, junto a una temperatura máxima ligeramente superior en EMBA, dieron lugar a una amplitud térmica mayor en dicha parcela, especialmente notable entre mediados de mayo y principios de julio y desde envero hasta vendimia (15/ago a 21/sep). El DPV presentó una tendencia a ser menor en la parcela EMBA (Fig. 1B), En el transcurso de 2009 hasta la vendimia, la precipitación anual fue de 350 mm. A lo largo de todo el período puede observarse como el SWC_{WL} fue mayor en la parcela EMDA (Figura 1C). El 18 de junio (baya tamaño guisante) el SWC_{WL} fue mayor en la parcela EMDA ($105 l \cdot m^{-2}$) que en EMBA ($77 l \cdot m^{-2}$). Durante el periodo estival disminuyó un 11% en ambas parcelas, hasta alcanzar en vendimia $92 l \cdot m^{-2}$ en EMDA y $66 l \cdot m^{-2}$ en EMBA. La causa podría deberse a la presencia de un mayor tamaño de partícula en el perfil analizado (60 cm), causante de un mayor drenaje: EMBA contiene un 18% más de partículas de tamaño superior a 12,5 mm que EMDA. Así, aunque las condiciones ambientales de la parcela EMDA son más extremas que las de EMBA a nivel de aire, su disponibilidad hídrica edáfica es mayor.

Estas características edafoclimáticas, *terroir*, condicionaron las respuestas fisiológicas de la vid, así, $\Psi_{f 05:00}$ (Fig. 2A) mostró valores más positivos a lo largo de todo el ciclo en EMDA que en EMBA en todos los estadios excepto en tamaño guisante. En maduración se registraron los menores $\Psi_{f 05:00}$ en ambas parcelas. $\Psi_{f md}$ se mantuvo en ambas parcelas entre -1,2 y -1,5 MPa, mostrando valores mayores para EMBA en tamaño guisante y maduración. Las lluvias de septiembre no tuvieron repercusión alguna en EMDA, que presentó un $\Psi_{f 05:00}$ menor, al igual que un descenso de SWC_{WL} . Este hecho podría atribuirse a la mayor área foliar total de las

plantas en la parcela EMDA, un 47% superior a EMBA (Fig 2B). A consecuencia del mayor desarrollo de vegetación y de la no recuperación del $\Psi_{f\ 05:00}$, las plantas en EMDA presentaron una mayor defoliación al final de la maduración. Asimismo, se registraron en EMDA valores de $t_{h\ md}^a$ más elevadas que en EMBA, que podrían indicar un cierre estomático, bien relacionado con el mantenimiento de mayor $\Psi_{f\ md}$. Los valores medidos en el presente estudio están en el rango donde se produce la regulación estomática, previa al cierre para muchas variedades (Alsina et al 2007).

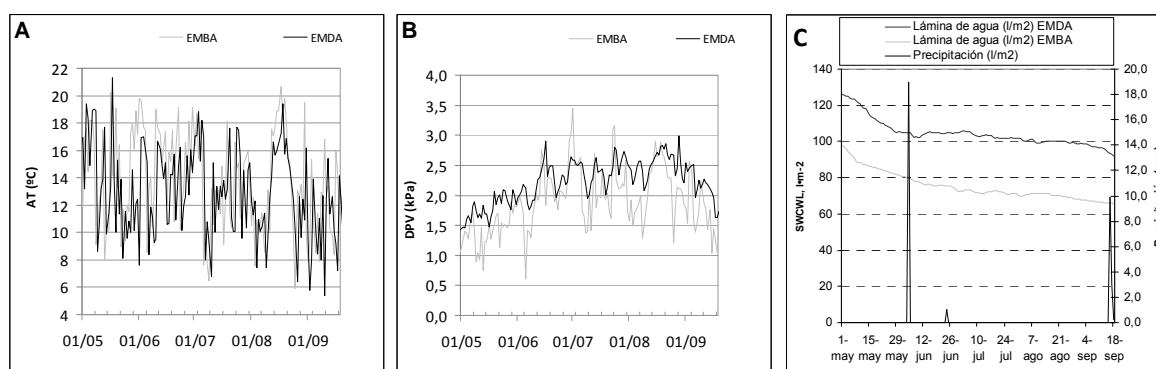


Figura 1. Datos climáticos desde floración a vendimia (2009). Parcelas EMDA (altitud superior) y EMBA (altitud inferior). A) AT: Amplitud térmica (°C). B) DPV: Déficit de presión de vapor (kPa). C) Contenido de agua en el suelo expresado como lámina de agua ($l \cdot m^{-2}$) y precipitación ($l \cdot m^{-2}$).

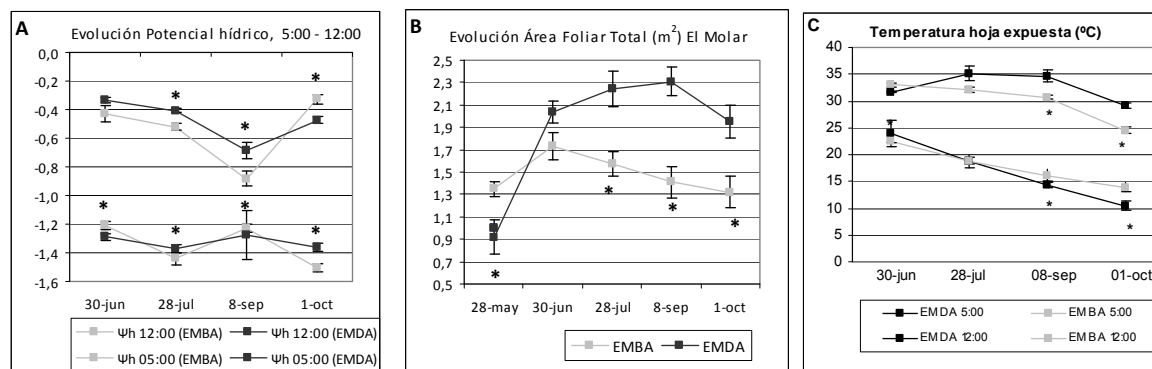


Figura 2. Evolución a lo largo de la temporada de (A): potencial hídrico foliar (Ψ_f , MPa) al amanecer y mediodía. (B): área foliar total (AFT, m^2). (C): temperatura de hoja expuesta (t_{h}^a , °C) al amanecer y mediodía. (*) Diferencias significativas al nivel 0,05.

Finalmente, la producción en EMDA fue $1.2\ kg \cdot cepa^{-1}$ y en EMBA de $0.9\ kg \cdot cepa^{-1}$, aunque estas diferencias no fueron significativas, debido a la alta variabilidad que se presentó en este parámetro. En este caso el mayor desarrollo vegetativo inicial de EMDA podría llevar a una mayor producción, pero como se ha visto, entre este mayor desarrollo vegetativo no le permite mantener una vegetación estable hasta el final del ciclo, como ya se ha visto.

CONCLUSIONES

'Carignan' desarrolla mecanismos de evitación, bien precoces, en el caso de las aéreas con menor disponibilidad hídrica, desarrollando plantas con menor vegetación, bien en fases tardías, eliminando hojas, mostrando al fin una clara conducta isohídrica. Lo cual, muestra la importancia del *terroir*, las condiciones edafoclimáticas, en la producción y calidad de la uva.

AGRADECIMIENTOS

Financiado por el Proyecto MICINN (Ref. AGL 2008 -04525-CO2-O2). Los autores agradecen la colaboración de X. Aranda, J. Cazaña, M. Ferrer, B. Grau, C. Morales y E. Serra en el trabajo de campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alsina MM, de Herralde F, Aranda X, Savé R, Biel C. 2007. *Vitis*: 46:1-6.
- Carbonneau A. 1976. *Ann. Amélio. Plantes*, 26:327-343
- Cuevas E. 2001. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Deloire, A.; Vaudour, E.; Carey, V.; Bonnardot, V. y van Leeuwen, C. 2005. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 39 (4): 149-162.
- Downey, M.O.; Dokoozlian, N.K. y Krstic, M.P. 2006.. *Am. J. Enol. Vitic.*, 57 (3): 257-268.
- Van Leeuwen, C. y Seguin, G. 2006. *J. Wine Res*, 17: 1-10.
- Mateus, N., Proença, S., Ribeiro, P., Machado, J. M. y De Freitas, V. 2001. *J. Food*, 3 (2): 102-110.
- Nadal, M., Mateos, S. and Lampreave, M. 2008, *VII Congres Int. Terroirs Vitic*, Nyon, Suiza, 2: 590-595.
- Tonietto, J. and Carbonneau, A. 2004. *Agricult Forest Meteorol*, 124: 81-97.

Interés del ratio de discriminación isotópica del carbono en el fruto como parámetro integrador del estado hídrico del viñedo en zonas semiáridas

L. Gonzaga SANTESTEBAN, Carlos MIRANDA, J. Bernardo ROYO

Dpto. Prod. Agraria, U. Púb. Navarra, Campus Arrosadia 31006 Pamplona-Iruñea, (Navarra)

gonzaga.santesteban@unavarra.es

Abstract

El estado hídrico es uno de los parámetros limitantes para la producción en la mayor parte de las regions vitícolas españolas. El ratio de discriminación isotópica del carbono ($\delta^{13}\text{C}$) es un parámetro que podría tener interés para evaluar de manera integradora el estado hídrico del viñedo. El objetivo de este trabajo es evaluar su interés de este ratio cuando se mide en bayas a la finalización de las fases de desarrollo herbáceo y maduración. Se emplearon muestras de 150 viñedos de las variedades Cabernet Sauvignon y Tempranillo, comparándose los valores de $\delta^{13}\text{C}$ con mediciones de carga, crecimiento vegetativo y peso de baya. A pesar de que las condiciones climáticas durante el año de estudio (2008) fueron muy suaves (verano anormalmente fresco tras de una primavera muy lluviosa), se ha podido comprobar que el valor de $\delta^{13}\text{C}$ medido en baya podría ser de interés, ya que ha contribuido a explicar los valores de rendimiento y peso de baya observados en campo.

Relación de Acrónimos: CS: Cabernet Sauvignon; TE: Tempranillo; TCSA: sección de tronco; SCSA: suma de la sección de pámpanos; BWv-10, BWb: peso de baya 10 días antes de envero y vendimia; $\delta^{13}\text{C}_h$, $\delta^{13}\text{C}_v$, $\delta^{13}\text{C}_{v-10d}$, $\delta^{13}\text{C}_{v-h}$: ratio isotópico de carbón de las bayas 10 días antes de envero, en vendimia y (estimado) entre envero y vendimia.

Introducción

El estado hídrico durante el verano es el factor que, en condiciones normales, determina en mayor medida el rendimiento, el tamaño de baya y la concentración de azúcar en los viñedos de zonas semiáridas (Santesteban & Royo, 2006), afectando también de manera relevante a otros parámetros de calidad como la acidez y la acumulación de fenoles (Esteban et al., 2001; Santesteban et al., 2007). Existen numerosos procedimientos para estimar directa o indirectamente el estado hídrico del cultivo, siendo $\delta^{13}\text{C}$ uno de los que ha demostrado estar bien relacionado con el potencial hídrico foliar medio del viñedo (de Souza et al., 2005; Gaudillere et al., 2002; Van Leeuwen et al., 2009), y que ha sido utilizado también con éxito como integrador del estado hídrico de viñedos con diferencias en la capa freática (Guix-Hébrard et al., 2007). El interés de este parámetro no está en su utilidad para la toma de decisiones de riego, sino en su potencial para integrar el estado hídrico en el que se han desarrollado el cultivo. El objetivo de este trabajo es evaluar el interés de $\delta^{13}\text{C}$ para la modelización del comportamiento agronómico de las variedades de vid Cabernet Sauvignon y Tempranillo en condiciones semiáridas.

Material y Método

Se seleccionaron un total de 150 viñedos (61 de Cabernet Sauvignon, CS; 89 de Tempranillo, TE) ubicadas en la zona Sur de Navarra y La Rioja. En cada uno se marcaron 20 cepas como homogéneas y representativas de acuerdo a su sección de tronco (TCSA) en invierno. Estos

X Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas

valores se utilizaron además para calcular el índice de potencialidad del viñedo (VPI) refiriéndolos al marco de plantación y a la edad del viñedo [$TCSA \cdot m^{-2} yr^{-1}$, (Santesteban et al., 2010)]. El crecimiento vegetativo se estimó a comienzos de julio como la suma de la sección transversal de todos los pámpanos de las cepas (SCSA). En vendimia se determinaron el número de racimos (BN) y el rendimiento (YLD). Para la determinación del peso de las bayas (BW) se muestrearon 20 racimos al azar 10 días antes del envero (cuando comenzaba el cambio de color de las primeras bayas) y en vendimia. Los racimos se transportaron enteros al laboratorio donde se desgranaron completamente para obtener una muestra de 200 bayas representativa del conjunto. El número de bayas se estimó como $0.94 \cdot YLD/BW$, asumiendo que el peso del raquis en esa variedad es del 6% (Santesteban et al., 2010).

El ratio de discriminación isotópica del carbono ($\delta^{13/12}C$) se midió en muestras de 50 bayas recogidas en los mismos momentos. Las muestras, tras secado en estufa, se molieron para conseguir un polvo fino y homogéneo mediante microdesmembrador. De cada muestra, se tomaron 3 submuestras de 2 mg analizadas mediante un Elemental Analyzer (NC2500, Carlo Erba Reagents) acoplado a un espectrómetro de masas isotópicas (Thermoquest Delta Plus, ThermoFinnigan, Bremen, Germany). Los valores de $\delta^{13}C$ previos a envero ($\delta^{13}C_{v-10d}$) y vendimia ($\delta^{13}C_h$) se utilizaron para estimar de forma indirecta el ratio de discriminación isotópica del carbono de los asimilados acumulados entre envero y vendimia como $\delta^{13}C_{v-h} = [(BW_h \cdot \delta^{13}C_h) - (BW_{v-10d} \cdot \delta^{13}C_{v-10d})] / (BW_h - BW_{v-10d})$.

El interés de $\delta^{13/12}C$ como integrador del estado hídrico se evaluó comparando el incremento del coeficiente de correlación (R^2) que implicaba su inclusión en modelos de regresión múltiple. Los análisis de regresión se realizaron por ajuste de mínimos cuadrados, la pertinencia de las variables se evaluó mediante el procedimiento *backward stepwise* y la colinealidad entre variables independientes calculando el factor de inflación de la varianza (VIF). El peso relativo de cada variable independiente se evaluó mediante los coeficientes estandarizados (β). El software utilizado ha sido SPSS v16.

Resultados

La carga y la sección de tronco ($BN \cdot m^{-2}$ y $TCSA \cdot m^{-2} yr^{-1}$) permitieron una estimación precoz del rendimiento relativamente buena en ambas variedades (Tabla 1), teniendo más peso relativo en la ecuación el número de racimos ($BN \cdot m^{-2}$) que $TCSA$ en CS, siendo esta última variable eliminada del modelo en TE por el procedimiento de regresión "hacia atrás". Cuando se incluyó $\delta^{13}C_h$ en el modelo, su potencia de estimación aumentó en ambas variedades, siendo este incremento mayor en CS que en TE, para la que el estado hídrico parece haber tenido un papel menor (los coeficientes estandarizados β eran claramente menores). Sin embargo, hay que tener en cuenta que los datos pertenecen a un verano con condiciones de estrés hídrico anormalmente suaves, siendo previsible que el papel de $\delta^{13}C$ en la modelización del rendimiento fuera aún mayor en las condiciones típicas de la zona.

Al intentar relacionar el peso de la baya en vendimia (BW_h) con el ratio carga/crecimiento (n° de bayas/SCSA) y la sección de tronco ($TCSA$), observamos que éste no era fácilmente predecible, alcanzando valores de R^2 inferiores a 0.25 y a 0.03 en CS y TE respectivamente (Tabla 2). Cuando se incluía $\delta^{13}C_h$ en el modelo, los valores de R^2 aumentaban de manera considerable en ambas variedades, permitiendo una mejor estimación en CS ($R^2 = 0.555$) y TE ($R^2 = 0.297$), mostrando que el peso de baya en CS había sido más sensible al estado hídrico que TE. Estos resultados de

X Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas

nuevo ponen en evidencia que, incluso en veranos suaves, el estado hídrico resulta clave para determinar el peso de la baya, un parámetro de gran importancia para la calidad de la uva, siendo este papel mucho mayor que el desempeñado por el ratio frutos:superficie foliar, lo que está de acuerdo con lo observado en trabajos anteriores en la misma zona (Santesteban & Royo, 2006). Sin embargo, el poder predictivo de los modelos obtenidos es bastante bajo, probablemente como consecuencia de que no se han tenido en cuenta otros aspectos relevantes (portainjerto, clon, nutrición mineral, etc).

Si se analiza el proceso de desarrollo de las bayas en dos fases [periodo herbáceo (Tabla 3) y maduración (Tabla 4)] , se comprueba que $\delta^{13}\text{C}_{V-10d}$ y $\delta^{13}\text{C}_h$ han tenido un papel similar. Al utilizar $\delta^{13}\text{C}_{V-10d}$ podemos llegar a estimar el peso de las bayas antes del envero (BW_{V-10}) con valores de R^2 de hasta 0.37 and 0.52 para CS y TE respectivamente, siendo la única variable de las estudiadas mantenida en el modelo en el caso de TE. BW_h ha estado relacionado con BW_{V-10d} y con el ratio nº bayas/SCSA con un valor de R^2 relativamente bajo para CS ($R^2= 0.478$) y mayor para TE ($R^2=0.617$). Al añadir $\delta^{13}\text{C}_h$ como variable independiente, se consiguió una remarcable mejora de la estimación en CS ($R^2=0.661$) y una ligera mejoría en TE ($R^2=0.633$). El parámetro estimado $\delta^{13}\text{C}_{V-h}$ ha mejorado ambas estimaciones, particularmente en CS, para la que la R^2 alcanzó 0.752, teniendo un peso relativo en el modelo similar al de BW_{V-10d} ($\beta_{\delta^{13}\text{C}} = -0.527$ vs. $\beta_{BW_{V-10}} = 0.630$), lo que muestra su posible interés para trabajos de modelización. En lo relativo a la comparación del comportamiento de las 2 variedades, BW_h en TE ha mostrado estar más relacionado con las el periodo herbáceo de desarrollo, mientras que en el caso de CS, las condiciones entre envero y vendimia han condicionado más el crecimiento de los frutos.

En conjunto, la medida del ratio de discriminación isotópica del carbono ha mostrado ser un parámetro muy interesante de cara a explicar el comportamiento del viñedo en zonas semiáridas, por lo que debería considerarse en futuros trabajos de modelización.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto "Modelización del Comportamiento del Viñedo Español", financiado por el Dpto. de Innovación, Empresa y Empleo, Gob. de Navarra (Res 1493/2008). Los autores queremos agradecer también a la *Fundación Fuentes Dutor* su continuo apoyo a nuestra labor de investigación en viticultura.

Referencias bibliográficas

- de Souza, C. Ret al. (2005). *J. Exp. Bot.*, 56(418), 2163-2172.
- Esteban, M. A., Villanueva, M. J., & Lissarrague, J. R. (2001). *J. Sci. Food Agric.*, 81, 409-420.
- Gaudillere, J. P., Van Leeuwen, C., & Ollat, N. (2002). *J. Exp. Bot.*, 53(369), 757-763.
- Guix-Hébrard, N., Voltz, M., Trambouze, W., Garnier, F., Gaudillere, J. P., & Lagacherie, P. (2007). *Eur. J. Agron.*, 27(2-4), 187-196.
- Jones, H. G. (2004). *J. Exp. Bot.*, 55(407), 2427-2436.
- Santesteban, L. G., Miranda, C., & Royo, J. B. (2007). *Acta Horticulturae*, 754, 501-506.
- Santesteban, L. G., Miranda, C., & Royo, J. B. (2010). Vegetative growth, reproductive development and vineyard balance. In S. Delrot, et al (Eds.), *Methods & Results in Grapevine Research* (pp. 45-56): Springer.
- Santesteban, L. G., & Royo, J. B. (2006). *Scientia Horticulturae*, 109(1), 60-65.

X Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas

Van Leeuwen, C., Tregoa, O., Chone, X., Bois, B., Pernet, D., & Gaudillere, J. P. (2009). *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 43(3), 121-134.

Tabla 1.- Relación entre el rendimiento ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) y la carga, el índice de potencialidad del viñedo y el ratio de discriminación isotópica del carbono en vendimia

Var.	x_1	x_2	x_3	df	R^2	P	VIF ^a	Intercept	x_1			x_2			x_3		
									b^b	β^c	P	b	β	P	b	β	P
CS	BN·m ²			68	0.441	<0.001	1.000	-56.13	112.0	0.664	<0.001						
	BN·m ²	$\delta^{13}\text{C}_{\text{harv}}$		67	0.529	<0.001	1.033	-1315.7	103.0	0.611	<0.001	-54.88	-0.301	<0.001			
	BN·m ²	TCSA·m ² ·yr ⁻¹		67	0.510	<0.001	1.001	-307.5	110.4	0.655	<0.001	672.1	0.262	0.003			
	BN·m ²	TCSA·m ² ·yr ⁻¹	$\delta^{13}\text{C}_{\text{harv}}$	67	0.590	<0.001	1.033	-1315.5	103.0	0.611	0.001	---	---	0.106	-54.89	-0.301	<0.001
TE	BN·m ²			73	0.614	<0.001	1.000	-302.7	319.4	0.796	<0.001						
	BN·m ²	$\delta^{13}\text{C}_{\text{harv}}$		72	0.678	<0.001	1.079	-1114.4	295.7	0.737	<0.001	40.08	-0.219	<0.001			
	BN·m ²	TCSA·m ² ·yr ⁻¹		72	0.650	<0.001	1.000	-302.7	319.4	0.796	<0.001	---	---	0.074			
	BN·m ²	TCSA·m ² ·yr ⁻¹	$\delta^{13}\text{C}_{\text{harv}}$	72	0.678	<0.001	1.079	-1114.4	295.7	0.737	<0.001	---	---	0.112	40.08	-0.219	<0.001

^aFactor de Inflación de la Varianza; ^b coeficiente no estandarizado, ^c coeficiente estandarizado. BN: número de racimos; $\delta^{13}\text{C}_h$ ratio de discriminación isotópica en vendimia; TCSA: sección transversal del tronco (cm^2).

Tabla 2.- Relación entre del peso de la baya en vendimia con el ratio hoja:fruto, el índice de potencialidad del viñedo y el ratio de discriminación isotópica del carbono en vendimia

Var.	x_1	x_2	x_3	df	R^2	P	VIF ^a	Intercept	x_1			x_2			x_3		
									b^b	β^c	P	b	β	P	b	β	P
CS	Berry no./SCSA	TCSA·m ² ·yr ⁻¹		59	0.240	<0.001	1.000	0.766	---	---	0.294	0.753	0.490	<0.001			
	Berry no./SCSA	TCSA·m ² ·yr ⁻¹	$\delta^{13}\text{C}_h$	58	0.555	<0.001	1.000	-0.914	---	---	0.254	---	---	0.126	-0.082	-0.745	<0.001
TE	Berry no./SCSA	TCSA·m ² ·yr ⁻¹		87	0.029	0.198	1.000	1.736	---	---	0.198	0.172	0.061	0.069			
	Berry no./SCSA	TCSA·m ² ·yr ⁻¹	$\delta^{13}\text{C}_h$	86	0.297	<0.001	1.000	-0.867	---	---	<0.001	---	---	<0.001	-0.109	-0.545	<0.001

^aFactor de Inflación de la Varianza; ^b coeficiente no estandarizado, ^c coeficiente estandarizado SCSA: suma de la sección basal de los pámpanos (cm^2); TCSA: sección transversal del tronco (cm^2); $\delta^{13}\text{C}_h$ ratio de discriminación isotópica en vendimia

Tabla 3.- Relación del peso de las bayas 10 días antes de envero con el ratio hoja:fruto, el índice de potencialidad del viñedo y el ratio de discriminación isotópica del carbono 10 días antes de envero

Var.	x_1	x_3	df	R^2	P	VIF ^a	Intercept	x_1			x_2			x_3		
								b^b	β^c	P	b	β	P	b	β	P
CS	Berry no./SCSA	TCSA·m ² ·yr ⁻¹		59	0.114	0.079	1.000	0.656	---	---	0.005					
	Berry no./SCSA	TCSA·m ² ·yr ⁻¹	$\delta^{13}\text{C}_{v-10}$	58	0.374	<0.001	1.026	-0.935	---	---	0.388	0.273	0.255	0.019	-0.056	-0.516
TE	Berry no./SCSA	TCSA·m ² ·yr ⁻¹		87	0.000	0.370	1.000	---	---	0.310						
	Berry no./SCSA	TCSA·m ² ·yr ⁻¹	$\delta^{13}\text{C}_{v-10}$	86	0.520	<0.001	1.000	-1.733	---	---	0.128	---	---	0.721	-0.10	-0.724

^aFactor de Inflación de la Varianza; ^b coeficiente no estandarizado, ^c coeficiente estandarizado SCSA: suma de la sección basal de los pámpanos (cm^2); TCSA: sección transversal del tronco (cm^2); $\delta^{13}\text{C}_{v-10}$ ratio de discriminación isotópica 10 días antes de envero

Tabla 4.- Relación del peso de las bayas en vendimia con el peso de las bayas 10 días antes de envero, el ratio hoja:fruto y con los ratios de discriminación isotópica del carbono 10 días antes de envero y en vendimia

Var.	x_1	x_2	x_3	df	R^2	P	VIF ^a	Intercept	x_1			x_2			x_3		
									b^b	β^c	P	b	β	P	b	β	P
CS	BW _{v-10d}	Berry no./SCSA		58	0.478	<0.001	1.000	0.467	0.990	0.694	<0.001	---	---	0.774			
	BW _{v-10d}	Berry no./SCSA	$\delta^{13}\text{C}_{\text{harv}}$	57	0.661	<0.001	1.478	-0.658	0.566	0.595	<0.001	---	---	0.733	-0.0578	-0.521	<0.001
	BW _{v-10d}	Berry no./SCSA	$\delta^{13}\text{C}_{v-h}$	58	0.764	<0.001	1.014	0.126	0.902	0.630	<0.001	---	---	0.852	-0.0186	-0.527	<0.001
TE	BW _{v-10d}	Berry no./SCSA		86	0.617	<0.000	1.010	0.868	1.156	0.787	<0.001	-4.35E-04	-0.133	0.049			
	BW _{v-10d}	Berry no./SCSA	$\delta^{13}\text{C}_{\text{harv}}$	85	0.633	<0.001	<1.500	0.233	1.030	0.701	<0.001	-4.64E-04	-0.142	0.036	-0.0306	-0.153	0.061
	BW _{v-10d}	Berry no./SCSA	$\delta^{13}\text{C}_{v-h}$	85	0.642	<0.001	<1.100	0.464	1.123	0.765	<0.001	-4.98E-04	-0.152	0.024	-0.0193	-0.161	0.018

^aFactor de Inflación de la Varianza; ^b coeficiente no estandarizado, ^c coeficiente estandarizado SCSA: suma de la sección basal de los pámpanos (cm^2); TCSA: sección transversal del tronco (cm^2); $\delta^{13}\text{C}_h$ ratio de discriminación isotópica en vendimia, $\delta^{13}\text{C}_{v-h}$ ratio de discriminación isotópica entre envero y vendimia veraison (estimado)

New evidences relating the seasonal evolution of maximum daily trunk shrinkage with xylem vulnerability to embolism

Díaz-Espejo A.¹, Nicolás E.², Rodríguez-Domínguez C.¹, Pérez-Martín A.¹, Fernández J.E.¹, Cuevas M.V.¹, Torres-Ruiz J.M.¹

¹Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (IRNAS-CSIC), Apto. 1052, 41080-Sevilla, Spain

adiaz@irnase.csic.es

²Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), Campus Universitario de Espinardo. 30100-Murcia.

ABSTRACT

The interesting species specific relationship between maximum daily shrinkage and stem water potential (Ψ_{stem}) was investigated in order to understand the potential mechanisms involved. Despite of the known correlation with the range of Ψ_{stem} at which stomata exerts the control of transpiration, a new correlation was obtained with the air entry Ψ_{stem} of the xylem in the studied species. Results of this study reinforce the idea of a tight correlation among plant capacitance, transpiration and maintenance of water status of the plant. These results could confirm the hypothesis than xylem wood plays a central role in both refilling of water reservoirs and as an important reservoir itself, as it has been recently proposed.

INTRODUCTION

Monitoring of trunk diameter variations (TDV) is becoming a useful tool to managing irrigation in commercial orchards. In addition to this valuable feature for agronomists, they supply important information about the physiological mechanisms that allow the plant to transpire under a wide range of environmental conditions. Currently, it is not possible to explain mechanistically the daily and seasonal dynamic of transpiration without considering the role played by water storage in trunks, branches and even leaves (Steepe *et al.*, 2006). Trunk diameter fluctuations have been reported to reflect the addition of four components: irreversible radial growth, reversible living-cell dehydration/rehydration, thermal expansion and contraction, and expansion of dead conducting elements due to the increase and relaxation of internal tensions. Therefore, the interaction between both the living parenchyma in the cortex and the xylem is important to understand the dynamics of TDV and its consequences on the water relations observed in the plant. Maximum daily shrinkage (MDS) is one of the most used indicators of water stress in fruit trees (Fernandez and Cuevas, 2010). When plotted against stem water potential (Ψ_{stem}) MDS shows a parabolic response, i.e. as stem water potential decreases MDS increases up to a maximum value after which MDS decreases following further decreases in Ψ_{stem} . Furthermore, the Ψ_{stem} value at maximum MDS has been reported to be species specific (Ortuño *et al.*, 2010). The aim of this work was to investigate potential relationships between the pattern of MDS described above and the vulnerability to embolism of the conducting system of several fruit tree species of high agronomical interest.

MATERIAL AND METHODS

Four species of high agronomical interest were selected to search for shared features in the response of MDS and percentage of loss of conductivity of the xylem (PLC) to Ψ_{stem} : grapevine (*Vitis*), olive (*Olea*), clementine (*Citrus*) and peach (*Prunus*). For most of them we could find information about the relationship of MDS and hydraulic conductivity with Ψ_{stem} . In the cases where this was not possible, specific measurements were carried out as follows:

MDS and Ψ_{stem} : Four linear variable displacement transducers (LVDTs) were installed in a commercial orchard of 11-year-old peach trees (*Prunus persica* L. cv. 'Catherine') located in Mulla valley, Murcia. Similarly, 4 LVDTs were installed in a commercial orchard of 11-year-old clementine (*Citrus clementina* L. cv. 'Orogrande') trees located in north of Molina de Segura, Murcia. Both orchards have an area of ca. 1 ha. Irrigation was withheld in the Clementine orchard after harvesting (21th July) and in the peach orchard since the second phase of rapid fruit growth (1st July). MDS was recorded daily automatically, meanwhile Ψ_{stem} was measured with a pressure chamber twice and once per week in clementine and peach trees, respectively.

Vulnerability to cavitation: Measurements were carried out in current year twigs of olive trees (*Olea europaea*, cv. Manzanilla de Sevilla) grown in the Experimental Farm La Hampa, Coria del Río, Seville. Percentage of loss of conductivity (PLC) was measured by the bench-top drying (dehydration) method. Briefly, more than 30 branches were collected in the field just after dawn. The branches were bagged in the field with soaking filter papers. Once in the laboratory Ψ_{stem} was assessed by pressure chamber and PLC was measured with a XYL'EM apparatus. A filtered (0.22 μm) and degassed 50 mM KCl solution was perfused with a pressure gradient of 3 kPa to measure the hydraulic conductivity (K_i , $\text{m}^2 \text{MPa}^{-1} \text{s}^{-1}$). Later, they were perfused with the same solution for 20 min at 0.15 MPa. Then, hydraulic conductivity was measured again at 3 kPa, to obtain the maximum K (K_{max} , $\text{m}^2 \text{MPa}^{-1} \text{s}^{-1}$). The percentage loss of hydraulic conductivity (PLC) was determined as:

$$PLC = 100 \times \left(1 - \frac{K_i}{K_{\text{max}}}\right)$$

Vulnerability curves were then generated by plotting PLCs against their corresponding Ψ_{stem} values. Following Meinzer *et al.* (2009) the air entry pressure (P_e) can be estimated from the x-intercept of a tangent drawn through the midpoint of a sigmoid function fitted to the vulnerability curve data. This parameter P_e can be defined as the threshold at which loss of conductivity begins to increase rapidly.

Data from literature: MDS values and their relationship with Ψ_{stem} were obtained from Ortuño *et al.* (2010) for *Vitis*, *Olea* and *Citrus*, and Intrigolo and Castel (2006) and Goldhamer *et al.* (1999) for *Prunus*. PLC data were obtained from Choat *et al.* (2010) for *Vitis*, Poggi *et al.* (2007) for *Citrus* and Cochard *et al.* (2008) for *Prunus*.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 shows the relationship between MDS and Ψ_{stem} for all four studied species. Each species presents a characteristic value of Ψ_{stem} at which a maximum MDS is achieved, except *Prunus*, in which no reported data have been found in literature showing a Ψ_{stem} negative

enough to make MDS to decrease. Why plants present this parabolic response, each species having an apparent threshold of Ψ_{stem} at which MDS is maximum? Firstly, there is a good correspondence between this value of Ψ_{stem} and the range of Ψ_{stem} at which each species controls transpiration rate by stomata closing. There is a large amount of data in literature showing that -0.9 / -1.0 MPa in *Vitis* and -1.4 / -1.7 MPa in *Olea* are the ranges of Ψ_{stem} for which these species exert a tight stomatal control of transpiration in order to keep relatively constant the water status. It makes sense, at this point, to wonder whether vulnerability to cavitation of the xylem, very much invoked as a reason for the stomatal closing, resembles any parallelism to data in Figure 1. PLC at 50% is a widely used parameter derived from PLC curves. However, Meinzer *et al.* (2010) have recently warned the scientific community about the real utility of this parameter, since it may have no special physiological relevance in the context of stomatal regulation of xylem tensions under most conditions. They, instead, proposed the use of P_e . Figure 2 shows a vulnerability curve for *Olea* from which the P_e has been derived. When we plotted P_e against Ψ_{stem} at maximum MDS for the studied species, we end up with a good correlation between both parameters (Fig. 3), for all species except *Prunus*. This could be due to the fact that we have not been able to get values of Ψ_{stem} low enough to obtain the maximum MDS in this species.

CONCLUSIONS

The preliminary results shown in this study reinforce the idea of a tight correlation among plant capacitance, transpiration and maintenance of water status of the plant. These results could confirm the hypothesis that xylem wood plays a central role in both refilling of water reservoirs and as an important reservoir itself, as it has been recently proposed. Further experiments are needed to confirm the results obtained and in order to unravel the mechanisms underneath the found relationships.

ACKNOWLEDGEMENTS

This experiment was funded by the Spanish MICIIN, research project AGL2009-11310/AGR.

REFERENCES

- Steppe et al. (2006). A mathematical model linking ... *Tree Physiol.*, 26: 257-273.
- Fernández and Cuevas (2010). Irrigation scheduling from ... *Agric. For. Met.* 150: 135-151.
- Ortuño et al. (2010). Could trunk diameter sensors be ... *Agric. Water Management* 97: 1-11.
- Meinzer et al. (2009). Xylem hydraulic safety margins ... *Functional Ecology* 23: 922-930.
- Intrigolo and Castel (2006). Usefulness of diurnal trunk ... *Tree Physiology* 26: 303-311.
- Goldhamer et al. (1999). Sensitivity of continuous ... *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124: 437-444.
- Choat et al. (2010). Measurement of vulnerability ... *Plant, Cell and Environment* 33: 1502-1512.
- Cochard et al. (2008). Is xylem cavitation resistance a ... *J. Plant Physiol.* 165: 976-982.
- Poggi et al. (2007). Stomatal regulation and xylem cavitation ... *J. Hort. Sci. Biotec.* 82: 845-848.

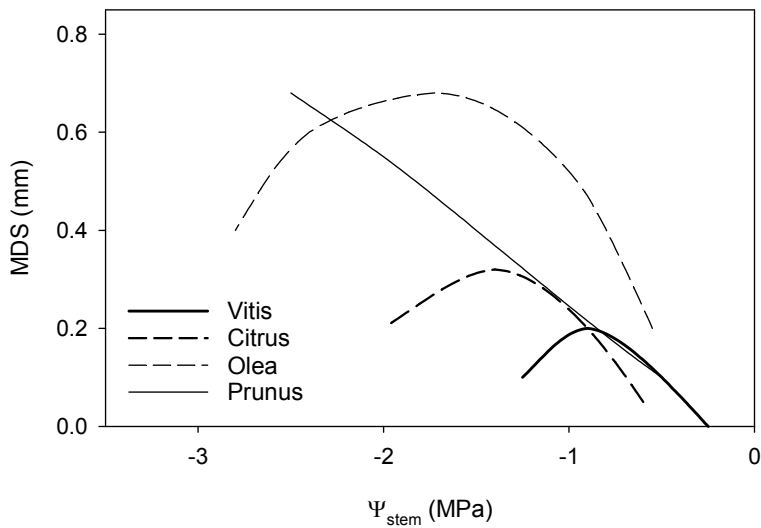


Figure 1. Relationship between maximum daily shrinkage of the trunk (MDS) and minimum stem water potential (Ψ_{stem}) of studied species.

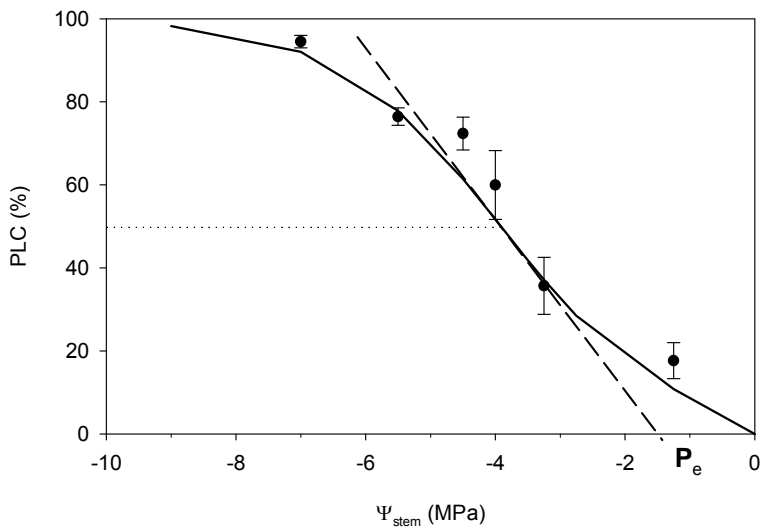


Figure 2. Vulnerability to cavitation of olive twigs. Dashed line represents the tangent through the midpoint of a sigmoid function fitted, and x-intercept the air entry Ψ_{stem} (P_e).

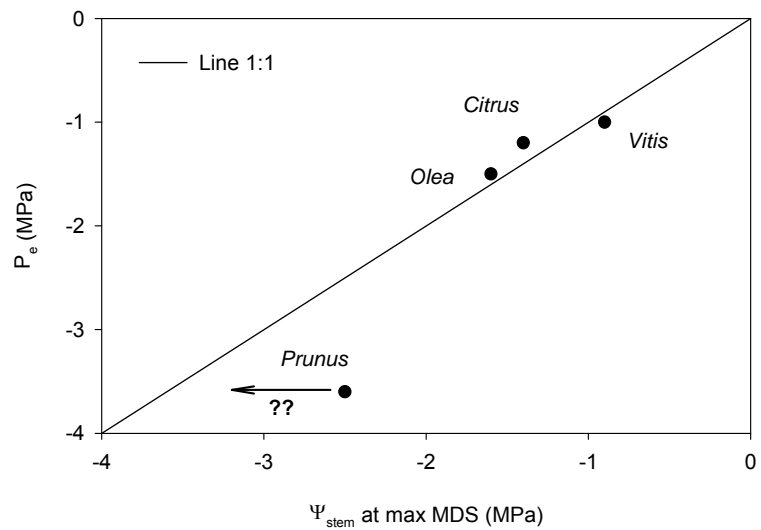


Figure 3. Relationship between air entry Ψ_{stem} and Ψ_{stem} at maximum MDS. Arrow and question marks in *Prunus* data indicate that we have not been able to reach this point yet.

Estimação da transpiração da videira a partir da medição da temperatura da superfície da sebe com termómetro de infravermelhos.

Rodrigues, P.¹; Pedroso, V.²; Gouveia, J.P.¹; Martins, S.²; Lopes, C.³; Alves, I.³.

¹ Escola Superior Agrária de Viseu, Quinta da Alagoa, Viseu

prodriques@pres.ipv.pt

² Centro de Estudos Vitivinícolas do Dão, Quinta da Cale, Nelas

³ Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, Lisboa

RESUMO

Com o objectivo de validar um modelo para estimar a transpiração da videira a partir da medição da temperatura radiativa da superfície da sebe, instalou-se um ensaio numa vinha da casta Touriga Nacional, localizada na região do Dão no centro de Portugal. O modelo usado tem por base o princípio da partição do balanço energético entre os componentes do coberto do vegetal (videiras, solo e relvado) admitindo-se que, do ponto de vista energético, a sebe e o substrato (solo+relvado) actuam separadamente e em paralelo. Assim, os fluxos de calor latente para atmosfera a partir da sebe (λE_c) são determinados a partir dos valores do balanço de radiação da sebe (Rn_c) e dos fluxos de calor sensível (H_c). Além de permitir caracterizar a evolução diurna dos componentes do balanço energético da sebe da vinha, conclui-se que o modelo permite uma boa estimacão dos valores diários da transpiração.

Palavras-chave: balanço energético, fluxos de calor da sebe, balanço de radiação da sebe, videira, Touriga-Nacional.

INTRODUÇÃO

A medição dos consumos hídricos da vinha é fundamental em estudos de relações hídricas, de identificação de factores limitantes, de condução da rega ou de selecção de variedades com base no uso eficiente da água (Silvestre, 2003). Com efeito, somente uma correcta monitorização do regime hídrico da vinha permitirá uma verdadeira avaliação do seu efeito na produtividade e na qualidade dos mostos. A medição da evapotranspiração envolve muitas vezes metodologias complexas com custos associados bastante elevados e de elevada tecnicidade. Assim o recurso a modelos de estimacão da evapotranspiração, menos exigentes do ponto de vista instrumental e conseqüentemente com menores custos de implementação, tem uma importância fulcral. O presente trabalho enquadra-se num estudo de avaliação do efeito do regime hídrico e da rega da vinha na casta Touriga Nacional na região do Dão, no centro de Portugal. Pretende-se validar um modelo para estimar a transpiração da videira a partir da medição da temperatura radiativa da superfície da sebe, e da medição de variáveis meteorológicas.

MATERIAL E MÉTODOS

O modelo usado para a estimar a transpiração da sebe da vinha tem por base o princípio da partição do balanço energético entre os componentes do coberto do vegetal (videiras, solo e relvado) admitindo-se que, do ponto de vista energético, a sebe e o substrato (solo+relvado) actuam separadamente e em paralelo. Partindo deste pressuposto, os fluxos de calor latente para a atmosfera a partir da sebe (λE_c) podem ser determinados como a partir de valores do balanço de radiação (Rn_c) e do fluxo de calor sensível (H_c). A partição do balanço de radiação do coberto vegetal (Rn) entre o substrato (Rn_s) e a sebe de vinha (Rn_c) é efectuada recorrendo ao princípio da extinção exponencial da radiação, lei de Beer, com a modificação proposta por Anderson et al. (1997), na qual o coeficiente de extinção é corrigido através de um termo dependente do ângulo solar zenital (φ) de modo a reproduzir a variação diurna da partição do balanço de radiação entre os componentes.

Sendo a vinha um coberto heterogéneo, o índice de área foliar (LAI) é corrigido através do factor de agrupamento $\Omega(\varphi)$ ("clumping factor") proposto por Campbell e Norman (1998). A estimacão dos fluxos de calor sensível da sebe (H_c), a partir da temperatura da mesma (T_c), obtida através de termómetros de infravermelhos, é efectuada tendo como base o princípio de independência dos fluxos de cada componente do coberto vegetal (Norman et al.; 1995) e assumindo a existência de duas resistências em série para os fluxos de calor sensível a partir das folhas das videiras: a resistência da camada limite das folhas (r_{aHc}) e a resistência aerodinâmica do coberto (r_{aH}) (Lhomme e Monteny; 1993). Esta simplificação corresponde, na prática, à reformulação da equação geral de determinação dos fluxos de calor sensível de um coberto vegetal, na qual a substituição da temperatura aerodinâmica (T_0) pela temperatura da sebe (T_c) é acompanhada da introdução de uma resistência adicional (r_{aHv}) determinada pela equação proposta por Choudhury e Monteith (1988). Os valores diários de transpiração da sebe foram determinados por integração dos valores instantâneos correspondentes ao período em que $Rn > 0$. O trabalho experimental foi realizado no Centro de Estudos Vitivinícolas do Dão, em Nelas, Portugal, com a casta Touriga Nacional, na região do Dão (latitude 40° 31' N, longitude 7° 51' W e altitude 440 m). Nos anos 2004 e 2005 o ensaio foi conduzido na parcela 1-A. Nos anos 2006 e 2007 o ensaio realizou-se na parcela 5-A. As características de cada parcela são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Características das parcelas de vinha

Ano	Parcela	Textura do solo	Ano de plantação	Porta-enxerto	Densidade de plantação (vid/ha)	Sistema de condução	Sistema de poda	Altura do tronco (m)	Altura da sebe (m)
2004 e 2005	1-A	Franco-Arenoso	1989	SO4	3636	Monoplano vertical ascendente	Guyot duplo	0,6	1,3
2006 e 2007	5-A	Franco-Arenoso	2000	110 R	4545	Monoplano vertical ascendente	Cordão Royat bilateral	0,6	1,2

O ensaio foi estabelecido num sistema de blocos casualizados com repetições de quatro modalidades correspondentes a diferentes regimes de rega. Cada unidade experimental era constituída por 2 linhas num total de doze videiras. Nas modalidades com rega, esta foi realizada com o sistema gotaa-gota. Em cada unidade experimental a monitorização de

humidade do solo foi efectuada com sonda capacitiva, em dois perfis, um na linha (perfil 2), entre duas plantas, junto ao gotejador, e o outro na entre linha, a meia distância entre duas linhas de videiras (perfil 1).

Numa das unidades experimentais de cada modalidade foi medida, em intervalos de 10 minutos, a temperatura da sebe através de termómetros de infravermelhos colocados a uma distância do topo determinada de modo a que a largura de medição fosse ligeiramente inferior à largura da sebe. Uma vez que as medições foram efectuadas após a sebe ter atingido a sua altura máxima, tendo em conta a altura da sebe e a densidade de folhas do seu interior, a temperatura registada diz respeito exclusivamente a folhas e caules de videira, nomeadamente folhas exteriores expostas à radiação solar. Com a mesma periodicidade, os valores das variáveis meteorológicas (temperatura e humidade do ar, velocidade do vento, radiação solar incidente, balanço de radiação e precipitação) foram medidos numa estação automática localizada no centro das parcelas. A área foliar foi determinada através da metodologia descrita em Lopes e Pinto (2005), a partir das medições efectuadas em lançamentos de videiras seleccionadas e em várias fases do ciclo vegetativo. O coeficiente de extinção da radiação (k_e) foi determinado através do ajustamento do modelo de partição do balanço de radiação anteriormente descrito à relação entre a radiação fotossinteticamente activa (PAR) medida ao nível do solo e a PAR no topo da sebe. As medições da PAR foram realizadas ao meio dia solar, momento em que a área de ensombramento do solo pela sebe é mínima, nas mesmas datas e nas mesmas plantas das medições para a determinação do LAI, usando para o efeito um ceptómetro, posicionado perpendicularmente às linhas de videiras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evolução diurna do balanço de radiação da sebe de vinha (Rn_c) apresenta grandes diferenças relativamente à evolução de Rn e Rn_s . Ao longo do dia a Rn_c atinge um primeiro máximo a meio da manhã, decresce até ao meio dia solar e atinge novamente um máximo a meio da tarde (Figura 1).

De um modo geral, durante o período diurno, a evolução dos fluxos de calor latente da sebe acompanha a evolução da Rn_c . Tal como esta, a λE_c apresenta um máximo a meio da manhã e outro ao final da tarde e um patamar inferior ao meio do dia. Em plantas com grande disponibilidade em água, a partir do meio da manhã, em determinadas condições meteorológicas, a λE_c pode ser mesmo superior a Rn_c

(Figura 2). Heilman et al. (1996) verificaram que nos dias em que λE_c é superior a Rn_c , ocorriam fluxos de calor sensível da sebe negativos ($H_c < 0$) e fluxos de calor sensível do solo positivos ($H_s > 0$) o que significa que a sebe recebe energia do solo, usando-a na transpiração.

Para avaliar a qualidade das estimativas de λE_c obtidas através da metodologia descrita compararam-se os integrais diários (para $Rn > 0$) com a variação diária do armazenamento de água no solo, até 200 cm de profundidade (ΔW_{200}), em dias sem precipitação, na modalidade não regada (NI). Na figura 3 apresenta-se a evolução sazonal dos valores diários do λE_c , da

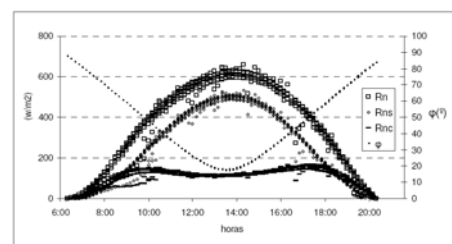


Figura 1 – Evolução diurna da radiação líquida do coberto (Rn) medida, da radiação líquida da sebe (Rn_c) e do substrato (Rn_s) estimadas, com $k_e=0,5$, para a modalidade não rega (NI) no período entre os dias 160 e 167 do ano de 2004 (LAI entre 1,3 a 1,6).

variação de armazenamento de água no solo até 200 cm de profundidade (ΔW_{200}), da evapotranspiração de referência (ET_0) e da precipitação (P) no ano de 2004 da modalidade não regada (NI). Tomando apenas os períodos em que se concluiu que a extracção radicular pela videira se verifica principalmente acima da profundidade monitorizada (200 cm) e em que o relvado é praticamente inexistente, verifica-se que a transpiração diária estimada da sebe é significativamente correlacionada com ΔW_{200} (Figura 4).

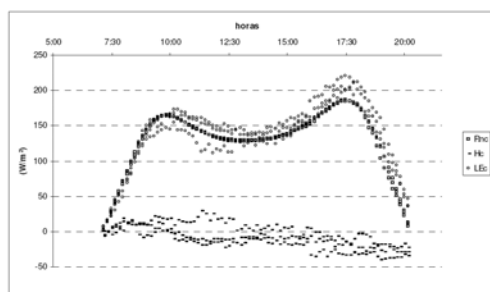


Figura 2- Evolução diurna dos componentes de balanço energético da sebe, nos dias 194 a 196 de 2004, na modalidade com rega plena (FI -100% da ET_c).

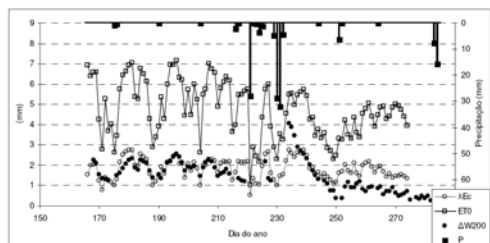


Figura 3- Evolução sazonal dos valores diários de λE_c , ΔW_{200} , ET_0 e P no ano de 2004 da modalidade NI

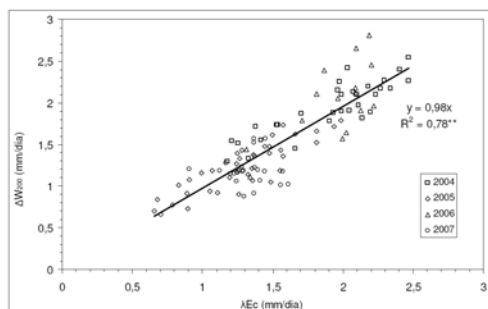


Figura 4 – Relação entre os valores diários de λE_c e ΔW_{200} na modalidade NI nos anos 2004, 2005, 2006 e 2007

Forest Meteorology. 81:79-93.

Lhomme, J. e Monteny, B.(1993), Estimates of convective fluxes over sparse canopy from infrared temperature. In: proceedings of the Yokohama Symposium on Exchange processes at the land surface for a range of space and time scales. IAHS Publ.212, pp437-443.

Lopes, C.M., Pinto, P.A., 2005. Easy and accurate estimation of grapevine leaf area with simple mathematical models. Vitis, 44(2): 55-61.

Norman, J., Kustas, W. e Humes, K.(1995), Source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes in observation of directional radiometric surface temperature. Agricultural and Forest Meteorology. 77:263-293.

Silvestre, J. (2003) Evapotranspiração e funcionamento hídrico em Vitis vinífera L. Dissertação de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa. 219pp.

CONCLUSÕES

Além de permitir caracterizar a evolução diurna dos componentes do balanço energético da sebe da vinha, conclui-se ainda que o modelo usado no presente trabalho permite uma boa estimacção dos valores diários da transpiração.

AGRADECIMENTOS

Estes estudos foram realizados no âmbito do Projecto POCTI/AGG/38506/2001, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia e enquadram-se no trabalho de doutoramento de um dos seus autores apoiado pelo Instituto Politécnico de Viseu.

BIBLIOGRAFIA

Anderson, M., Norman, J., Diak, G., Kustas,W., Mecikalski, j. (1997), A twosource model for estimating surface fluxes using thermal infrared remote sensing.

Remote Sens. Environ. 60:195-216. Campbell e Norman (1998), An Introduction to Environmental Biophysics. Springer Science Business Media, Inc., USA.

Choudhury, B. e Monteith, J. (1988), A four-layer model for the heat budget of homogeneous land surface. Q. J. R. Meteorol. Soc. 114:373-398

Heilman, J., McInnes, K.; Gesh, R. Lascano, R. e Savage, M. (1996); Effects of trellising on the energy balance of a vineyard. Agricultural and

Efecto del estrés hídrico en la transpiración nocturna en *vitis vinifera*

José Escalona¹, Sigfredo fuentes², José María Gallegos³, Hipólito Medrano¹.

¹Grupo de Investigación de Biología de las plantas en condiciones mediterráneas. Departamento de Biología. Universidad de las Islas Baleares. Ctra Valldemossa km 7,5 07122 Palma de Mallorca.

jose.escalona@uib.es

². School of Agriculture, Food and Wine. University of Adelaide

³Università degli studi di Torino.

ABSTRACT

En este trabajo se presentan información sobre los efectos del estrés hídrico en las tasas de respiración y transpiración nocturnas en vid, así como la variabilidad genética en dichas tasas en respuesta a la sequía. Para ello se llevaron a cabo dos experimentos: uno de ellos consistió en desarrollar un ciclo de estrés progresivo en plantas de vid de la variedad tempranillo y otro experimento consistió en establecer una situación de estrés severo mantenida en el tiempo utilizando para ello plantas jóvenes de vid de diferentes variedades. Los resultados muestran como las tasas de transpiración y conductancia estomática, así como las tasas de respiración nocturnas son menores según evoluciona el grado de estrés de moderado ($\Psi_{\text{stem}}=0.84$) a severo ($\Psi_{\text{stem}}=-1.37$). La apertura estomática nocturna muestra una dependencia positiva con la humedad relativa ambiental. Además, se observó una cierta variación de las tasas de transpiración en función de la variedad. Así, variedades mas continentales (Cabernet Sauvignon, Pinot noir,) presentan valores de transpiración mas elevados que variedades típicamente mediterráneas (Garnacha, Manto Negro , Escursac) en condiciones de no restricción hídrica. Sin embargo, en condiciones de estrés hídrico moderado ($g=75 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) dichas tasas presentan valores similares, con una reducción media del 50% respecto a las observadas en condiciones de no estrés. Además, cuando se trata de situaciones prolongadas de estrés, la conductancia estomática nocturna (g_n) muestra una relación con la densidad estomática foliar mientras que cuando se trata de un proceso de deshidratación rápido, g_n esta más ligada al propio estado hídrico de la planta.

INTRODUCCIÓN

Es conocido desde hace unos años que las plantas muestran un cierto grado de apertura estomática durante la noche. Las posibles fuentes de variación tanto en la conductancia estomática como en la transpiración nocturna son múltiples (Caird *et al* 2007) y afectan tanto a plantas C_3 como a plantas C_4 . El grado de apertura estomática difiere según las especies estudiadas (Daley y Phillips, 2006; Green *et al* ,1989) y su relación con sus ecosistemas (Dawson *et al* , 2007), las condiciones ambientales (Cavender *et al* , 2007) y factores abióticos como el nivel nutricional (Marks y Lechowicz, 2007). Las implicaciones fisiológicas de dicha apertura estomática nocturna son diversas: Por ejemplo, a la hora de establecer los balances hídricos y de carbono de una planta en unas condiciones determinadas de crecimiento, se debe considerar los consumos nocturnos vía transpiración estomática, así como las tasas de respiración foliar. Por otra parte, y en un sentido más agronómico, se debe también tener en cuenta estos consumos nocturnos a la hora de establecer las necesidades hídricas de un cultivo.

Hay muchos estudios que revelan que el estado hídrico de la planta determina los mecanismos de apertura y cierre estomático diario que modulan los consumos hídricos. Sin embargo, apenas se han abordado estudios sobre los efectos del estrés hídrico en las tasas de transpiración nocturna. En la vid hay numerosos estudios sobre los efectos del estrés hídrico en la fotosíntesis y en la transpiración y así como en los mecanismos asociados a la regulación estomática en dichas condiciones (Escalona *et al* 1999). La información sobre las tasas de transpiración y respiración nocturna y sobre el efecto del estrés hídrico en dichas tasas así como el efecto del ambiente en el grado de apertura estomática nocturna es muy escasa (Rogiers *et al* 2009). Este trabajo trata de aportar nuevos conocimientos sobre la variación de las tasas de respiración, conductancia estomática y transpiración a lo largo de la noche en diversas situaciones de estrés hídrico y para diferentes variedades de vid.

.MATERIALES Y MÉTODOS

Experimento 1

Material vegetal y tratamientos Se utilizaron plantas de 10 años de edad de la especie *Vitis vinifera* de la variedad Tempranillo crecidas en contenedores de 60 L con un sustrato compuesto por una mezcla de 1/3 de sustrato 1/3 de arena y 1/3 de suelo agrícola y recubiertos con un plástico transparente para evitar lo máximo posible la pérdida de agua por evaporación directa. Al finalizar el experimento se determinó el área foliar de todas las plantas. El experimento se realizó durante el mes de Agosto y septiembre de 2010. Se establecieron dos tratamientos en 5 plantas por tratamiento: riego a capacidad de campo y déficit hídrico progresivo, alcanzando una situación de estrés hídrico severo al 7º día del comienzo del período de estrés. Cada una de las 5 plantas de cada tratamiento estaba dispuesta sobre una báscula de 2 g de precisión, con el fin de registrar los cambios en el peso de la maceta debido tanto a pérdidas de agua por transpiración, como a ganancias por agua de rocío depositada en las hojas.

Determinaciones El potencial hídrico de yema se determinó mediante la cámara de presión (Scholander), cada día durante el período de desarrollo del déficit hídrico en hojas embolsadas en bolsas de plástico de cierre hermético y recubiertas con papel de aluminio. Se midieron las tasas de respiración, conductancia estomática y transpiración nocturna foliar en plantas sometidas a capacidad de campo y en plantas sometidas a un proceso de deshidratación progresiva en tres momentos diferentes: al inicio del experimento, en un estado hídrico de estrés moderado y en un estado hídrico de estrés severo. En cada uno de estos momentos se tomaron medidas de intercambio gaseoso utilizando para ello un equipo LICOR 6400 Inc. Corp., así como de peso de todas las plantas de cada tratamiento, desde el atardecer hasta el amanecer y a intervalos de 2 horas desde el atardecer hasta el amanecer.

Experimento 2.

Material vegetal y tratamientos: se utilizaron plantas de 7 variedades de vid de 1 año de edad crecidas en macetas de 16 L de capacidad en una mezcla de sustrato hortícola: perlita (3:1). Se seleccionaron plantas con porte similar a las que se seleccionó un único brote y se igualó el número de hojas. A 10 plantas se sometió a riegos diarios para mantener condiciones de capacidad de campo. A otras 10 plantas se sometió a un proceso progresivo de estrés hasta alcanzar una conductancia estomática de $75 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ como criterio de estado hídrico de estrés moderado. Una

vez alcanzado esta situación de estrés, se mantuvo durante un mes durante el cual se realizaron todas las medidas.

Determinaciones: Se determinaron los potenciales hídricos al amanecer y mediodía en dos momentos del experimento al inicio y una vez establecido el estrés severo, y la conductancia estomática máxima en varios momentos durante el experimento. Las tasas instantáneas de respiración, transpiración y conductancia estomática nocturna foliares se realizaron a las 02: horas de la noche.. Durante el experimento, se mionitorizó el agua disponible en el sustrato mediante sondas TDR para establecer los momentos de riego, y se realizaron pesadas diarias de todas las macetas para establecer las dosis de riego en base a los consumos. Al final del experimento, se realizaron las medidas anatómicas y morfológicas foliares (área foliar, conteo de nº de estomas) así como la biomasa de la parte aérea y radicular.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Efectos del estrés hídrico y de las condiciones ambientales en las tasas de respiración, transpiración y conductancia estomática nocturna. Una de las claves de este trabajo trataba de dilucidar como varían las tasas de respiración foliar durante la noche y cual era el efecto del estrés hídrico en dichas tasas. Como era esperable, las tasas instantáneas de respiración disminuyeron a lo largo de la noche (figura 1), independientemente del estado hídrico de la planta. Así, al inicio de la noche, los valores máximos encontrados fueron de $-1.0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ disminuyendo de forma progresiva hasta alcanzar valores un 27% menores al final del ciclo nocturno. Además, Las plantas sometidas a estrés hídrico mostraron una reducción progresiva en dichas tasas en función del grado de estrés. Así las plantas en estrés moderado ($\Psi_{\text{stem}}=0.84$) mostraron una reducción del 15% pasando al 30% bajo condiciones de estrés hídrico severo ($\Psi_{\text{stem}}=-1.37$). Al igual que en el caso anterior, las tasas de transpiración y conductancia estomática foliar mostraron una reducción de hasta un 50% en función del grado de estrés hídrico impuesto a la planta en relación a una situación de no estrés en las primeras horas de la noche (fig. 1). Así, las plantas sin estrés, mostraron consumos hídricos de $30 \text{ g H}_2\text{O m}^{-2}\text{h}^{-1}$ y las plantas sometidas a estrés severo tuvieron consumos de $10 \text{ g H}_2\text{O m}^{-2}\text{h}^{-1}$, valores muy próximos a los que corresponden a la transpiración cuticular en vid (comprendidos entre 3 y $6 \text{ g H}_2\text{O m}^{-2}\text{h}^{-1}$). Sin embargo, según avanza la noche, se observa una importante capacidad de recuperación de las tasas de transpiración, que fue mas rápida en condiciones de estrés moderado y mas lenta en condiciones de estrés severo. Esta misma respuesta se observo al analizar el efecto de la noche y del estrés hídrico en el grado de apertura estomática. Al analizar el balance en el intercambio de agua entre planta y atmósfera que se produce durante la noche a nivel de planta entera, se observa como varía en función de la humedad relativa ambiental. Así, en noches de menor humedad relativa en las que no se alcanza punto de rocío, el balance es positivo, es decir, se produce un consumo nocturno con valores próximos a $30 \text{ g H}_2\text{O m}^{-2}\text{h}^{-1}$, que ve decreciendo a lo largo de la noche (fig2 ciclo1). Sin embargo en las noches en las que alcanza dicho punto de rocío, hay una importante acumulación de agua de rocío en la superficie foliar, llegando hasta valores de $30 \text{ g H}_2\text{O m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Este aporte de agua atmosférico, participa directamente en la hidratación de las células de la epidermis, incluyendo las células guarda, con la consiguiente apertura estomática. Este hecho puede explicar el incremento de la conductancia estomática observada en las últimas horas de la noche (fig 1).

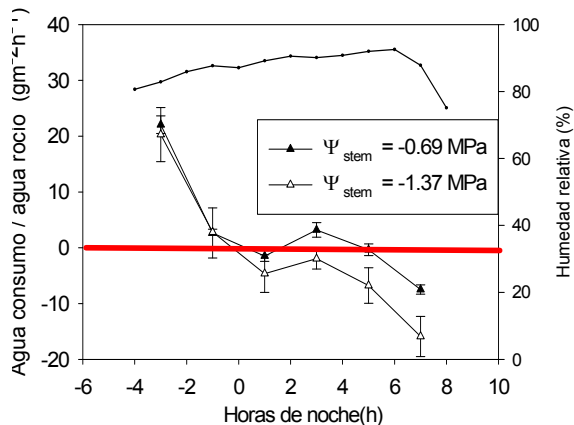
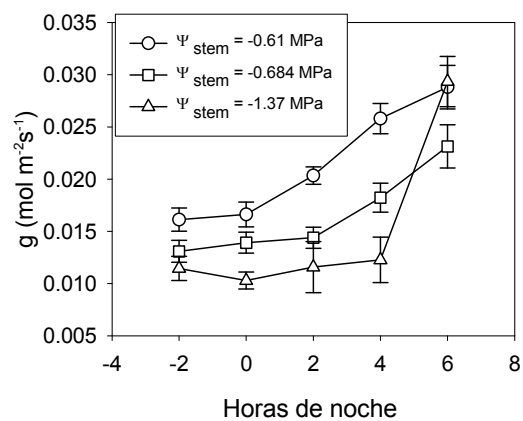
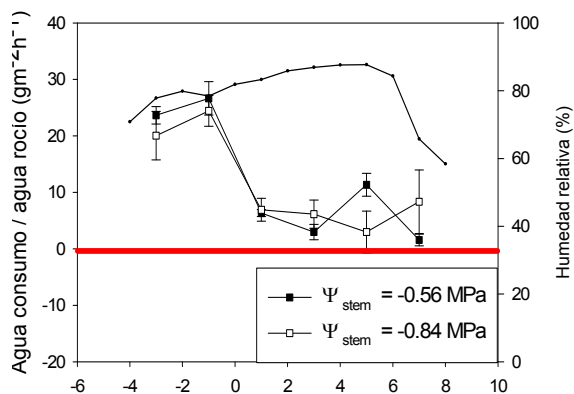
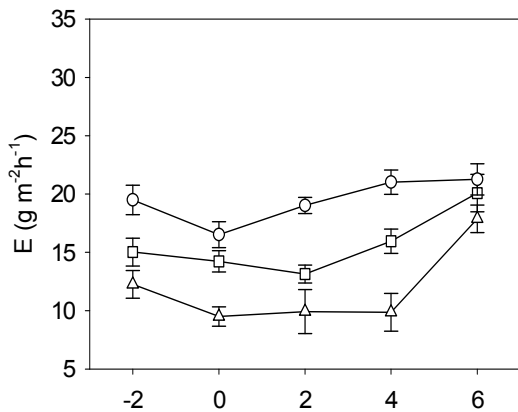
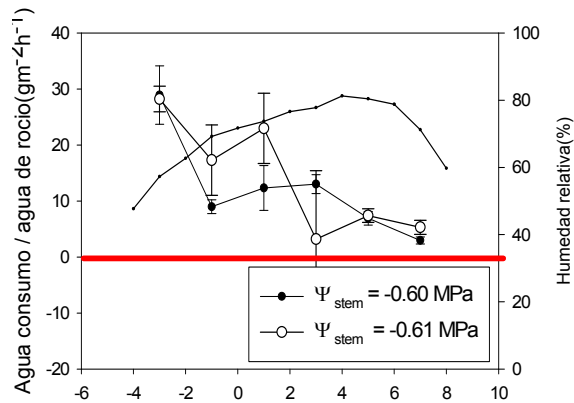
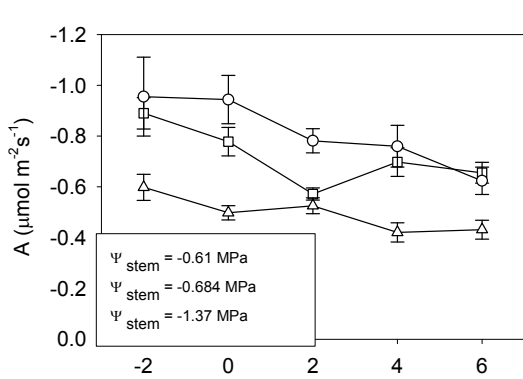


Figura 1. Ciclos nocturnos de respiración, transpiración y conductancia. Los círculos corresponden a capacidad de campo, los cuadrados a estrés moderado y los triángulos a estrés severo

Figura 2. Cambios en el contenido de agua de la planta durante la noche sometida a diferentes grados de estrés y en condiciones variables de humedad relativa ambiental. (-4 corresponde a las 8 de la tarde)

Parece evidente la influencia de las condiciones ambientales en el grado de apertura estomática y en el balance de agua nocturno en vid. En la figura 3, se constata que se establece una dependencia del grado de apertura estomática con la humedad relativa ambiental. En condiciones de no estrés, la hoja presenta mayores conductancias estomáticas según se incrementa la humedad relativa ambiental. Es

posible que el mayor grado de apertura estomática en condiciones de alta humedad se deba exclusivamente al grado de hidratación de las células guarda. Sin embargo, no es descartable algún mecanismo con base metabólica.

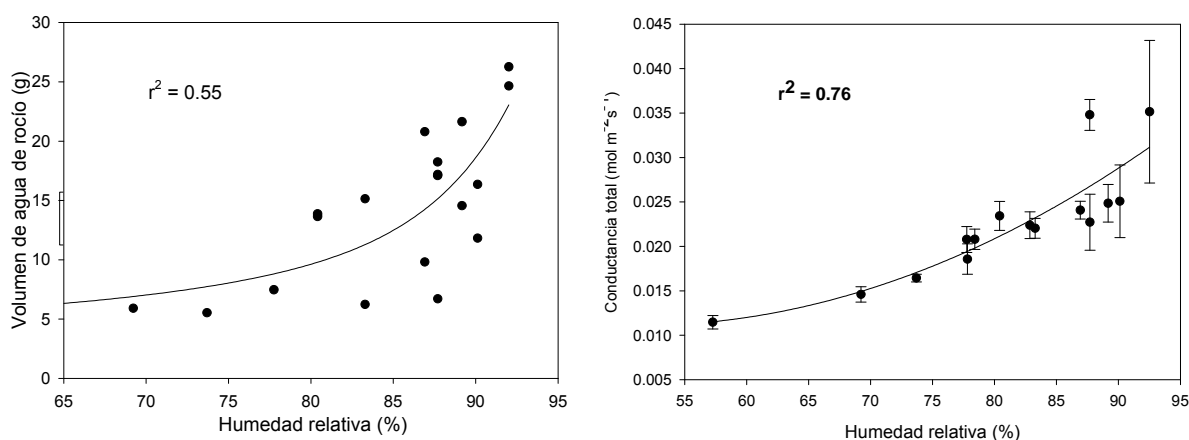


Figura 3. Dependencias entre la conductancia estomática y el volumen de rocío con la humedad relativa ambiental.

2. Variabilidad genética en las tasas de transpiración nocturna en respuesta al estrés: Las tasas de respiración medidas en plantas no estresadas mostraron un rango variación de $-0.89 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ hasta $-0.6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en función de la variedad (datos no mostrados). Sin embargo, las condiciones de estrés moderado impuestas no provocan una clara disminución de dichas tasas en ningún caso. Solamente cuando el grado de estrés es severo (fig1), se produce una clara disminución de la respiración foliar. Este resultado está ligado a la fuente de carbohidratos disponible durante la noche y la capacidad de metabolización de dichos carbohidratos, vía ciclo de Krebs. Solamente en condiciones de estrés severo, la cantidad de carbohidratos es suficientemente pequeña como para limitar las tasas de respiración. Los consumos nocturnos y la conductancia estomática nocturna si parecen tener un carácter varietal. Las variedades más continentales (Cabernet Sauvignon, Pinot noir,) presentan valores de transpiración más elevados que las variedades típicamente mediterráneas (Garnacha, Manto Negro, Escursac) en condiciones de no restricción hídrica. Sin embargo, en condiciones de estrés hídrico severo ($g = 75 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) dichas tasas presentan valores similares, con una reducción media del 50% respecto a las observadas en condiciones de no estrés. Una situación similar es la que se encuentra al analizar los valores de conductancia estomática nocturna. Estas diferencias varietales en las tasas de transpiración y de conductancia nocturnas se explican en parte por la densidad estomática (fig 4). De esta información se puede derivar la idea de que cuando se trata de procesos de deshidratación rápidos, las diferencias encontradas en g dependen mayoritariamente del estado hídrico de la planta mientras que cuando se trata de una situación prolongada de estrés en la que se producen cambios anatómicos y morfológicos tanto del sistema conductivo de la planta (sección efectiva conductora y número y tamaño de vasos) como de la hoja (tamaño y forma foliar y densidad estomática), las variaciones en g se deben en gran parte a estos cambios y no tanto al estado hídrico de la planta.

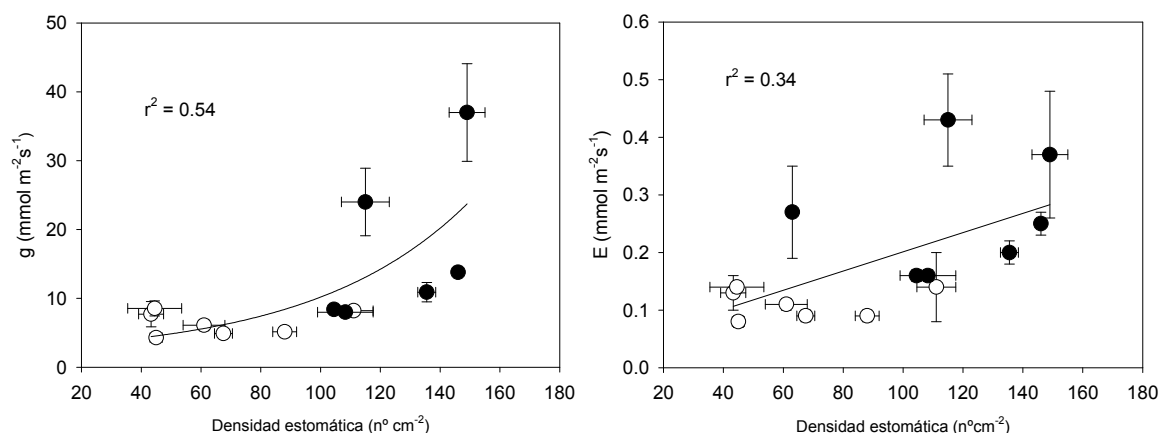


Figura 4. Dependencias entre la densidad estomática y la conductancia estomática y la transpiración foliar nocturna. Círculos llenos: plantas no estresadas; círculos huecos plantas con estrés moderado.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran como las tasas de transpiración y conductancia estomática así como las tasas de respiración nocturnas, son menores según evoluciona el grado de estrés de moderado ($\Psi_{stem}=0.84$) a severo ($\Psi_{stem}=-1.37$). La apertura estomática nocturna muestra una dependencia positiva con la humedad relativa ambiental. De hecho, según se produce la rehidratación de los tejidos tanto por transporte de agua del sustrato a los diferentes órganos de la vid como por el agua de rocío depositada en la superficie de las hojas, se consiguen recuperar valores máximos de conductancia estomática foliar. Esta recuperación es más lenta cuanto mas severa es la situación de estrés hídrica a la que se someta a la planta. Además, se observó una cierta variación de las tasas de transpiración y conductancia estomática nocturna en función de la variedad. Dichas variaciones se pueden justificar en parte por diferencias en la densidad estomática.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado por el proyecto AGL2008-04525-CO2-01

BIBLIOGRAFÍA

- Caird M.A.; Richards J.H., Donovan L.A. 2007. *Plant Physiol.* **143**:4-10.
 Cavender-Bares J., Sack L., Savage J. 2007.. *Tree Physiol.* **27**:611-620.
 Daley M.J., Phillips N.G. 2006.. *Tree Physiol.* **26**:411-419.
 Dawson T.E.; Burgess S.S.; Tu K.P.; Oliveira R.S.; Santiago L.S.; Fisher J.B.; Simonin K.A., Ambrose A.R. 2007. *Tree Physiol.* **27**: 561-575.
 Escalona J.M. Flexas, J, Medrano H. 1999. *Func. Plant Bio.* **26**: 421-433
 Green S.R.; McNaughton K.G., Clothier B.E. 1989.. *Agric.For. Meteorol.* **48**:251-261.
 Marks C.O. and Lechowicz M.J. 2007. *Physiol.* **27**:577-584.
 Rogiers S.Y.; Greer, D-H.; Hutton, R.J. y Landsberg J.J. 2009. *J. Exp Bot.* **60**: 3751-3763.

Sesión 5. Indicadores de estrés hídrico para el riego de
frutales.

Moderadores:

José Enrique Fernández (IRNAS-CSIC,
España)
y Carme Biel (IRTA, España)

Utilización de la temperatura de la cubierta vegetal como indicador de estrés hídrico en frutales.

C. Ballester, M.A. Jiménez-Bello, J.R. Castel y D.S. Intrigliolo

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Centro Desarrollo Agricultura Sostenible

ABSTRACT

La utilización del riego deficitario controlado (RDC) requiere de un buen conocimiento del estado hídrico de los árboles. La temperatura de las hojas es uno de los posibles indicadores utilizados para la determinación del estrés hídrico. En este trabajo se resumen los resultados obtenidos en tres ensayos de RDC en parcelas comerciales de Caqui (*Diospyros Kakí*), Clementina de Nules (*Citrus clementina*, Hort ex Tan) y Navel Lane Late (*Citrus sinensis* (L) Osbeck). El objetivo fue evaluar la temperatura de la copa (T_c), obtenida mediante cámara termográfica infrarroja de mano, como posible indicador de estrés en árboles, en comparación a indicadores “clásicos” como la conductancia estomática (g_s) y el potencial hídrico de tallo a mediodía solar (ψ_{tallo}). Para ello, se tomaron fotos a mediodía solar de árboles sometidos a distintos tratamientos de riego con una cámara termográfica TH9100 WR (NEC San-ei Instruments). Las imágenes se tomaron en cada uno de los cultivos durante varios días representativos y con diferentes exposiciones de la copa a la radiación solar y concurrentemente se determinaron ψ_{tallo} y g_s . Los resultados obtenidos muestran que para diferencias entre árboles de ψ_{tallo} similares (≈ 0.5 MPa) y en condiciones ambientales parejas, fue en el Caqui, frutal con hojas de mayor tamaño, donde se registró un mayor calentamiento de la copa (1.3° C frente a los 0.5 y 0.2° C registrados en Clementina y Navel, respectivamente). Las mejores correlaciones entre los distintos indicadores, $T_c - g_s$, $T_c - \psi_{\text{tallo}}$ y $g_s - \psi_{\text{tallo}}$ se observaron en aquellos días en los que el rango de valores observados de ψ_{tallo} fue mayor, siendo en Caqui donde se obtuvieron las mejores correlaciones. La variabilidad de las medidas entre árboles de un mismo tratamiento fue menor para T_c que para ψ_{tallo} y sobretodo que la de g_s . Así pues, en particular en el caso del caqui, la T_c resultó el indicador de estrés más sensible.

INTRODUCCIÓN

El riego deficitario controlado (RDC), como estrategia de riego empleada para ahorrar agua aplicada a los cultivos con bajo o nulo impacto sobre la producción, precisa del conocimiento del estado hídrico de los árboles. La determinación del potencial hídrico de tallo, ψ_{tallo} , es el método más comúnmente empleado para la detección de estrés hídrico en árboles. Sin embargo, no puede ser automatizado y, dada la variabilidad espacial y temporal habitualmente encontrada, las medidas se pueden tomar sólo en un número limitado de árboles. En este sentido, la temperatura foliar, está íntimamente relacionada con su conductancia estomática y con su tasa de evapotranspiración por lo que la medición de la radiación infrarroja emitida puede ser utilizada como indicador de estrés hídrico en plantas (Jackson, 1982; Jones, 1999; Merlot et al., 2002; Jones et al., 2002). Por otra parte, la medida de la temperatura mediante cámara termográfica de infrarrojos es más rápida y permite captar en una imagen toda una parte de la copa del árbol, integrando una gran cantidad de hojas en ella.

El objetivo de este trabajo ha sido evaluar la temperatura de la copa (T_c), obtenida mediante cámara termográfica infrarroja de mano, como indicador de estrés en árboles, en comparación a indicadores “clásicos” como la conductancia estomática (g_s) y Ψ_{tallo} .

MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo durante 2009 en parcelas comerciales de Caqui (*Diospyros Kaki*), Clementina de Nules (*Citrus clementina*, Hort ex Tan) y Navel Lane Late (*Citrus sinensis* (L) Osbeck) en las que se ensayaban distintos tratamientos de RDC.

La parcela de Caqui, plantada con la variedad Rojo Brillante sobre patrón *Diospyros Lotus*, estaba ubicada en Manises (Valencia). En ella se realizaron determinaciones en los siguientes tratamientos de riego: i) Control, regado al 100% de la evapotranspiración de cultivo (ET_c) durante todo el año, ii) RDC-1, regado al 50% de la ET_c durante los meses de mayo y junio y al 100% el resto del año y; iii) RDC-2, regado al 50% de la ET_c durante julio y agosto y como el Control el resto del año. Los tratamientos estaban dispuestos en bloques al azar, con tres repeticiones de 6-7 árboles muestreables por tratamiento.

Las parcelas de Clementina de Nules (CN) y Navel Lane Late (NLL) se encontraban en Liria y Chulilla (Valencia), respectivamente, y en ellas se ensayaron tres tratamientos de riego: i) Control, regado durante todo el año al 100% de la ET_c ; ii) RDC-1, regado al 50% de la ET_c del 28 de julio al 14 de septiembre en CN y del 20 de julio al 29 de septiembre en NLL y regándose como el Control el resto de la temporada y iii) RDC-2, regado entre el 30-40% de la ET_c los mismos meses que RDC-1. El diseño experimental fue en bloques al azar con cuatro repeticiones, de cinco a diez árboles muestreables por tratamiento.

En cada una de las parcelas y en días representativos se determinó el Ψ_{tallo} y g_s . El Ψ_{tallo} se midió en dos hojas adultas embolsadas de tres árboles por repetición en Caqui y CN y dos árboles por repetición en NLL. La g_s se midió en 5 hojas adultas soleadas de los mismos árboles en Caqui y de un árbol por repetición en CN y NLL. Además de ello, a mediodía solar se tomaron imágenes termográficas frontales de cada árbol (a distancia de 3m en Caqui y a 1-2m en cítricos) tanto de la parte soleada como de la sombreada, utilizando para ello una cámara TH9100 WR (NEC San-ei Instruments) con un rango espectral de 8 a 14 μ m. La cámara, dotada de un gran angular (42.0°x32.1°), captaba una imagen térmica de 320x240 píxeles y una visible de 752x480 píxeles. La emisividad establecida para la vegetación fue de 0.98 (Monteith and Unsworth 2008). La temperatura de las imágenes se obtuvo de forma automatizada según el procedimiento descrito por Jiménez-Bello et al. (2010).

En Caqui se realizaron determinaciones los días 19 de junio, 24 de julio, 10, 14 y 28 de agosto y 4, 18 y 25 de septiembre. En CN, las imágenes se tomaron los días 4, 18 y 25 de agosto y 1 y 11 de septiembre y en el caso de NLL, los días fueron 23 de julio, 6, 13, 20 y 27 de agosto y 03 y 10 de septiembre.

Para evaluar de manera conjunta la eficacia de los distintos indicadores de estrés se realizó un análisis de sensibilidad basado en el propuesto por Goldhamer y Fereres (2001), adaptado a las características de los indicadores aquí estudiados. Así pues, el valor “señal” de Ψ_{tallo} se calculó como el ratio entre el promedio de las medidas en los tratamientos RDC y el Control, para g_s como el ratio entre los valores promedio del tratamiento Control y de los tratamientos RDC y para T_c como diferencia de T_c entre los tratamientos RDC y Control. En todos los

indicadores el “ruido” se obtuvo como el promedio del coeficiente de variación entre árboles del mismo tratamiento y la sensibilidad como cociente señal/ruido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados muestran que en todas las parcelas se observaron diferencias de Ψ_{tallo} entre los distintos tratamientos de riego ensayados (figura 1), que llegaron a ser de 1.45, 1.15 y 1.22 MPa para Caqui, CN y NLL, respectivamente. Sin embargo, únicamente en Caqui se observó buena correlación entre los distintos indicadores de estrés estudiados, Tc, gs y Ψ_{tallo} (tabla 1). Dicha correlación fue mejor los días 19 de junio, 24 de julio y 14 de agosto (r^2 en promedio de los tres días, 0.73, 0.74 y 0.81 para Tc - gs, Tc - Ψ_{tallo} y gs - Ψ_{tallo} , respectivamente), en los que el Ψ_{tallo} , de los tratamientos con restricciones hídricas alcanzó los valores más negativos.

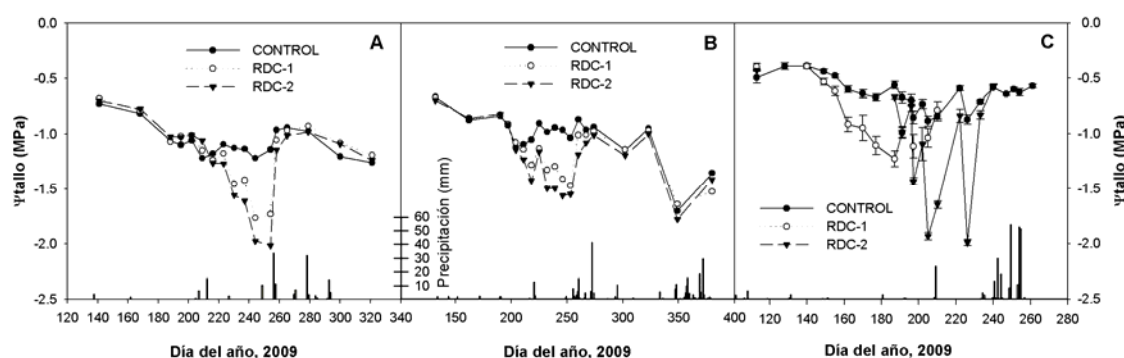


Figura 1. Evolución del Ψ_{tallos} y precipitación en 2009 en cada una de las parcelas, CN (A), NLL (B) y Caqui (C).

Tabla 1. Coeficiente de determinación promedio de todos los días para Tc-gs, Tc- Ψ_{tallos} y gs- Ψ_{tallos} en cada una de las parcelas.

	Coeficiente de determinación, R^2		
	Tc-gs	Tc- Ψ_{tallos}	gs- Ψ_{tallos}
Caqui	0.45	0.53	0.45
CN	0.17	0.23	0.23
NLL	0.12	0.10	0.13

Diferencias de Ψ_{tallos} de aproximadamente 0.5 MPa entre tratamientos (RDC-Control) y en condiciones ambientales similares, provocaron en árboles de Caqui un mayor calentamiento de la copa que en los cítricos, con aumentos de Tc en caqui de 1.3 °C, en promedio, frente a los 0.5 °C y 0.2 °C registrados en CN y NLL, respectivamente (tabla 2). Este diferente comportamiento de Tc entre cultivos podría deberse a las diferencias morfológicas y anatómicas existentes entre las hojas de Caqui y de los cítricos. La menor diferencia de Tc registrada en los cítricos, fue posiblemente la causa de la peor correlación obtenida entre ésta con gs y con Ψ_{tallos} , incluso en aquellos días con mayor diferencia de Ψ_{tallos} entre los distintos tratamientos de riego.

Tabla 2. Valores promedio de todos los días de medida de Tc (°C), gs (mmol/m² s) y Ψ_{tallos} (MPa) en los diferentes tratamientos de los tres cultivos estudiados.

	CAQUI			CN			NLL		
	Tc	gs	Ψ_{tallos}	Tc	gs	Ψ_{tallos}	Tc	gs	Ψ_{tallos}
Control	29.2	149.9	-0.67	31.2	34.0	-1.16	31.8	37.9	-1.0
RDC-1	30.4	123.8	-0.95	31.3	-	-1.52	31.8	-	-1.29
RDC-2	31.7	105.5	-1.46	31.6	32.8	-1.68	32.0	42.4	-1.51

En todos los cultivos Tc resultó ser el indicador que menor variabilidad mostró entre árboles de un mismo tratamiento (tabla 3), aunque únicamente en Caqui se mostró como el de mayor sensibilidad seguido de gs y Ψ_{tallo} . La escasa diferencia de Tc entre tratamientos registrada en los cítricos hizo que éste se mostrara como el peor indicador en CN y NLL siendo el Ψ_{tallo} el indicador más sensible.

Tabla 3. Sensibilidad de los distintos indicadores de estrés en cada cultivo.

Parámetro	CAQUI			CN			NLL		
	Tc	gs	Ψ_{tallo}	Tc	gs	Ψ_{tallo}	Tc	gs	Ψ_{tallo}
Señal	1.85	1.31	1.56	0.25	1.03	1.38	0.1	0.89	1.40
Ruido (CV)	0.11	0.23	0.31	0.09	0.27	0.15	0.09	0.34	0.16
Sensibilidad (Señal/Ruido)	17.5	5.74	5.03	2.77	3.76	9.08	1.08	2.62	8.67

CONCLUSIONES

La medida de la temperatura de la cubierta en árboles frutales puede emplearse como indicador de estrés hídrico, sin embargo, su uso puede estar condicionado al tipo de cultivo empleado, siendo los más adecuados para su utilización aquellos que por las características de sus hojas, morfología, densidad estomática, etc., que determinan su resistencia aerodinámica y control estomático, permitan mayores aumentos de temperatura de la cubierta vegetal en respuesta a restricciones de riego.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado con fondos de los proyectos RIDECO-CONSOLIDER CSD2006-00067 y Telerieg del programa Interreg Sudoe IVB. Se agradece la ayuda prestada para las determinaciones en campo a D. Guerra, E. Badal, N. Buesa y J. Castel.

BILIOGRAFÍA

- Goldhamer D.A. and Fereres E., 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrigation Science* 20, 115-125
- Jackson R.D., 1982. Canopy temperature and crop water stress. *Advances in Irrigation* 1, 43-85.
- Jiménez-Bello, M.A., Ballester, C., Castel, J., Castel, J.R., Intrigliolo D.S., 2010. Automatización del procesado de imágenes térmicas para la evaluación del estado hídrico de los cultivos. *Actas XXVII Congreso Nacional Riegos*, León, edición en CD
- Jones H.G., 1999. Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Agricultural and Forest Meteorology* 95, 139-149
- Jones H.G, Stoll M., Santos T., de Sousa C., Chaves M.M., Grant O.M., 2002. Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *Journal of Experimental Botany* 53, 2249-2260
- Merlot S., Mustilli A.C., Genty B., North H., Lefebvre V., Sotta B., Vavasseur A., Giraudat J., 2002. Use of infrared thermal imaging to isolate Arabidopsis mutants defective in stomatal regulation. *The Plant Journal* 30, 601-609.
- Monteith J.L. and Unsworth, M.H., 2008. *Principles of environmental physics.*: Elsevier/ Academic Press 440 pp.

Intercepted radiation by apple canopy can be used as a basis for irrigation scheduling

Auzmendi, I., Mata, M., Lopez G., Girona, J., Marsal J.

Irrigation Technology. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentaries. Av Rovira Roure 191, 25198-Lleida, Spain
Inigo.Auzmendi@irta.cat

ABSTRACT

Improved approaches for irrigation scheduling require specific protocols for adaptation to different growing conditions. We assessed crop intercepted radiation as the main factor for decision on irrigation scheduling. Over two growing seasons (2007-2008), apple trees growing in a large weighing lysimeter were used to measure daily canopy transpiration (T_d). Seasonal patterns of daily canopy intercepted PAR ($IPAR_d$) were also measured. In preharvest, T_d increased linearly with $IPAR_d$ ($R^2 = 0.81$ in 2007 and 0.84 in 2008). When the two year data was coupled R^2 increased from 0.74 to 0.80 considering VPD as a second variable. The postharvest corresponding slope was lower than preharvest. Due to the highly significant effect of $IPAR_d$ and VPD on T_d , $IPAR_d$ showed potential applications in estimating the amount of irrigation water.

INTRODUCTION

A conventional method for scheduling irrigation in fruit tree orchards is by using the water balance method estimating crop evapotranspiration (ETc) (e.g. Allen et al., 1998). ETc is derived from the reference evapotranspiration (ETo) and crop coefficients (K_c) according to $ETc = K_c * ETo$. An alternative method for irrigation scheduling is through measurement of intercepted solar radiation (Pereira et al., 2007). To develop this method in woody crops, including apple, specific relationship between daily transpiration and intercepted radiation are required. A large weighing lysimeter is the best tool to establish this relationship. Our objectives were to: (i) determine $IPAR_d$ and T_d relationship in apple tree canopies, (ii) determine the possible interaction of other factors (air temperature and VPD) on the previous relationship, and (iii) explore scheduling irrigation based on the relationship between $IPAR_d$ and T_d .

MATERIALS AND METHODS

The study was carried out in 2007-2008 in a weighing lysimeter facility at the IRTA- Lleida Experimental Station in Mollerussa, Spain. The lysimetric station was located in the centre of an experimental orchard (0.5 ha) planted in 1999 with Smoothie apple (*Malus × domestica* Borkh. 'CG 10 Yellow Delicious') as described by Girona et al. (2004). Different physiological parameters were evaluated on a weekly basis from bud-break (April) until leaf fall (October).

Daily tree transpiration rates T_d ($mm d^{-1}$) for the three lysimeter trees were calculated on a weekly basis. T was determined after covering the soil surface of the lysimeter with a plastic sheet. Thus, the soil evaporation component was suppressed and ensured that tree water use at the lysimeter corresponded only to T. The plastic sheet was placed on every measured day from dawn to sunset. IPAR was evaluated every two hours in the lysimeter. IPAR measurements were carried out as long as the incident PAR at the top of the canopy exceeded

$200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A linear ceptometer (probe length 80 cm; AccuPAR model LP-80, Decagon Devices Inc, Pullman, Washington) was used for IPAR determination. IPAR was calculated as the difference between the averaged PAR data below and above the canopy of the trees. For below-canopy data, 70 readings were taken at fixed positions by placing the ceptometer in a horizontal position at the ground level. Regarding above-canopy PAR readings, two fully sunlit measurements of the incident PAR were also taken at an open site with no interference from the canopy just before and after the below-canopy measurements were taken. The amount of incident radiation above the canopy ($\text{PAR}_{\text{above}}$) was calculated as the average of these two fully sunlit measurements. Environmental parameters such as hourly air temperature and relative humidity (RH) were recorded in each of the experimental years. IPAR_d was calculated by integrating hourly data. Daily mean air temperature, VPD were calculated averaging hourly data for the period with the incident PAR at the top of the canopy exceeding $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

To determine which factor played a major role on T_d , the effects of IPAR_d , daily mean air temperature and VPD in T_d were evaluated by regression analysis. PROC REG of SAS (SAS Institute, Cary, North Carolina) was used for the stepwise regression analysis. T_d was the dependent variable and IPAR_d , daily mean air temperature and VPD were the independent variables.

The possibility of using the relationship between T_d and IPAR_d to provide reasonable estimates of annual water requirements was further assessed. The outcomes of this assessment were compared to actual data from the conventionally irrigated experimental orchard trees. Water balance for the whole growing season was calculated for 2007 and 2008, and simulations were performed as follows. T_d and daily soil evaporation (E_d) were estimated separately. Since trees in the lysimeter and in the orchard were of similar size it was assumed that they had identical intercepted fraction patterns. T_d was estimated from the relationship between T_d and IPAR_d obtained from the lysimeter considering field estimated IPAR_d as input in the equation. IPAR_d was calculated as daily $\text{PAR}_{\text{above}}$ multiplied by daily intercepted fraction. Daily $\text{PAR}_{\text{above}}$ was calculated integrating hourly data obtained from the weather station. Daily intercepted fraction was estimated dividing IPAR_d by daily $\text{PAR}_{\text{above}}$ measured in the field. Daily soil evaporation (E_d) was calculated as a fixed percentage of T_d from the lysimeter. Based on comparisons between the days with T_d measurements in the lysimeter and the average of the two previous and two subsequent days with uncovered soil surface (i.e. $T_d + E_d$), it was found that during the dry season E_d represented a 5% of T_d and during rainy periods E_d reached up to 25% of T_d .

RESULTS AND DISCUSSION

The multiple regression determined that IPAR_d was the main variable affecting T_d in both years (Table 1). During the fruit growing season in 2007 and 2008, a significant positive relationship between T_d and IPAR_d was found (Fig. 1). In preharvest R^2 was 0.81 in 2007 and 0.84 in 2008. Inclusion of temperature improved this relationship to R^2 values of 0.90 in 2007 (Table 1). Considering both years together R^2 was 0.74. Inclusion of VPD improved R^2 to 0.80 for both years together (Table 1).

Table 1 Significance (*P*) and regression coefficient (*R*²) for the model and each independent variable of the stepwise regression analysis for daily canopy transpiration (*T*_d) as the dependent variable and daily canopy intercepted PAR (IPAR_d), daily mean air temperature and vapor pressure deficit (VPD) as the independent variables for the period before harvest.

Regression statistics	2007 ^a		2008 ^b		2007-2008 ^c	
	<i>P</i>	<i>R</i> ²	<i>P</i>	<i>R</i> ²	<i>P</i>	<i>R</i> ²
Model	< 0.001	0.9036	< 0.001	0.8376	< 0.001	0.7983
IPAR _d (mol m ⁻² d ⁻¹)	< 0.001	0.8059	< 0.001	0.8376	< 0.001	0.7371
Temperature (°C)	0.022	0.0977	n.e.	-	n.e.	-
VPD (KPa)	n.e.	-	n.e.	-	0.031	0.0612

n.e.: the variable did not meet the 0.15 significance level for entry into the model

^aFinal stepwise regression model for year 2007: $T_d = -1.5 + 0.0982 (IPAR_d) + 0.0835$ (Temperature)

^bFinal stepwise regression model for year 2008: $T_d = -0.867 + 0.161 (IPAR_d)$

^cFinal stepwise regression model for both years: $T_d = -0.607 + 0.119 (IPAR_d) + 0.445 (VPD)$

During the preharvest period, a significant linear relationship between *T*_d and IPAR_d was found (Fig. 1). In the postharvest period, this relationship was not significant, probably due to the reduced range of variation in *T*_d and IPAR_d. Postharvest *T*_d and IPAR_d relationships are less relevant since only a 10% of annual water requirements are used during that period. Different slope values in different years were related to different VPD values between years. According to the multilinear function *T*_d is dependent on VPD. Such an influence was expected since relationship between *T* and VPD is well known. Although the relationship between *T*_d and IPAR_d was not significant in postharvest, *T*_d values by that time tended to be lower, for same IPAR_d values, than in preharvest. This effect was also observed by Girona et al. (2010) who reported immediate reduction of *K*_c after harvest. The relationship between *T*_d and IPAR_d was strong and highly significant within the two years.

Applied amounts of water (mm) in the experimental orchard using *K*_c from the lysimeter were 668 in 2007 and 614 in 2008. Simulated annual requirements (mm) were 633 in 2007 and 628 in 2008. This gives a small deviation of 3.5% on average. Around 90% of the annual applied water corresponded to that consumed during the preharvest period. Therefore, the use of IPAR_d data to schedule irrigation in fruit trees becomes a possibility. The measurement of IPAR_d can be easily automated using the present technology and some experiments in this sense are going on.

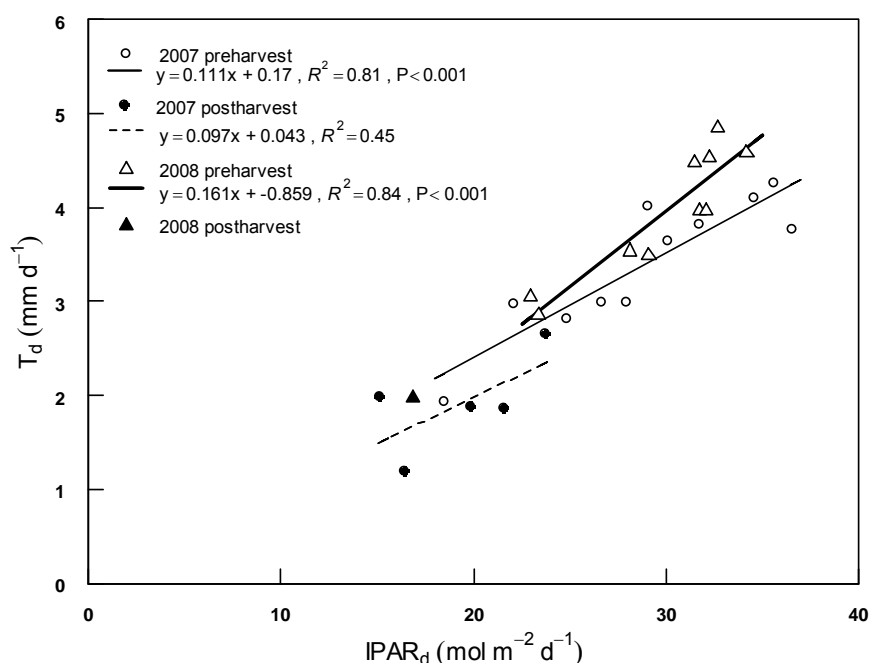


Fig. 1. Relationship between daily transpiration (T_d) and daily intercepted PAR ($IPAR_d$) in fully irrigated apple trees. Relationships were adjusted to a simple linear model for the preharvest and postharvest period of each year.

In summary, regardless of the different weather conditions between years T_d was strongly linearly related to $IPAR_d$ and to less extent to VPD, with $R^2 = 0.80$. Considering the present limitation of conventional methods to schedule irrigation, the use of in-situ field $IPAR_d$ may add orchard specificity and substantially refine irrigation requirement calculations. If irrigation is to be managed at full requirements, $IPAR_d$ and VPD could be used to estimate T_d for apples during preharvest.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was funded by INIA (RTA2005-00045-CO3-01) and the Spanish Ministry of Education and Science (CONSOLIDER CSD2006-00067). Inigo Auzmendi received an FPI grant from INIA (Spain). The authors thank Jordi Pujades for field assistance.

REFERENCES

- 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, Rome.
- Girona, J., Marsal, J., Mata, M., Del Campo, J., 2004. Acta Hort. 664, 277-281.
- Girona, J., Del Campo, J., Mata, M., Lopez, G., Marsal, J., 2010. Irrig. Sci. (in press, DOI 10.1007/s00271-010-0217-5).
- Pereira, A.R., Green, S.R., Villa Nova, N.A., 2007. Agric. Water Manage. 92, 48-52.

Índices de estrés hídrico basados en el contenido de agua en el suelo

Abrisqueta¹, I., Vera^{1,2}, J., Tapia³, L.M., Munguía⁴, J.P. Abrisqueta^{1,2}, J.M., Ruiz-Sánchez^{1,2}, M.C.

¹Dpto. Riego, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), P.O. Box 164, 30100 Murcia, Spain

iavillena@cebas.csic.es

²Unidad Asociada al CSIC de Horticultura Sostenible en Zonas Áridas (UPCT-CEBAS)

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP-CONACYT), Uruapan, México

⁴Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA-CONACYT), Saltillo, Coah. México.

ABSTRACT

To determine if the changes in the daily reduction of the soil water content could be used to identify the beginning of plant water stress an experiment was carried out in a drip irrigated mature peach tree orchard (*Prunus persica* (L.) Batsch, cv. Flordastar, on GF-677 rootstock) at the CEBAS-CSIC experimental field station, in Santomera, Murcia (Spain). Two stressed treatments were applied as compared with full irrigated trees (control treatment). One drying cycle was applied to trees for one month, coinciding with the post-harvest stage: rapid stress (by withholding irrigation) and progressive stress (reducing irrigation amount). The soil water content (SWC) was measured continuously using multisensor capacitance probes at 0.8 m soil upper layer and three SWC-derived indices were calculated. The beginning of plant water stress was identified by the first statistically significant difference in midday stem water potential (Ψ_{stem}) between stressed and well watered trees. The 'breaking point', calculated as the transition between a relatively rapid rate to a slower rate of reduction of SWC in the drying soil, coincided with the beginning of plant water stress as judged from the Ψ_{stem} reduction. The dates for both the indication of plant water stress using the SWC-derived indices delayed two days respect to that of Ψ_{stem} reduction or breaking point. The results suggested that lower SWC limit for irrigation management in peach trees could be established as 10 % of the soil field capacity during the postharvest period.

INTRODUCCIÓN

La agricultura afronta una situación de escasez de recursos hídricos en muchas zonas del mundo. La competencia de otros sectores y la creciente conciencia ambiental han provocado un aumento de la presión para mejorar la eficiencia del uso del agua. Las mejoras en la programación de riego junto al conocimiento de la sensibilidad de los cultivos al estrés en diferentes etapas de desarrollo hídrico, ayudarán a asegurar que la cantidad adecuada de agua de riego sea aplicada en el momento oportuno (Jury y Vaux, 2007).

Medir el contenido de agua del suelo es una tarea menos tediosa de lo que anteriormente era debido al desarrollo de nuevos equipos, que incluyen la adquisición de datos automática (Evelt et al., 2002a, b). Los sensores disponibles comercialmente se basan en la capacitancia, impedancia y transmitancia en el dominio del tiempo (TDR). Estos sensores permiten una medida continua y en tiempo real, que facilita la toma de decisiones para la programación precisa del riego (Paltineanu y Starr, 1997; Starr y Paltineanu, 2002). Para ello se requiere que el agua del suelo se mantenga dentro de unos límites. Comúnmente, el límite superior se aproxima a la capacidad de campo y el límite inferior es ligeramente por encima del nivel donde la planta comienza a experimentar estrés

hídrico. El mantenimiento del contenido de agua en el suelo dentro de este rango asegura un adecuado suministro hídrico al cultivo, evitando el exceso de drenaje (Campbell y Campbell, 1982).

El objetivo de este trabajo fue evaluar si la dinámica de contenido de agua en el suelo, medida con sondas de capacitancia, puede utilizarse para desarrollar índices que permitan identificar el comienzo del estrés hídrico en plantas de melocotonero.

MATERIALES y MÉTODOS

Los ensayos se llevaron a cabo en una parcela de 0.8 ha de la finca experimental del CEBAS-CSIC, en Santomera, Murcia, España (38° 06 ' 31.2 " N; 1 ° 02 ' 13.7 " W, altitud 110) de melocotonero (*Prunus persica* (L.) Batsch, cv. Flordastar, injertados de GF-677) de 7 años de edad, en un marco de 5 m x 5 m. El suelo de la parcela experimental es pedregoso y posee una textura franco-arcillosa, con una densidad aparente media de 1.56 t m⁻³. Los contenidos volumétricos de humedad a capacidad de campo y en el punto de marchitez permanente fueron de 0.29 y 0.15 m³ m⁻³, respectivamente. El sistema de riego era por goteo con un lateral por fila de árboles y 8 emisores autocompensantes (2 L h⁻¹) por árbol, espaciados 0.5 m. La finca experimental dispone de una estación agro-meteorológica automática.

Todos los árboles se regaron diariamente al 120% de la ETc al inicio de la estación de crecimiento (tratamiento de control). Coincidiendo con la etapa poscosecha (3 de junio) se suprimió el riego a dos filas, de 13 árboles cada una, durante un mes (tratamiento de estrés rápido). En otras dos filas, el riego se redujo de forma progresiva (al 60, 40, 20 y 0% de la ETc) en periodos de una semana (estrés progresivo).

El contenido volumétrico de agua del suelo se midió con sondas de capacitancia (C-probe). Para ello se instalaron tubos de acceso de PVC, en cuatro árboles representativos de cada tratamiento, a 0.1 m del segundo emisor. Cada sonda consta de 5 sensores situados a 0.05, 0.15, 0.25, 0.45 y 0.75 m de profundidad, los cuales están conectados a una unidad de radio transmisión, que lee cada 5 min y almacena un promedio cada 15 min. De los datos de contenido de agua acumulado en el perfil de suelo 0-0.8 m, durante el período de estrés, se calcularon los siguientes índices (Thompson et al., 2007):

- Disminución diurna (DD): calculado como la diferencia entre el valor máximo y mínimo diario en las horas de luz (07:00 y 20:00 h, respectivamente).
- Disminución nocturna (DN): calculado como la diferencia entre el valor mínimo del día anterior y el máximo del día siguiente.
- Disminución total diaria (DTD): la diferencia entre el valor mínimo diurno del día anterior y el del día actual. DTD corresponde a la suma de DD y DN.

El potencial hídrico del tallo (Ψ_{tallo}) se midió al mediodía solar, cada 2-4 días, en hojas maduras, situadas en el lado norte y cerca del tronco, en una hoja por árbol y cuatro árboles por tratamiento, utilizando una cámara de presión. Las hojas fueron envueltas en papel de aluminio durante al menos dos horas antes de la medida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1A muestra la disminución del contenido de agua en el suelo durante el periodo de estrés, que tras las lluvias se dio por iniciado el 9 de junio. Debido a la absorción de

agua por la planta, las disminuciones son importantes durante el día y, conforme el suelo se seca, se van haciendo progresivamente más pequeñas (Starr y Paltineanu, 1998a, b; Goldhamer et al., 1999; Girona et al., 2002). La transición entre el ritmo relativamente rápido de disminución del agua en el suelo y el ritmo más lento (identificado como punto de inflexión) ha sido sugerida como un indicador del comienzo de estrés hídrico por varios autores (Starr y Paltineanu, 1998a, b; Thompson et al., 2007). Para el estrés rápido éste se situó en el mediodía del 17 de junio y para el progresivo en el 27 de junio, correspondiendo a valores de contenido de agua en el suelo de 203 y 205 mm 0.8 m^{-1} , respectivamente (Fig. 1A). Estas fechas coinciden con los días en los que los valores de Ψ_{tallo} mostraron diferencias estadísticamente significativas entre árboles de los tratamientos control y estrés (17 de junio, para el estrés rápido y 27 de junio para el estrés progresivo (Fig. 1B)).

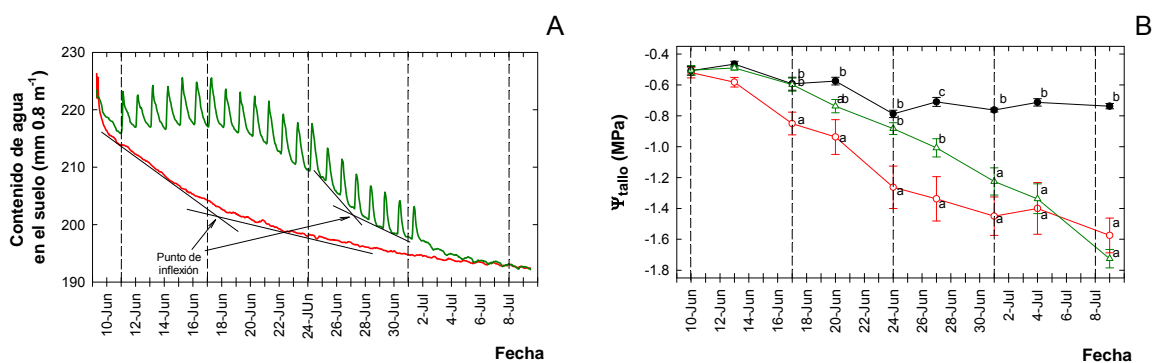


Figura 1. A: Contenido de agua en el suelo ($\text{mm } 0.8 \text{ m}^{-1}$) en los tratamientos estrés progresivo (—) y rápido (—). Se indican los puntos de inflexión. **B.** Potencial hídrico del tallo (Ψ_{tallos}) en los tratamientos control (●), estrés progresivo (Δ) y rápido (○). Los valores corresponden a la media de 4 repeticiones. Las barras indican \pm ES. Letras distintas indican la existencia de diferencias significativas entre tratamientos, para cada fecha, según el test de la MDS_{0.05}.

De acuerdo con los valores de los índices derivados de la curva de disminución de agua en el suelo calculados para el estrés rápido, los valores de DN (disminución nocturna) disminuyeron desde el comienzo del período de estrés, estabilizándose en valores prácticamente constantes desde el 16 de junio (Fig. 2A). Los valores DD (variación diurna) muestran un comportamiento similar con valores que disminuyen progresivamente para llegar a valores bajos y constantes a partir del 17 de junio (Fig. 2B). Del 16 al 18 de junio, cuando los valores de DN son insignificantes (cese de drenaje), la disminución observada en el índice DD viene dada por una disminución en la demanda evaporativa de la atmósfera (valores de ET_0 de 7 a 6 mm). Sin embargo, del 18 al 19 de junio no se observaron cambios en valores de DD (fig. 2B), a pesar del aumento de la ET_0 . Esto sugiere que absorción de agua en las plantas estresadas fue insensible al aumento de la demanda evaporativa, lo que puede considerarse como una *indicación* de la aparición inmediata de estrés hídrico de planta. Al día siguiente, los valores DD permanecieron constantes (fig. 2B), lo que podría considerarse como *confirmación* de que los árboles estaban sufriendo estrés. Las fechas de indicación y confirmación para el índice DTD fueron las mismas que para DD y ocurrieron 2 días más tarde que el indicado por la disminución de Ψ_{tallos} y el punto de inflexión. Los índices propuestos (DD y DTD), con un proceso de dos etapas: indicación y confirmación, implican un cierto grado de subjetividad. La determinación del punto de inflexión tiene, entre otras ventajas prácticas, la sencillez y

capacidad para detectar estrés en la planta durante las etapas iniciales de disminución del contenido de agua en el suelo (Thompson et al., 2007).

En las condiciones experimentales, se sugiere que el contenido de agua en el suelo se mantenga en niveles por encima de $210 \text{ mm } 0.8 \text{ m}^{-1}$ (humedad volumétrica media $0.26 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Esto se traduce en un valor de umbral del 10% de la capacidad de campo, que se propone como límite inferior para activar la programación de riego automático. Este límite se estableció para el período de poscosecha, que coincide con un período de no crítico.

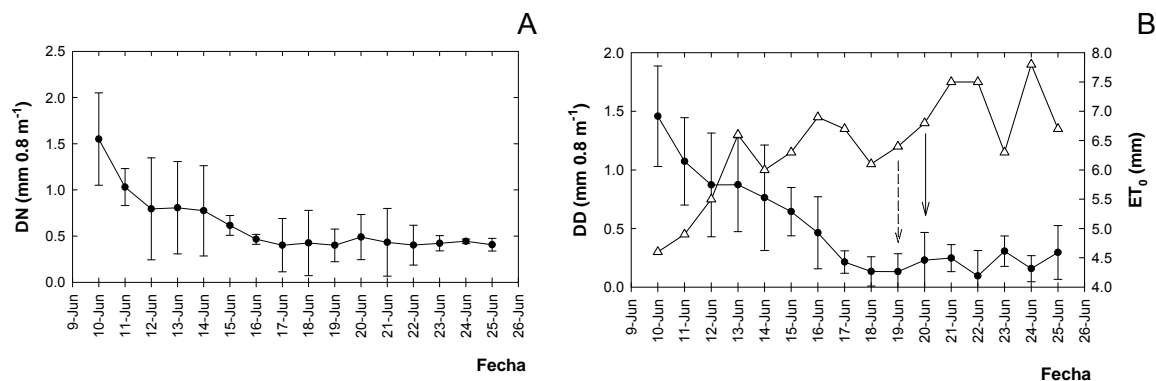


Figura 2. Índices de la variación del contenido de agua en el suelo en el tratamiento de estrés rápido **A:** DN, disminución nocturna. **B:** DD, disminución diaria (●) y ET₀ diaria (Δ). Los valores corresponden a la media de 4 repeticiones. Las barras en los puntos indican \pm ES. Las flechas muestran la *indicación* (discontinua) y *confirmación* (continua) de la situación de estrés hídrico.

CONCLUSIONES

Las reducciones del agua en el suelo están asociadas con el desarrollo del estrés hídrico de planta. El desafío consiste en desarrollar procedimientos basados en estos datos que permitan identificar con precisión cuándo comienza el estrés hídrico en la planta. Los resultados del trabajo demuestran la validez de las medidas en continuo del contenido de agua en el suelo con sondas de capacitancia, que permiten el acceso a los datos en tiempo real y definir el límite inferior para la gestión automática de riego en melocotonero.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado con los proyectos del MICINN (AGL2009-14861) y de la Fundación Séneca (08847/PI/08). I Abrisqueta es becaria I3P-CSIC.

BIBLIOGRAFÍA

- Campbell, G.S. and Campbell, M.D. 1982. Adv. Irrig. Sci. 1:25–42.
- Evelt, S.R., Laurent, J.P., Cepuder, P. and Hignett, C. 2002a. 17th Water Conservation Soil Society Symposium, Thailand.
- Evelt, S.R., Ruthardt, B., Kottkamp, S., Howell, T., Scheneider, A. and Tolk, J. 2002b. 17th Water Conservation Soil Society Symposium, Thailand.
- Girona, J., Mata, M., Fereres, E., Goldhamer, D.A. and Cohen, M. 2002. Agric. Water Manage. 54: 107-122.
- Goldhamer, D.A., Fereres, E., Mata, M., Girona, J. and Cohen, M. 1999. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 124:437-444.
- Jury, W.A. and Vaux, H.J. 2007. Adv Agron 95:1-76.
- Paltineanu, I.C. and Starr, J.L. 1997. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:1576-1585.
- Starr, J.L. and Paltineanu, I.C. 1998a. Soil Sci. Soc. Amer. J. 62:114-122.
- Starr, J.L. and Paltineanu, I.C. 1998b. Soil Till. Res. 47:43-49.
- Starr, J.L. and Paltineanu, I.C., 2002. In: Dane, J.H., Topp, G.C. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 4. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI, USA, pp. 463–474.
- Thompson, R.B., Gallardo, M., Valdez, L.C. and Fernández, M.D. 2007. Agric. Water Manage. 92:13-28.

Plant-based water stress indicators for monitoring citrus crop responses to deficit irrigation

García-Tejero I.*, Durán-Zuazo V.H., Jiménez-Bocanegra J.A., Muriel-Fernández J.L.

IFAPA Centro "Las Torres-Tomejil", Ctra. Sevilla-Cazalla Km. 12,2. 41.200, Alcalá del Río, Sevilla, Spain

*ivanf.garcia@juntadeandalucia.es

ABSTRACT

This work examines the use of different plant-based water stress indicators for monitoring the citrus crop physiological response to different deficit-irrigation (DI) strategies. Temporal evolution of midday-stem water potential (Ψ_{stem}), stomata conductance (g_s), trunk diameter fluctuations (TDF) and daily difference in air and canopy temperature (ΔT), were monitored for assessing the crop water status during two different stressed cycles, imposed along the maximum evapotranspirative demand period in SW Spain. The results confirm that ΔT and TDF are efficient techniques for achieving the crop water status, offering continuously information about crop water stress level. In addition, the relation function, maximum daily shrinkage (MDS), and canopy-air temperature differential (ΔT) showed a high sensitivity to water stress in comparison to Ψ_{stem} and g_s , evidencing significant responses 48 hours before than Ψ_{stem} or g_s . Thus, the combination these physiological tools for water stress detection, offering promising possibilities for improving the citrus irrigation and boosting the water productivity in citrus orchards.

INTRODUCTION

The use of plant-based water stress indicators for monitoring the effects of deficit irrigation (DI) has been widely studied in several crops and its knowledge is critical for reducing risks of causing a crop failure or total tree damage. Midday-stem water potential (Ψ_{stem}) and stomata conductance (g_s) are standard used parameters to monitor the plant water status, when the crop is subjected to water stress, although these measurements are time-consuming and cannot be automated, being impossible the continuously monitoring (Ortuño et al., 2006).

An alternative technique for monitoring the water stress signals in fruit crops is the trunk diameter fluctuations (TDF), and the related functions such as the maximum daily shrinkage (García-Tejero, 2010; Velez et al., 2007). This technique is based on the assessing of the daily short-term changes in plant trunk diameter, related with crop transpiration (Fernández and Cuevas, 2010). Canopy temperature (T_c) based in infrared thermometry or thermal imaging is also used for monitoring crop water status when this is subjected to DI. In this context, Jackson et al. (1977) defined the difference of T_c and atmosphere temperature (T_a) as an index to study the water status of the crops, relating this difference (ΔT) to productivity and crop water requirements.

The main objectives of the present study were: (1) evaluation the use of canopy temperature and trunk diameter fluctuations for monitoring the crop water status, in comparison to discrete measurements such as Ψ_{stem} and g_s , and (2) defining the different water stress levels for citrus crop cv. Navelina for optimizing the irrigation scheduling in base of different plant water stress indicators.

MATERIAL AND METHODS

The experiment was carried out in a commercial orchard of 12-year-old sweet orange (*Citrus sinensis*, L. Osbeck, cv. Navelino) grafted onto Carrizo Citrange (*Citrus sinensis* L. Osbeck x *Poncirus trifoliata* Raf.), located in the Guadalquivir river basin, SW Spain (37° 29' 18.85" N; 5° 50' 42.67" W). The trees are spaced 6 m x 4 m with standard distance of 3.5 m between ridges, and drip irrigated by two pipe lines with pressure-compensated emitters. A head-unit programmer, electro-hydraulic valves and analogical flow water meters controlled irrigation in each treatment automatically. DI treatments were implemented from early June to mid-October (150-283 DOY).

Two deficit-irrigation treatments were tested: sustained deficit irrigation (SDI) with an application of 50-60% of ET_C , and low-frequency deficit irrigation (LFDI), which was irrigated according to the midday stem-water potential values; when this parameter approached to -2.0 MPa, the trees were irrigated covering the total ET_C (during a period of 7-10 days), until reaching values similar to the control treatment; irrigation was then withheld until the Ψ_{stem} values were again approached the threshold value of -2.0 MPa.

A full irrigated treatment (Control, C-100) was irrigated at 100% of ET_C for whole irrigation period. During the period of maximum evapotranspirative demand (187-226 DOY) two cycles of irrigation-restriction in LFDI treatments were studied, in comparison with SDI and control treatments, measuring continuously TDF, Ψ_{stem} , g_s and ΔT each 48 hours approximately, in order to establish the capability of each technique for detecting the crop response to water deficit. In each treatment, Ψ_{stem} was measured in two leaves per control tree, between 10:00 and 12:00 h solar time, using a Scholander pressure chamber. A diffusion porometer AP-4 (Delta-T Devices, Cambridge, UK) was used for measuring g_s . Micrometric trunk diameter fluctuations (TDF) were registered in three trees per treatment, using a set of Plant-Sens sensors (CPS Factory, Verdtech Nuevo Campo, SA. Spain). Canopy temperature readings were carried out using an infrared thermal-camera (Therma-Cam FLIR System, Inc, UK).

During the cycle I (187-201 DOY), the trees in SDI treatment received approximately 60% of applied water in C-100, and for LFDI, water restriction was established during 7 days, from 187 to 194 DOY; and the recovery period, irrigated at 100% of ET_C during other 7 days, from 194 to 201 DOY, receiving approximately 50% of applied water in C-100 in this period. During the cycle II (216-226), SDI treatment, that had been being irrigated at 60% of ET_C since 187 DOY, was partially recovered, being irrigated at 100% of ET_C from 219 to 226 DOY, due to the severe water status endured by the crop. LFDI was not irrigated from 216 to 219, and irrigated at 100% ET_C from 219 to 226 DOY.

An exploratory and descriptive analysis was made in each physiological variable, followed by analysis of variance (ANOVA) with a mean separation analysis for each studied parameter

RESULTS AND DISCUSSION

Deficit-irrigation strategies promoted significant effects on the dynamics of TDF, Ψ_{stem} , g_s , MDS, and ΔT along the two studied cycles, showing the significant differences in each of them in relation to the control trees. Regarding to the TDF (Fig. 1), it was remarkable the different patterns observed in each treatment. Control treatment showed an increasing trend during the

studied period, which was reflected in a net increase of 2.9 mm. In relation to SDI treatment, the gradual increase in the trunk shrinkages during the whole period promoted significant decreases in the trunk diameter, being this trend continued until the end of period. Globally, this treatment showed a final increment in trunk diameter closely to 0.5 mm. Finally, the fluctuations registered in LFDI treatment, showed decline and recovery periods with a net increase similar to control trees. In physiological terms, these results evidence that LFDI with a water stress similar to SDI showed greater results, without significant differences with respect to control treatment.

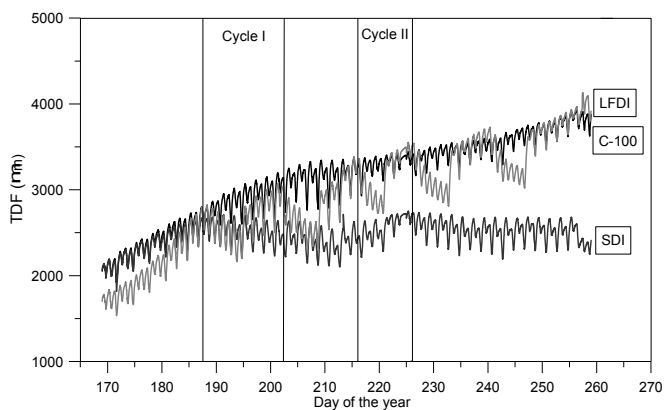
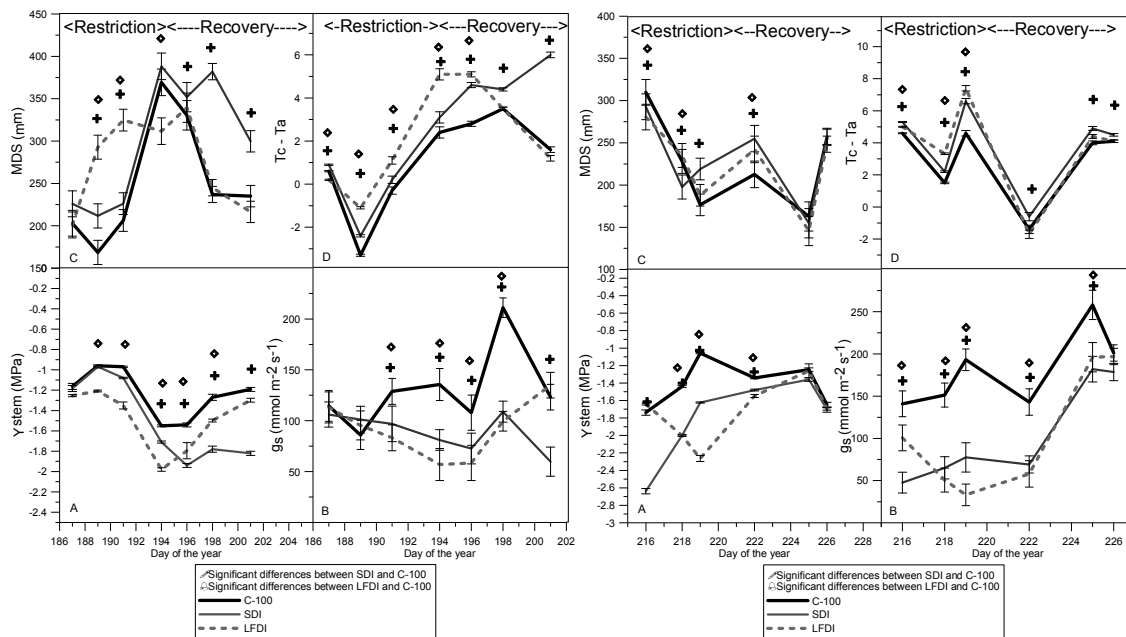


Figure 1. Trunk diameter fluctuations in each studied treatment during the irrigation period.

By taking into account the observed results for the cycle I the Ψ_{stem} , MDS, and ΔT were the most sensitive parameters, especially with significant differences respect to control trees after 48 hours of the first measurement, whereas g_s showed differences after 96 hours (Fig. 2). At beginning of the cycle II (Fig. 3), the SDI showed important and significant changes in relation to the control for all physiological parameters, being this treatment irrigated at 55% ET_C from 187 DOY. Also, during this cycle, between 217 and 226 DOY the SDI was irrigated at 100% of ET_C , which promoted a partial recovery of physiological parameters. On the other hand, LFDI started this second cycle with similar values of Ψ_{stem} with respect to control trees, although the remaining parameters were not completely reached its normal values. This could be presumably due to a progressive water stress accumulation along the entire studied period. Therefore, MDS and ΔT showed a high sensitivity to water stress in comparison to Ψ_{stem} and g_s .

Crop response was strongly affected by DI strategy. During cycle I, the first significant differences for Ψ_{stem} were observed in LFDI 48 hours after irrigation restriction, whereas for SDI, these differences was 144 hours after the first measurement. However, other physiological parameters such as MDS and ΔT registered significant differences in both DI treatments 48 hours after the first measurement. Ortuño et al. (2006) reported that MDS was more adequately for monitoring plant water status than other parameters such as Ψ_{stem} . Similar other authors have been reported that MDS respond sooner to water stress than other discrete variables, being a good indicator of crop transpiration when soil-water content is not strongly depleted (Goldhamer et al., 1999).

According to the results of the present study, the MDS and ΔT could be used as appropriate tools for monitoring the water status under water-stress situations, offering a good alternative for improving the irrigation scheduling for citrus orchards.



C-100, control at 100% ET_C; SDI, sustained deficit irrigation; LFDI, low frequency deficit irrigation

Figure 2. Temporal dynamics of Ψ_{stem} (A), g_s (B), MDS (C), and canopy-air temperature differential (Tc-Ta) (D) during cycle I.

Figure 3. Temporal dynamics of Ψ_{stem} (A), g_s (B), MDS (C), and canopy-air temperature differential (Tc-Ta) (D) during cycle II.

CONCLUSIONS

Canopy temperature and trunk diameter fluctuations were effective plant-based tools for water-stress approaches for characterization plant water status, offering continuously information about the water stress level under different deficit-irrigation treatments. In this sense, MDS and ΔT showed a strong sensitivity to water stress in 48 hours before than Ψ_{stem} or g_s . The combination of these techniques could be regarded for improvement the irrigation scheduling and yield performance in large orchards with high crop water stress variability.

Acknowledgements

This research work was sponsored by the following research project "Strategies for the improvement irrigation management under climate change. Integration of modeling techniques and deficit irrigation strategies; (RTA2008-00006-CO2-02) granted by INIA, Spain and cofinanced by FEDER funds (European Union).

LITERATURE CITED

- Fernández, J.E., Cuevas, M.V. (2010). *Agric. Forest Meteor.* 150, 131-151.
 García-Tejero, I., Jiménez-Bocanegra, J.A., Durán-zuazo, V.H., Romero-Vicente, R., Muriel-Fernández, J.L. (2010). *J. Agric. Sci. Tech.* 4, 38-44.
 Goldhamer, D.A., Fereres, E., Mata, M., Girona, J., Cohen, M. (1999). *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 124, 437-444.
 Jackson, R.D., Reginato, R.J., Idso, S.B. (1977). *Crop Soils* 29, 10-13.
 Ortuño, M.F., García, O.Y., Conejero, W., Ruiz, S.M.C. Alarcón, J.J., Torrecillas, A. (2006). *Trees*, 20, 1-8.
 Ortuño, M.F., Brito, J.J., Oreyana, G.Y., Conejero, W., Torrecillas, A. (2009). *Irrig. Sci.* 27, 121-127.
 Velez, J.E., intrigliolo, D.S., Castel, J.R. (2007). *Tree Physiol.*, 27, 81-88.

Turgor pressure-related measurements with the LPCP probe. An alternative to the use of the Scholander chamber?

Fernández, J.E.¹, Rüger, S.², Rodríguez-Domínguez, C.M.¹, Martín-Palomo, M.J.³, Torres-Ruiz, J.M.¹, Cuevas, M.V.¹, Ehrenberger, W.², Diaz-Espejo, A.¹, Perez-Martin, A.¹, Zimmermann, U.².

¹Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (IRNAS-CSIC), Apto. 1052, 41080-Sevilla, Spain

jefer@irnase.csic.es

²Lehrstuhl für Biotechnologie, Biozentrum, Universität Würzburg, Am Hubland, D-97094, Würzburg, Germany

³EUITA, Departamento de Ciencias Agroforestales, Carretera de Utrera Km. 1, 41013 Sevilla, Spain

ABSTRACT

Reliable monitoring of plant water stress is compulsory in fruit tree orchards where deficit irrigation is applied. The pressure chamber, widely used with that purpose, is time- and labour-consuming. We are evaluating the recently developed leaf patch clamp pressure (LPCP) probe, which provides turgor pressure related information, in a commercial super-high-density hedgerow olive tree orchard. With that purpose, we installed a number of LPCP probes in a randomized block design with three irrigation treatments, in which water status of the trees is frequently monitored with the pressure chamber. The LPCP probes are non-invasive and operate automatically and continuously. They are robust and sensitive, well adapted for working for long periods of time under field conditions. Probe signals, sent by mobile network to a database, are visualized in form of graphics and allow takeover of the data in personal evaluation software. Although the evaluation period (2010 irrigation season) has not finished yet, results obtained so far shows that the LPCP probes are able to sense effectively the trees water status. The technique requires little training, and it is certainly less time- and labor-consuming than the pressure chamber.

INTRODUCTION

The leaf patch clamp pressure (LPCP) probe is described elsewhere (Zimmermann et al., 2008). The probe measures the pressure transfer function of an intact leaf, i.e. the attenuation of an externally applied clamp pressure P_{clamp} (up to 380 kPa), generated by magnets. The pressure transfer through the leaf and thus the output leaf patch pressure, P_p , measured by the LPCP probe is inversely correlated with turgor pressure, P_c . At low P_c the attenuation of P_{clamp} by the leaf is less (i.e. P_p is high) than at high P_c (P_p is small). Zimmermann et al. (2008) showed that

$$P_p = \left(\frac{b}{aP_c + b} \right)^{\frac{1}{a}} F_a P_{clamp} \quad [1]$$

where a and b are leaf-specific elastic constants. F_a is a leaf-specific attenuation factor, which is related with the compression of the cuticle, cell walls and air-filled spaces. Its value can be determined by application of rapid pressure pulses. F_a is independent of P_c down to values of ca. 50 kPa. Close to the plasmolytic point, i.e. when the ratio of air-filled air spaces to water is high, F_a in Eq. 1 is no longer constant, i.e. the compression becomes the dominant factor, resulting in inverted diurnal P_p changes. The LPCP probe monitors relative changes in leaf turgor pressure or – after calibration against the cell turgor pressure probe (Zimmermann et al., 2004) – absolute changes in leaf turgor pressure. Using the LPCP probe, Zimmermann et al.

(2010) monitored turgor pressure changes in the large leaves of banana plants and reported that the probes provide information related not only to water status, but also to stomatal conductance, which increases the potential of the method further. The pressure chamber (Scholander, 1965) measures the balancing pressure, P_b , i.e. the external pressure at which water appears at the cut end of a leaf or twig kept at atmosphere. Values of P_b are usually in the MPa range, while P_p values range between ca. 5 kPa to ca. 200 kPa. The LPCP probe is a robust, relatively inexpensive, non-destructive, online-measuring instrument that can be used under field conditions for long periods of time (Westhoff et al., 2009). The pressure chamber is destructive and non-adapted for continuous, automatic readings. Still, it is widely used to monitor the plant water status.

The aim of this work was to assess whether the LPCP probe can be a suitable alternative to the pressure chamber to monitor plant water status in a commercial hedgerow 'Arbequina' olive tree orchard under deficit irrigation. A similar evaluation was made by Ben-Gal et al. (2010) for olive, but for 'Barnea' trees growing in lysimeters and for short-term drought stress.

MATERIAL AND METHODS

The experiments were made in a hedgerow olive orchard with 4-year-old 'Arbequina' trees at 4 m × 1.5 m (1667 trees/ha), located at 20 km to the west of Seville (37° 14' N, -5° 80' W). Average textural values in the rootzone are 85% sand, 4 % silt and 11% clay. Volumetric soil water contents (θ) are 0.18 m³ m⁻³ for field capacity (-0.03 MPa) and 0.05 m³ m⁻³ for wilting point (-1.5 MPa). From June 18th to late October three water treatments were imposed in a randomized block design with four 12 m × 16 m elemental plots per treatment. We had a control (100% ET_c) and two regulated deficit irrigation (RDI) strategies (60% and 20% ET_c) in which irrigation amounts (IA) were particularly low in July and August, when the trees are supposed to be most tolerant to drought. On April 26 one tree per plot from three plots per treatment was instrumented with two LPCP probes (ZIM Plant Technology, Henningsdorf, Germany), in the east and west side of the canopy. P_p values were transmitted every 5 min via a telemetry system to a control base station which logged and transferred the data to a GPRS modem linked to an Internet server. Calibration of the LPCP probes was made by short-term measurements of P_p and P_c on a ca. 0.5 m tall olive plant under laboratory conditions (T_a = 25 °C, RH = 50%, light intensity = 150 μmol/m² s). On June 23 and 24, P_b was measured from dawn to sunset every 1-2 hours, with a pressure chamber (PMS Instrument Company, Albany, Oregon, USA). Two leaves per tree from one tree per plot (n = 8) were sampled (4th-5th leaf from the apex of sunlit twigs at about 1.5-1.9 m above ground). A similar set of measurements is planned to be made in mid September, before the first rain events of the autumn. From the beginning of the experiment, both the leaf water potential at predawn (Ψ_{pd}) and the midday stem water potential (Ψ_{stem}) were measured in all treatments once every two weeks. θ values down to 1 m were measured in each plot 2-3 times per week.

RESULTS AND DISCUSSION

The calibration experiment made under laboratory conditions showed that P_p and P_c data points measured in parallel could be fitted quite well by Eq. 1 down to very low turgor pressure values, ca. 50 kPa (Fig. 1).

In the field the LPCP probes turned out to be very robust. By the time of writing this article, they had been operated for 5 months. Wind and dusk did not disturb them. Diurnal changes in the P_p values recorded on June 23 and 24 agreed to a reasonable level with diurnal changes in P_p values (Fig. 2). In some cases, such as in late afternoon on the 23rd and about noon on the 24th, the agreement was rather poor. The reason for this was presumably the limited accuracy of the spot measurements with the pressure chamber.

When the plant water stress increased due to soil water depletion, inversed P_p curves were recorded, indicating an unfavorable ratio of water to air in the leaf (i.e. F_a became the dominant factor, see above) (Fig. 3). This often occurred in the treatment 60% ET_c in July and August, when $\theta < 0.12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ in the rootzone (Figs. 3A,B). On July 29, close to the period shown in Fig. 3B, values of Ψ_{pd} and Ψ_{stem} in the 60% ET_c trees were $-1.58 \pm 0.15 \text{ MPa}$ and $-3.19 \pm 0.22 \text{ MPa}$ respectively, indicating severe water stress (values in the control trees were $\Psi_{pd} = -0.54 \pm 0.03 \text{ MPa}$ and $\Psi_{stem} = -1.46 \pm 0.04 \text{ MPa}$). After re-watering on August 23 (Fig. 3C) turgescence of the leaf cells was quickly re-established as evidenced by the P_p readings which exhibited again the normal diurnal changes as measured on the control plants. Measurements on August 26 showed $\Psi_{pd} = -0.96 \pm 0.11 \text{ MPa}$ and $\Psi_{stem} = -1.60 \pm 0.06 \text{ MPa}$ in the 60% ET_c trees, and $\Psi_{pd} = -0.51 \pm 0.06 \text{ MPa}$ and $\Psi_{stem} = -1.24 \pm 0.06 \text{ MPa}$ in the control trees. It seems, therefore, that the LPCP probe method worked well in our commercial super-high-intensity hedgerow olive orchard, except for the periods of severe water stress induced in mid summer by the chosen RDI strategy. For the rest of the growing period, in which the most critical phenological stages occur, the LPCP probes were able to sense effectively the trees water status, being much less labor- and time-consuming than the pressure chamber.

CONCLUSIONS

The LPCP probes are user-friendly and robust, being able to operate automatically and continuously under field conditions for long periods of time. They are sensitive sensors for monitoring the plant water status in commercial hedgerow olive tree orchards, where a good control of the tree water stress is required to be able to apply the recommended RDI strategies. Inversed P_p curves are recorded when the trees become severely stressed, but normal diurnal P_p values are recorded again soon after re-watering, when the turgescence of the leaf cells is re-established. We conclude that the LPCP probe is an advantageous alternative to the pressure chamber for monitoring tree water status in hedgerow olive tree orchards.

ACKNOWLEDGEMENTS

This experiment was funded by the Spanish Ministry of Science and Innovation, research project AGL2009-11310/AGR.

REFERENCES

- Ben-Gal et al. 2010. Whole-tree water balance... *Agr Wat Manage*. In press
- Scholander et al. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148: 339-346.
- Westhoff et al. 2009. A non-invasive probe for... *Plant Biology* 11: 701-712.
- Zimmermann et al. 2004. Water ascent in tall... *New Phytol* 162: 575-615.
- Zimmermann et al. 2008. A novel, non-invasive, ... *J Exp Bot* 59: 3157-3167.
- Zimmermann et al. 2010. Effects of environmental... *Plant Biology* 12: 424-436.

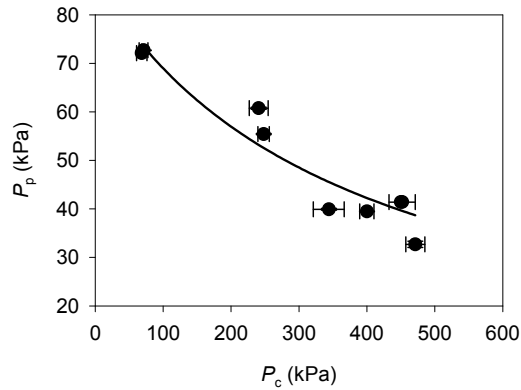


Figure 1. Calibration of the leaf patch clamp pressure (P_p) by short-term measurements of cell turgor pressure (P_c). (P_c : each data point is an average turgor pressure value from a 2 to 5-min measurement \pm SD; P_p : at least 3 measuring points within the measuring period of the direct cell turgor probe \pm SD). Data were fitted by Eq. 1 with $F_a = 0.25$, $P_{\text{clamp}} = 348$ kPa, $a = 1.0$, $b = 374$ kPa; $R^2 = 0.89$.

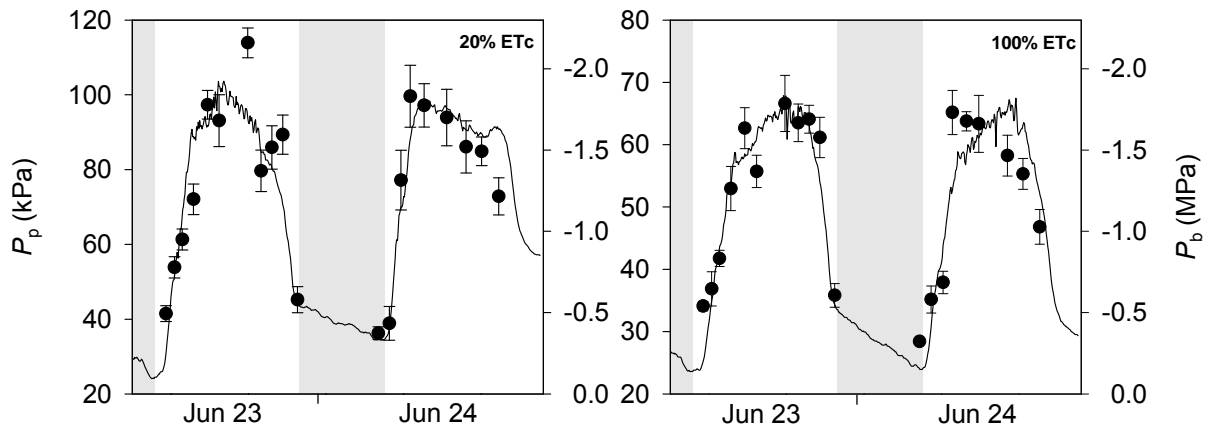


Figure 2. Comparison of diurnal leaf patch clamp pressure (P_p , one single probe) and pressure chamber (P_b , $n = 8 \pm$ SE) measurements made in representative trees of the 20% ET_c (left) and 100% ET_c (right) treatments. The shaded periods indicate nocturnal hours.

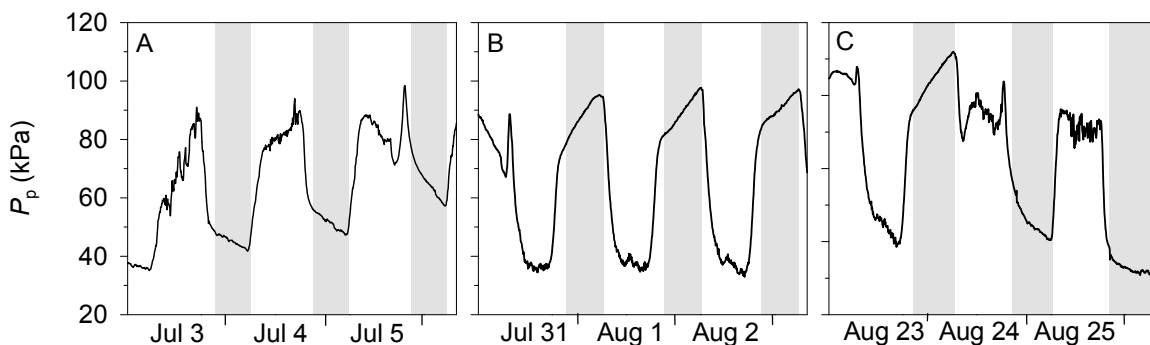


Figure 3. Data from a single LCP probe placed on a leaf of the west side of the canopy of a 60% ET_c tree. Figure A shows the first evidence of inversion in the P_p diurnal curve (peak in the afternoon of July 5th), caused by the increasing plant water stress (turgor pressure extremely low). Figure B shows inverted diurnal P_p curves, typical of severe stress conditions. Fig. 3 shows the transition from inverted diurnal P_p curves to normal curves after increasing the irrigation amounts from August 23. The shaded periods indicate nocturnal hours.

Sesión 6. Uso eficiente del agua.

Moderadores:

Félix Moreno (IRNAS-CSIC, España)
y M^a Fernanda Ortuño (CEBAS-CSIC,
España)

Estrategias de riego deficitario controlado en nectarino extratemprano

de la Rosa JM, Conesa MR, Domingo R, Pagán E, Corbalán M, Pérez-Pastor A.

Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT). Dpto. Producción Vegetal. Paseo Alfonso XIII, 48. 30203. Cartagena (Murcia).

alex.perez-pastor@upct.es

ABSTRACT

El ensayo se realizó durante un ciclo anual de crecimiento (2009/10), en nectarinos extra tempranos cv Viowhite. Se establecieron tres tratamientos de riego: i) Control (T_{CTL}), regado al 120% de la evapotranspiración máxima del cultivo (ETc); ii) Finca (T_{FINC}), regado según el criterio del agricultor y iii) Riego deficitario controlado (T_{RDC}), regado como T_{CTL} durante todo el ciclo excepto en el período poscosecha final (a partir de un mes tras la cosecha) que fue al 70% ETc y en la fase I y II de crecimiento del fruto que al 80% ETc. El volumen de agua aportado a T_{CTL} ascendió a $6586 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, mientras tanto T_{FINC} recibió un 15% más. La reducción del agua aportada en T_{RDC} indujo un ahorro de agua del 20% y 31% con respecto a T_{CTL} y T_{FINC} , respectivamente, sin mermas en los principales parámetros productivos (rendimiento y número de frutos por árbol), ni en la calidad físico-química del fruto (diámetro ecuatorial, peso fresco, firmeza, sólidos solubles, acidez e índice de madurez). Los indicadores del estado hídrico estudiados (Máxima contracción diaria del tronco, MCD; tasa de crecimiento diario del tronco, TCD; potencial hídrico de tallo a mediodía, Ψ_t ; conductancia estomática, gl; y fotosíntesis neta, Fn) presentaron cierta sensibilidad al déficit hídrico aplicado, siendo notablemente superior en el caso de MCD y Ψ_t .

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la demanda hídrica en las comunidades de regantes del Sureste español supera a la oferta de agua por lo que existe déficit hídrico. Este hecho obliga a los agricultores a realizar un buen uso del agua de riego. Para la elaboración de una correcta programación del riego existen diferentes metodologías que permiten conocer las necesidades hídricas de los árboles a satisfacer a lo largo de su ciclo de cultivo. Sin embargo, no siempre los mayores beneficios económicos y agronómicos se obtienen cuando el riego cubre completamente dichas necesidades. En este sentido, existe lo que se conoce como “estrategias de riego deficitario controlado” (Mitchell et al 1984), en las que se plantea someter a los árboles a un déficit hídrico controlado en determinados momentos fenológicos, de forma que sin comprometer el valor final de la cosecha se consigan algunos beneficios adicionales en la calidad.

El objetivo de este trabajo fue evaluar una estrategia de riego deficitario controlado en nectarinos extra tempranos, a partir de las relaciones hídricas del cultivo, crecimiento vegetativo y en la producción y calidad de la cosecha.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante un ciclo anual del cultivo (2009/10), en una explotación frutícola ($38^{\circ} 8' \text{ N}$; $1^{\circ} 13' \text{ W}$) ubicada en el término municipal de Molina de Segura (Murcia). Los árboles de 7 años de edad y situados a un marco de plantación de $6 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}$ se regaron bajo un sistema de riego localizado con 2 laterales por hilera de árboles y 10 emisores por árbol de $1,7 \text{ L h}^{-1}$,

Se ensayaron tres tratamientos de riego: i) Control (T_{CTL}), regado al 120% de la evapotranspiración máxima del cultivo (ET_c); ii) Finca (T_{FINC}), regado según el criterio del agricultor y iii) Riego deficitario

controlado (T_{RDC}), regado como T_{CTL} durante todo el ciclo excepto en el período poscosecha final (a partir de un mes tras la cosecha) que fue al 70% ET_c y en la fase I y II de crecimiento del fruto que al 80% ET_c . El volumen de agua aplicada se controló con contadores. El agua de riego procedente de pozo y/o de trasvase Tajo-Segura, según la disponibilidad, presentó conductividad eléctrica que osciló entre 1,7 $dS\ m^{-1}$ y 2,5 $dS\ m^{-1}$. El diseño estadístico consistió en bloques al azar con cuatro repeticiones por tratamiento de 40 árboles cada una. Las variables climáticas se obtuvieron de una estación climática situada en la parcela experimental. Las medidas realizadas fueron: Fluctuación del diámetro de tronco (FDT) a partir de 6 sensores LVDT colocados en el tronco a 30 cm de altura del suelo, de ésta se obtuvieron (Goldhamer y Fereres, 2001) el máximo y mínimo crecimiento diario del diámetro del tronco (MXTD y MNTD), la máxima contracción diaria del tronco (MCD), obtenido de la diferencia entre MXTD y MNTD y la tasa de crecimiento diario del tronco (TCD), de la diferencia entre el valor de MXTD en dos días consecutivos; potencial hídrico de tallo a mediodía (Ψ_t), con cámara de presión en hojas adultas, sanas y próximas al tronco (Hsiao, 1990) en árboles equipados con sensores; conteo de flores, frutos cuajados y frutos recolectados en 4 ramas marcadas por repetición; diámetro del fruto con calibre digital en 30 nectarinas por repetición.

La producción se evaluó en los 5 cortes efectuados a partir del peso y número de frutos por árbol en 15 árboles por repetición. Se contabilizó la incidencia del régimen de riego en el agrietado de los frutos. La calidad de la producción se determinó en 15 frutos por repetición y corte a partir de características físicas (color, dureza y porcentaje de peso seco) y químicas (acidez, pH y sólidos disueltos totales).

RESULTADOS

T_{CTL} presentó un Ψ_t medio de -0,8 MPa durante todo el ciclo, con valores mínimos en torno a -1,1 MPa (Figura 1A), lo que es característico de árboles bien regados (Pérez-Pastor et al., 2009). El valor máximo de Ψ_t osciló en torno a -0,4 MPa, alcanzado en los tres tratamientos durante la primavera. A partir de junio se produjo un descenso continuado hasta alcanzar el mínimo anual en agosto (\approx -1,1 MPa) en los tratamientos T_{CTL} y T_{FINC} , coincidiendo con los valores más bajos del potencial matricial del agua en el suelo (Ψ_m) en las dos profundidades estudiadas (Datos no mostrados). A partir de septiembre, coincidiendo con las primeras lluvias otoñales y el descenso de la demanda evapotranspirativa, Ψ_t se incrementó hasta valores en torno a -0,7 MPa (Figura 1A). T_{FINC} presentó valores similares a T_{CTL} excepto a partir de septiembre que fueron superiores probablemente debido a la mayor dosis de riego a la que se sometió este tratamiento. T_{RDC} presentó unos valores similares a los otros dos tratamientos durante todo el año excepto en el período poscosecha, cuando presentó su valor más bajo (\approx -1,75 MPa), siendo éste moderado (Ruiz-Sánchez et al., 2000). Sus valores fueron menores a T_{CTL} y T_{FINC} durante este período hasta que las precipitaciones del mes de septiembre los igualaron (Figura 1A). Las máximas diferencias alcanzadas fueron de 0,51 y 0,75 MPa con respecto a T_{CTL} y T_{FINC} , respectivamente.

MCD alcanzó sus valores máximos (entre 450 y 600 μm) entre julio y agosto y sus mínimos, cercanos a 0, a partir de noviembre durante la parada invernal (Figura 1B). T_{CTL} y T_{FINC} presentaron sus valores máximos en torno a 450 μm en verano, lo que es característico de árboles bien regados (Ortuño et al., 2010). T_{FINC} mostró valores inferiores al control en

septiembre, período en el que Ψ_t presentó valores más altos. Los árboles de T_{RDC} aumentaron rápidamente sus valores de MCD con la aplicación del déficit, siendo superiores a los otros dos tratamientos durante la mayor parte del período poscosecha (Figura 1B). En la Figura 1C se observa la evolución de TCD en cada tratamiento, distinguiéndose en marzo una tasa de $30 \mu\text{m d}^{-1}$, coincidiendo con la emisión de las nuevas hojas, una ralentización en la fase III del crecimiento del fruto y un nuevo crecimiento, con tasas en torno a $100 \mu\text{m d}^{-1}$, durante el mes de junio (Figura 1C). A partir de este instante TCD fue disminuyendo hasta hacerse nulo a finales de octubre (Figura 1C). T_{RDC} mostró los valores más bajos en poscosecha, aunque los días en que estas diferencias fueron significativas fueron menores que con los otros indicadores anteriormente descritos. TCD es un buen indicador del estado hídrico de la planta (Nortes et al., 2005).

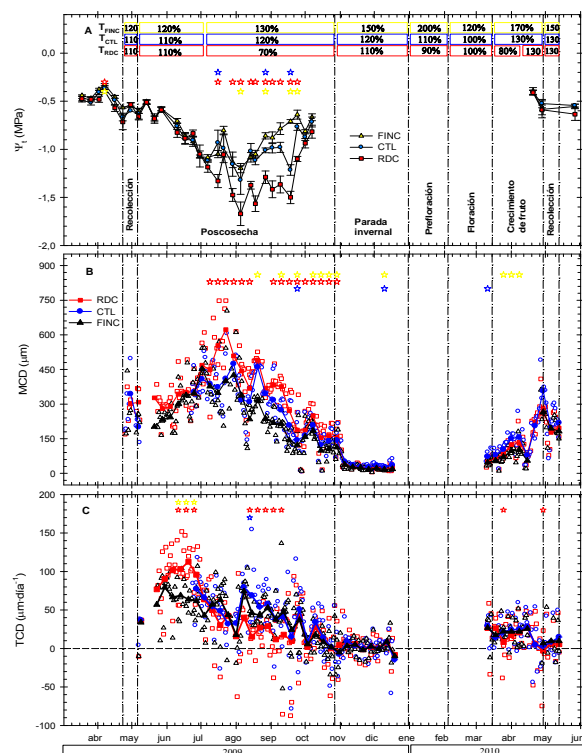


Figura 1.- Evolución estacional del potencial hídrico de tallo (Ψ_t) a mediodía (A), de la máxima contracción diaria de tronco (MCD) (B), de la tasa de crecimiento diaria del diámetro de tronco (TCD) (C). La tabla superior indica los porcentajes de agua aplicada respecto a la ET_c para cada tratamiento y en cada período. Las líneas discontinuas distinguen las fases fenológicas del cultivo.

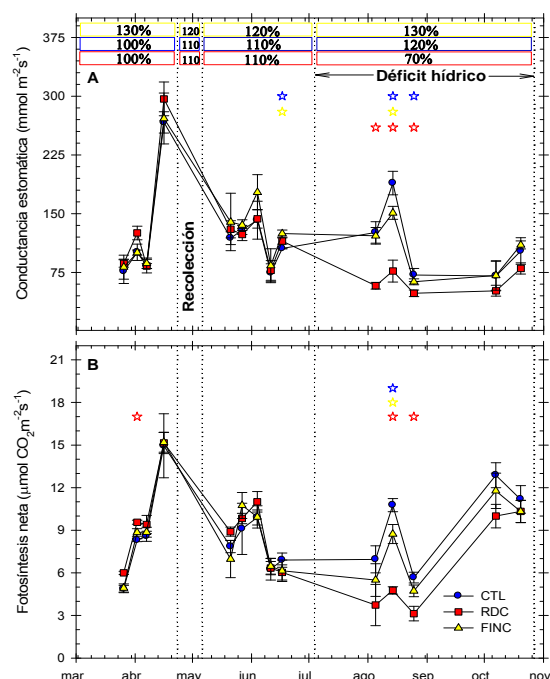


Figura 2.- Evolución estacional de la conductancia estomática (A) y de la fotosíntesis neta (B) en nectarinos extratempranos para los tres tratamientos de riego ensayados. Se muestra el momento de la recolección y de la aplicación del déficit hídrico en el tratamiento RDC. Los asteriscos indican la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos.

Se puede observar un comportamiento similar en la conductancia estomática y en la fotosíntesis neta, coincidiendo sus valores máximos en primavera ($300 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y $15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente), antes de la recolección, debido a la capacidad transpirativa y fotosintética de las hojas jóvenes y a la demanda de los frutos. Tras la recolección tanto conductancia como fotosíntesis disminuyeron sus valores sensiblemente, con numerosos altibajos relacionados con las condiciones climáticas del día de medida (Figura 2). T_{RDC} presentó antes de iniciarse el déficit valores similares a los otros dos tratamientos, mientras que durante el período de déficit ambas variables mostraron una reducción significativa de sus valores, siendo ésta mayor durante el mes de agosto (Figura 2). De esta forma los nectarinos respondieron ante un estrés hídrico moderado ($\Psi_t \approx -1,5 \text{ MPa}$) con una regulación estomática,

mecanismo de evitación al estrés cuyo objetivo es limitar las pérdidas de agua vía transpiración (Ruiz-Sánchez et al., 2000).

A pesar de ser considerado un parámetro sensible al déficit hídrico (Hsiao, 1973), la longitud de los brotes no experimentó diferencias entre tratamientos, debido a que el déficit en T_{RDC} se aplicó con posterioridad al cese de su crecimiento. El déficit hídrico aplicado en T_{RDC} en las fases I y II no indujeron diferencias significativas en el crecimiento del fruto, posiblemente debido a la baja demanda evaporativa de ese período que no produjo un agotamiento del agua en el suelo (datos no mostrados).

La producción media en T_{CTL} y T_{FINC} fue de 40,1 kg árbol⁻¹ y 34,1 kg árbol⁻¹, respectivamente, siendo no significativa esta diferencia (Tabla 1). En cuanto al número de frutos por árbol osciló entre 487 y 429 frutos árbol⁻¹. T_{FINC} presentó una mayor tendencia a que los frutos presentaran grietas tras la recolección, pero sin diferencias significativas entre tratamientos. La reducción del agua aportada en T_{RDC} indujo un ahorro de agua del 20% y 31% con respecto a T_{CTL} y T_{FINC} , respectivamente, sin mermas en los principales parámetros productivos (kg·ha⁻¹, número de nectarinas por árbol y tamaño del fruto), además presentó la eficiencia en el uso de agua de riego más elevada con un valor de 3,2 kg m⁻³ (Tabla 1).

Tabla 1.- Número de flores, aclareo realizado, producción, número de frutos por árbol, porcentaje de frutos agrietados en nectarinos extratempranos para los 3 tratamientos de riego ensayados.

	Flores (Flores·m ⁻¹)	Aclareo (%)	Frutos ·árb ⁻¹	Rto (Kg/ha)	Agua aplicada (m ³ /ha)	EUA (Kg/m ³)
CTL	42	83%	487	19095	6586	2,9
RDC	43	82%	452	16523	5237	3,2
FINC	44	85%	429	16238	7594	2,1
ANOVA	ns	ns	ns	ns		

El efecto de los tratamientos de riego sobre las características físicas (peso, diámetro y firmeza) y químicas (Sólidos solubles, acidez e índice de madurez) de los frutos procedentes de los 5 cortes de la recolección no fue significativo (Tabla 2).

Tabla 2.- Características físico-químicas del nectarino evaluadas en la recolección.

	Rajados (%)	P fruto (g)	DE (mm)	°Brix (%)	Acidez (mg/l)	IM	Firmeza (kg/0,5cm ²)
CTL	8,6	82,9	55,8	9,4	11,2	8,4	5,8
RDC	8,7	77,6	54,4	9,5	11,4	8,3	5,8
FINC	13,0	79,7	55,0	9,2	11,3	8,1	5,9
ANOVA	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

CONCLUSIONES

El tratamiento de riego deficitario controlado ensayado indujo un déficit hídrico moderado al nectarino. El potencial hídrico de tallo a mediodía y la máxima contracción diaria del tronco han mostrado ser indicadores sensibles del estado hídrico del nectarino, y podrían ser utilizados en la programación del riego. La reducción del agua aportada en T_{RDC} indujo un ahorro de agua del 20% y 31% con respecto a T_{CTL} y T_{FINC} , respectivamente, sin mermas en los principales parámetros productivos (rendimiento y número de frutos por árbol), ni en la calidad físico-química del fruto (diámetro ecuatorial, peso fresco, firmeza, sólidos solubles, acidez e índice de madurez).

BIBLIOGRAFIA

- Goldhamer, y Fereres, E. 2001. Irrig. Sci. 20, 115–125.
 Hsiao, T.C. 1973. Ann. Rev. Plant Physiol. 24: 519-570.
 Hsiao, T.C. 1990. American Society of Agronomy. Madison, Wis., p 243-279.
 Mitchell et al 1984. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109: 604-606
 Nortes, P.A., et al. 2005. Agricultural Water Management, 77 (1-3): 296-307.
 Ortuño, et al. 2010 Agricultural Water Management 97: 1–11.
 Ruiz-Sánchez et al., 2000. Plan Science 156: 245-251

Mejorar la eficiencia en el uso del agua, un reto para la Ecofisiología y la Biotecnología

Medrano H.; Pou A.; Tomàs M.; Martorell S.; Escalona, JM.; Gulias, J.; and Flexas J.

Grupo de Investigación en Biología de les Plantes en Condicions Mediterrànies, Departament de Biologia, Universitat de les Illes Balears Carretera de Valldemossa Km 7.5, 07122 Palma de Mallorca (Balears), España.
hipolito.medrano@uib.es

El principal uso del agua dulce disponible es la producción de alimentos, y la escasez de este recurso está comprometiendo a un plazo medio la capacidad de alimentar una población humana creciente. Este problema parece agravarse para muchas zonas agrícolas de acuerdo con las predicciones del Cambio Climático, por lo que los conflictos por la disponibilidad y uso del agua (agrícola vs. otros usos) aumenta. La huella ecológica del agua, un concepto reciente, está empezando a valorarse para cualificar la sostenibilidad de la producción agrícola, y su utilización “comercial” puede afectar amplias zonas de horticultura intensiva. La determinación y mejora de la eficiencia en el uso del agua (EUA) puede resultar crucial no sólo para asegurar la sostenibilidad de los cultivos sino para asegurar su competitividad.

La dependencia de la producción agrícola respecto a la disponibilidad de agua se refleja en las relaciones fotosíntesis vs. conductancia estomática, (A_N vs. g_s) y esa relación permite visualizar dos grandes vías de mejora de la EUA: Reducir el gasto de agua con pérdidas menores de producción (reducir g_s), o bien, aumentar la producción para similares gastos de agua (aumentar A_N).

Dentro de la primera vía se valoran los efectos de incrementar la retención y capacidad de uso de agua de lluvia (agua “verde”) y la contención, mediante criterios ecofisiológicos del volumen de riego (agua “azul”). Respecto a la segunda vía, se muestra el interés de aportaciones recientes de nuestro grupo que pueden conducir a mejoras de la difusión del CO₂ en el mesófilo y a mejoras de la carboxilación en el cloroplasto. La aplicación de modelos de fotosíntesis conocidos permite valorar el interés de estas aportaciones a la mejora de la EUA y proponerlas como vías a explorar en una aventura conjunta de la Biotecnología y la Ecofisiología.

Sequía extrema en melocotonero: Efectos en la calidad del fruto

López, G., Girona, J., Marsal, J.

Tecnología del Riego, Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA-Lleida). Rovira Roure 191. 25198 Lleida. España.

gerardo.lopez@irta.es

ABSTRACT

Irrigation withholding during the final stage of peach fruit growth was studied to understand the effects of irrigation water shortages on fruit quality. Two irrigation treatments were applied in two consecutive seasons in a 'O'Henry' peach orchard: full irrigation (FI) and no irrigation (NI) during stage III of fruit development. At harvest, fruit size, skin color, firmness (FF) and dry matter concentration was evaluated. Peach juice was obtained to determine its soluble solid concentration (SSC), titratable acidity (TA) and electrical conductivity (EC). NI trees reduced fruit size at harvest and increased its relative dry matter content in comparison with FI trees. NI trees were harvested 5-10 days later than those from FI trees. Maturity indices such as FF and skin color indicated a delay in fruit maturation in NI trees. Although NI trees had higher SSC and TA values than FI trees, severe water stress did not improve the SSC/TA ratio, which is the fruit quality parameter that is ultimately most closely related with consumer acceptance of peaches. Moreover, water stress increased fruit astringency with a somewhat salty flavor that may have been related with an increase in EC of the juice. When the irrigation season cannot be completed successfully because of drought, peach fruit trees could present: (i) limitations in fruit size, (ii) delays in fruit maturation, and (iii) a low-quality harvest. All these factors will make it difficult to market the fruit successfully. Water stress also increased the number of fruit doubles the following year.

INTRODUCCIÓN

Un estrés hídrico moderado durante la fase final de crecimiento del melocotón (fase III) tiene efectos positivos en algunas características organolépticas apreciadas durante su consumo (Mercier et al., 2009). En manzano y peral también se han descrito numerosas mejoras (Behboudian et al., 2011). Sin embargo, si el estrés hídrico es severo, la calidad del fruto podría verse deteriorada. Frutos de la variedad de melocotonero 'Elberta' sometidos a un evento de sequía detuvieron su desarrollo, no produjeron coloraciones rojizas características de la variedad y presentaron sabores astringentes (Proebsting y Middleton, 1980). Las afirmaciones anteriores se realizaron sin presentar parámetros cuantitativos y no existen estudios similares en la literatura. Todo ello limita la comprensión de las respuestas de la calidad del melocotón a un estrés hídrico severo. En el presente estudio se evalúa el efecto de un estrés hídrico severo en la calidad del melocotón.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante dos años (2003 y 2004) en una parcela comercial de melocotonero 'O'Henry' situada en Huesca. Los árboles presentaron cargas comerciales (325 y 200 frutos/árbol en el año 2003 y 2004, respectivamente). El riego comercial (goteo) reemplazó

la evapotranspiración del cultivo. Se aplicaron dos tratamientos de riego: (i) riego comercial durante toda la campaña y (ii) restricción de riego. Al inicio de la fase III (7 Julio 2003 y 13 Julio 2004) se cortó el riego de los árboles hasta la cosecha. Para cada tratamiento de riego se identificaron seis parcelas elementales formadas por tres filas de cinco árboles.

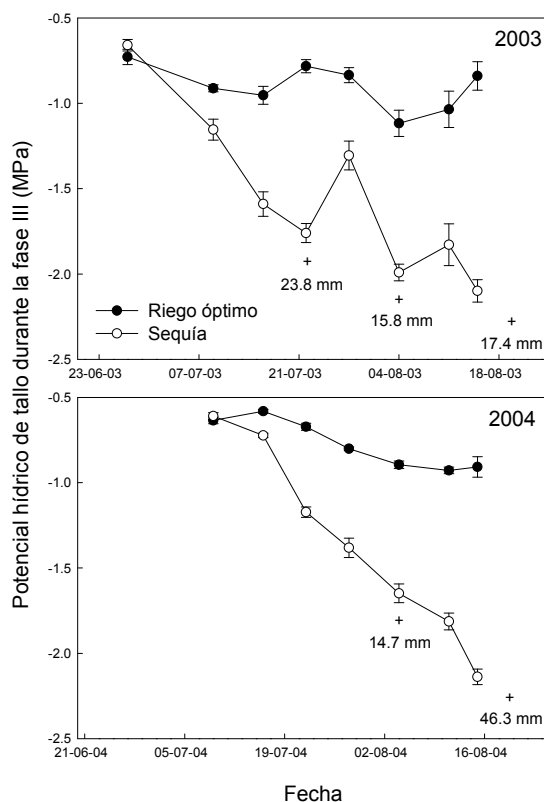
Se determinó semanalmente el potencial hídrico de tallo al mediodía solar con una cámara de presión. La cosecha se realizó en dos pasadas en el año 2003 (22 y 27 de Agosto) y tres en el 2004 (24 y 31 de Agosto y 3 de Septiembre). Se determinó el número y el peso total de los frutos cosechados por árbol. Durante la primera cosecha se seleccionaron seis frutos por árbol y se determinó su peso, calibre, coloración de la piel y la firmeza de la pulpa. Se obtuvo un jugo con los seis frutos muestreados por árbol y se determinó la concentración de sólidos solubles, la acidez titulable y su conductividad eléctrica. Otra muestra de 24 frutos por árbol se utilizó para calcular la concentración de agua del fruto.

Se determinó el efecto del estrés hídrico en la formación de frutos dobles en el año siguiente. Durante la floración del año 2005 se seleccionaron y etiquetaron cuatro ramos mixtos por árbol. Una vez producido el cuajado de frutos se contó el número total de frutos por ramo mixto y el número total de frutos dobles por ramo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la fase III, los árboles regados con las dosis óptimas recibieron 297 mm de agua en el año 2003 y 177 mm en el 2004. Dichos árboles no presentaron ningún síntoma de estrés hídrico (Figura 1). Árboles sometidos a un corte de riego durante la fase III presentaron síntomas de estrés hídrico severo (Figura 1).

Figura 1. Evolución estacional del potencial hídrico de tallo al mediodía solar durante la fase III. En los árboles sometidos a un evento de sequía los árboles recibieron algunos riegos puntuales (+) para garantizar la supervivencia del árbol. Cada valor representa el valor promedio de 18 árboles.



El estrés hídrico limitó notablemente el tamaño final del fruto (Tabla 1) disminuyendo la productividad de los árboles. Frutos procedentes de árboles sin regar eran más firmes y presentaban una coloración rojiza menos intensa que frutos de árboles control (Tabla 1), indicando un retraso en la maduración. En muchas ocasiones los frutos de árboles sometidos al corte de riego no alcanzaron la madurez comercial, impidiendo su comercialización. Frutos de árboles sometidos al evento de sequía presentaron un menor contenido de agua que frutos de árboles control (Tabla 1), fenómeno que podría ser percibido

negativamente por los consumidores. Frutos estresados aumentaron la concentración de sólidos solubles, parámetro relacionado con el dulzor del fruto. Sin embargo, la acidez de dichos frutos también se aumentó considerablemente y no se encontraron diferencias significativas en el ratio sólidos solubles/acidez (Tabla 1). El ratio anterior está relacionado con la percepción gustativa del consumidor. Cuanto mayor es el ratio, mayor es la aceptación del producto (Crisosto et al., 2006). Por tanto, si tenemos en cuenta el ratio, no se podría decir que los frutos sometidos a un evento de sequía fueran mejores ni peores que frutos procedentes de árboles regados deficitariamente. Sin embargo una serie de catas indicaron que los frutos sometidos a sequía eran astringentes y carecían del sabor característico de la variedad 'O'Henry'. La ausencia de jugosidad y una mayor concentración de solutos explicada por una mayor conductividad eléctrica del jugo podrían ser las causantes de sensaciones desagradables al consumir la fruta.

Tabla 1. Efecto de los tratamientos de riego en la calidad del fruto en cosecha. Para cada año, letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas ($P < 0.05$, test de Duncan).

Parámetros de calidad	2003		2004	
	Riego óptimo	Sequía	Riego óptimo	Sequía
<i>Tamaño del fruto</i>				
Peso fresco (g)	175.1a	116.4b	214.3a	130.3b
Diámetro (mm)	71.3a	61.9b	76.5a	64.1b
<i>Índices de maduración</i>				
Firmeza pulpa (N)	16.2b	28.2a	58.8a	67.5b
Coloración piel ⁺				
Cara iluminada (tono°)	40.6a	49.9b	57.4a	58.5a
Cara sombreada (tono°)	47.3a	65.4b	69.5a	70.8b
<i>Calidad organoléptica</i>				
Jugosidad (% agua)	83.8a	80.3b	85.2a	82.9b
Concentración sólidos solubles (°Brix)	12.5b	16.3a	13.7b	16.6a
Acidez (g ácido málico/l)	5.4b	7.5a	8.7b	10.1a
Ratio sólidos solubles/acidez	2.3a	2.2a	1.6a	1.6a
Conductividad eléctrica (dS/m)	3.1b	3.8a	2.8b	3.2a

⁺ cuanto más cerca del 0° se encuentran los valores de tono, más rojo es el fruto; cuanto más cerca de 90°, más amarillo es el fruto.

Los efectos negativos del estrés también se manifestaron a largo plazo. El déficit hídrico impuesto durante la fase III aumentó la producción de frutos dobles al año siguiente (Figura 2). El aumento en el % de frutos dobles hizo que el aclareo de frutos en árboles sometidos a sequía fuera más selectivo, aumentando el coste de dicha práctica cultural.

Cuando no se puede completar la campaña de riego en melocotonero sus frutos presentan: (i) calibres inferiores a los comerciales, (ii) dificultades para alcanzar la maduración comercial y (iii) una calidad deficiente. Todo ello dificulta su

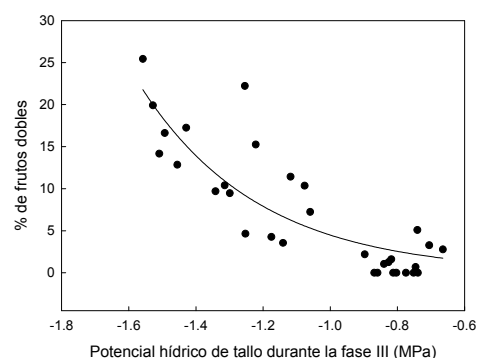


Figura 2. Relación entre el potencial hídrico de tallo medido durante la fase III del año 2004 y el % de flores dobles en el año 2005. Cada valor representa el valor promedio de un árbol.

comercialización. Un aclareo de frutos en el momento en el que se produce el corte de riego aumentaría los calibres finales y la producción comercial (Lopez et al., 2008). Para mejorar la calidad del fruto, el aclareo debería anticiparse al corte de riego (Lopez et al., 2010). Los efectos del estrés hídrico también se manifestaron a largo plazo, con un aumento de frutos dobles.

AGRADECIMIENTOS

El estudio fue financiado por el MCyT (AGL2002-00569). Se agradece la ayuda del Ministerio de Ciencia e Innovación (proyecto AGL-2009-10237) para evaluar los efectos de la sequía en la calidad del melocotón.

BIBLIOGRAFÍA

- Behboudian, M.H., Marsal, J., Girona, J. Lopez, G. (2011). *Horticultural Reviews* 48, 149-189.
- Crisosto, C.H., Crisosto, G. Neri, F. (2006). *Acta Horticulturae* 712, 183-189.
- Lopez, G., Mata, M., Arbones, A., Solans J.R., Girona, J., Marsal, J. (2006). *Tree Physiology* 26, 469-477.
- Lopez, G., Behboudian, M.H., Vallverdu, X., Mata, M., Girona, J., Marsal, J. (2010). *Scientia Horticulturae* 125, 294-300.
- Mercier, V., Bussi, C., Lescourret, F., Genard M. (2009). *Irrigation Science* 27, 297-306.
- Proebsting E.L., Middleton J.E. (1980) *Journal of the American Society for Horticultural Science* 105, 380-385.

Estudio de caracteres de resistencia a la sequía en *Vicia sativa* L.

E.F. de Andrés, F.J. Sánchez, E. Zambrana, C. Cadórniga, J.L. Tenorio.

INIA, Dpto. Medio Ambiente, Crta. de La Coruña Km. 7,5, 28040- Madrid.

parlorio@inia.es

ABSTRACT

In this work different traits (epicuticular wax content, residual transpiration, relative water content, specific weight, and SPAD index), previously associated with the tolerance to the drought in vetch, have been evaluated in different water conditions. Accessions showed high epicuticular wax content, high SPAD index and high values of specific leaf weight seem to respond better to the drought conditions, and these can be an interesting departure material in breeding programs.

INTRODUCCIÓN

La veza común (*Vicia sativa* L.) es una importante leguminosa forrajera anual que tiene un doble aprovechamiento, como pienso o forraje, y se siembra en monocultivo o en cultivo asociado con cereales, principalmente avena. El cultivo de la veza es muy interesante en una agricultura de bajos insumos y respetuosa con el medio ambiente. Así, el uso de leguminosas, como la veza, en las rotaciones de cultivos es una de las prácticas agrícolas más antiguas, fundamentalmente para el mantenimiento de la fertilidad del suelo y mejora de las propiedades del suelo (físicas, químicas y biológicas). Además, esta práctica en condiciones semiáridas da como resultado una mejor eficiencia en el uso del agua y en la producción de otros cultivos. Unos de los objetivos de la mejora de veza son la búsqueda de líneas alta tolerancia a condiciones ambientales adversas, principalmente sequía. El Centro de Recursos Fitogenéticos (CRF) del INIA conserva y mantiene la colección activa española de *Vicia sativa* L., con una alta variedad de variedades locales únicas, siendo la falta de información uno de los argumentos por los que se justifica el poco uso de las colecciones de recursos fitogenéticos. La caracterización y evaluación de la colección de vezas son el punto de partida para medir la variabilidad genética, y para la búsqueda de genes de resistencia en estas variedades locales, necesarios para el proceso de mejora de las variedades cultivadas.

En los últimos años se han publicado distintos estudios sobre caracterización de distintas variedades de veza, pero son muy pocos los relacionados con la resistencia a la sequía de esta especie. El objetivo de este trabajo ha sido evaluar distintos caracteres relacionados con la tolerancia a la sequía (ceras epicuticulares, transpiración residual, contenido hídrico relativo, peso específico e índice SPAD) que se habían seleccionado en estudios previos (de Andrés et al., 2008), en una selección de variedades de la colección activa española de *Vicia sativa* L. que se conserva en el CRF-INIA. Las accesiones que muestren un alto nivel de expresión de estos caracteres pueden ser un interesante material de partida en programas de mejora.

MATERIAL Y MÉTODOS

Durante las campañas 2008-09 y 2009-10 se evaluaron distintos caracteres asociados con la tolerancia a la sequía en una selección de 12 accesiones, de la colección activa

española de *Vicia sativa* L. que se conserva en el Centro de Recursos Fitogenéticos (CRF) del INIA, que mostraron alta variabilidad en los caracteres estudiados en la temporada 2007-2008 (de Andrés et al., 2008). Los ensayos se realizaron en la finca experimental “La Canaleja” del INIA en Alcalá de Henares (Madrid). La veza se sembró en parcelas de 1.2 x 15 m a una densidad de siembra de 150 semillas/m². A partir de finales de marzo, la mitad de cada parcela estuvo en condiciones de riego (R) y la otra mitad en no riego (S), y además, en 4 accesiones se crecieron en unas condiciones de sequía en las que desde finales de marzo se les suprimió el agua de lluvia (siembra en refugio antilluvia, R-A).

Cuando las plantas de cada accesión estuvieron al 50% de floración, se tomaron muestras de la primera hoja completamente expandida para determinar la transpiración residual (McCaig & Romagosa, 1989), el contenido en ceras epicuticulares por reacción con dicromato potásico (Ebercom et al., 1977), el contenido hídrico relativo, el peso específico (PE = Peso Seco/superficie) y el índice SPAD. Al final del ciclo del cultivo se tomaron muestras para calcular el rendimiento en semilla y componentes del rendimiento (número de vainas, longitud de las vainas, número de semillas por vaina y el peso de 100 semillas).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Se ha observado una alta variabilidad en los caracteres estudiados entre las distintas accesiones de veza (figura 1).

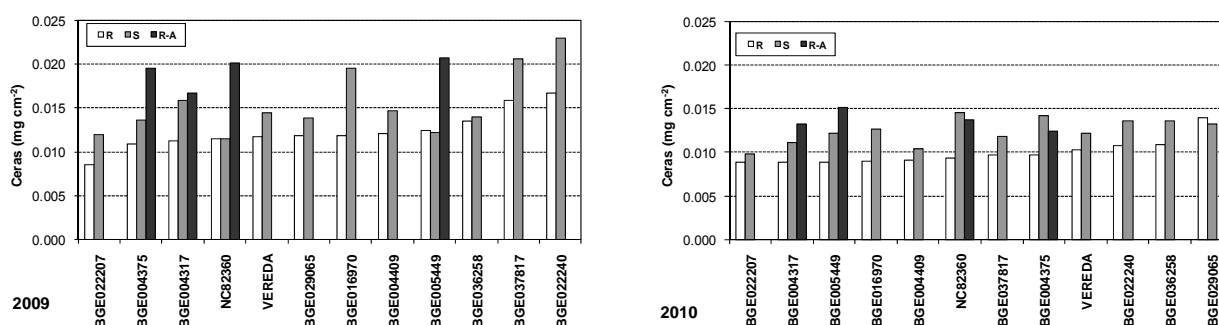


Figura 1. Contenido en ceras epicuticulares en hojas de veza de las diferentes accesiones evaluadas en relación a los tratamientos hídricos

La comparación de la expresión de los distintos caracteres estudiados según los tratamientos aplicados y en los dos años se muestran en la Tabla 1. Se puede observar que cuando hay un menor aporte de agua aumentan significativamente el contenido en ceras epicuticulares, el índice SPAD y el peso específico de las hojas de veza.

Tabla 1. Expresión de caracteres de resistencia a la sequía de veza según los tratamientos hídricos aplicados (R, regadío; S, secano; y R-A, refugio antilluvia) en los años 2008-09 y 2009-10. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre las medias según el test de Duncan ($P \geq 0.05$).

	TRAT	Transpiración Residual (mg cm ⁻² h ⁻¹)	Ceras (mg cm ⁻²)	SPAD	Peso Específico (mg cm ⁻²)	CHR
2008-09	R	0.523 a	0.0123 c	45.6 b	49.1 c	82.2 a
	S	0.449 a	0.0154 b	47.3 ab	55.8 b	80.2 a
	R-A	0.495 a	0.0192 a	48.9 a	65.4 a	74.2 b
2009-10	R	0.604 a	0.0097 b	37.6 b	48.6 a	87.0 a
	S	0.504 a	0.0125 a	38.7 b	50.5 a	87.3 a
	R-A	0.304 b	0.0136 a	43.3 a	52.3 a	72.1 b

En la Tabla 2 se compara el efecto de los tratamientos hídricos aplicados sobre el rendimiento en grano en veza y en diferentes componentes del rendimiento, en las dos campañas. Se puede observar que el estrés hídrico provoca una disminución en la producción de veza, especialmente en el tratamiento en el que no se ha aportado nada de agua desde finales marzo hasta el final del ciclo. Las condiciones de secano provocan una disminución significativa en el rendimiento en grano, en el tamaño de las vainas y en el número de semillas por vaina, pero no afectan a la producción de biomasa herbácea y al número de vainas por unidad de superficie.

Tabla 2. Rendimiento y componentes del rendimiento de veza según los tratamientos hídricos aplicados (R, regadío; S, secano; y R-A, refugio antilluvia) en los años 2009 y 2010. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre las medias según el test de Duncan ($P \geq 0.05$).

	TRAT	Rendimiento en grano (g m^{-2})	Biomasa paja (g m^{-2})	Nº de vainas/ m^2	Longitud de la vaina	Nº semillas/vaina	Peso 100 semillas
2008-09	R	249.9 a	533.1 a	904.7 a	5.3 a	6.2 a	6.9 a
	S	187.5 b	524.5 a	828.5 a	4.9 b	5.7 b	6.7 a
	R-A	22.8 c	64.1 b	112.8 b	4.7 b	5.4 b	6.7 a
2009-10	R	450.3 a	573.7 b	1634.8 a	6.0 a	6.8 a	6.3 a
	S	416.6 a	530.8 b	1430.8 a	6.0 a	6.5 ab	6.4 a
	R-A	196.4 b	761.5 a	756.9 b	5.5 b	6.3 b	6.6 a

Las diferencias entre tratamientos, tanto en la expresión de caracteres de resistencia a la sequía como en la producción de veza, fueron mucho mayores en la campaña 2008-09 que en la 2009-10. Especialmente debido al régimen de precipitaciones durante el ciclo de crecimiento del cultivo (274 mm en 2008-09 vs 493 mm en 2009-10), siendo el periodo de sequía terminal más largo durante la campaña 2008-09.

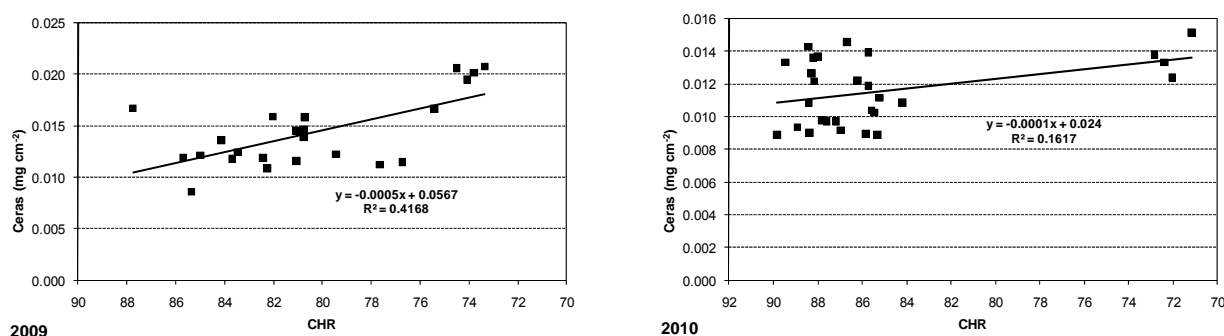


Figura 2. Relación entre el contenido hídrico relativo y el contenido en ceras epicuticulares

El contenido en ceras epicuticulares parece ser uno de los factores que contribuyen a la tolerancia a la sequía en veza. En general, se observó un aumento en el contenido en ceras epicuticulares, en la mayoría de las accesiones estudiadas, según aumenta el estrés hídrico (Figuras 1 y 2). Esta mayor acumulación de ceras epicuticulares no parece estar relacionado con una reducción en la pérdida de agua por la hoja (Figura 3), ya que se observa una

correlación positiva entre el contenido en ceras de la hoja y la transpiración residual (pérdida de agua de la hoja en condiciones de máximo cierre estomático).

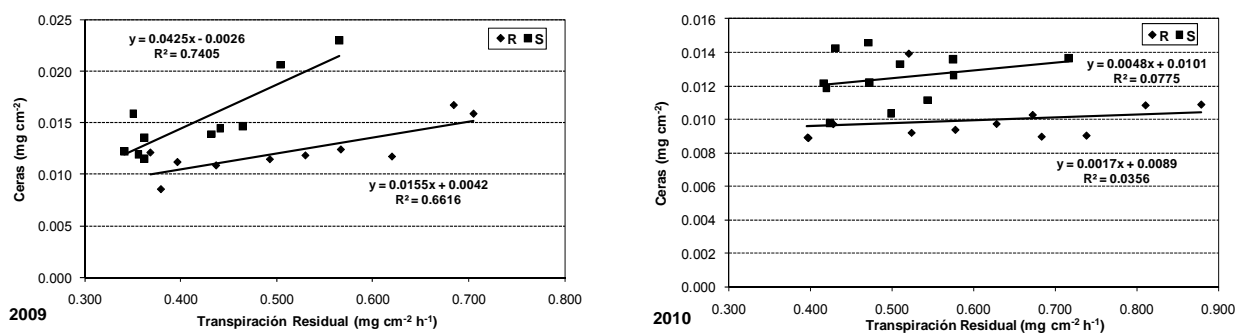


Figura 3. Relación entre la transpiración residual y el contenido en ceras epicuticulares

Se pudo observar que las accesiones que acumulaban más ceras en la superficies de la hoja en condiciones de secano con respecto a las de regadío son las que menos reducción en la producción por efecto de la sequía se produjo (Figura 4). Es decir, en condiciones de sequía, una mayor acumulación relativa de ceras epicuticulares provoca un menor descenso relativo en el rendimiento en semilla de veza.

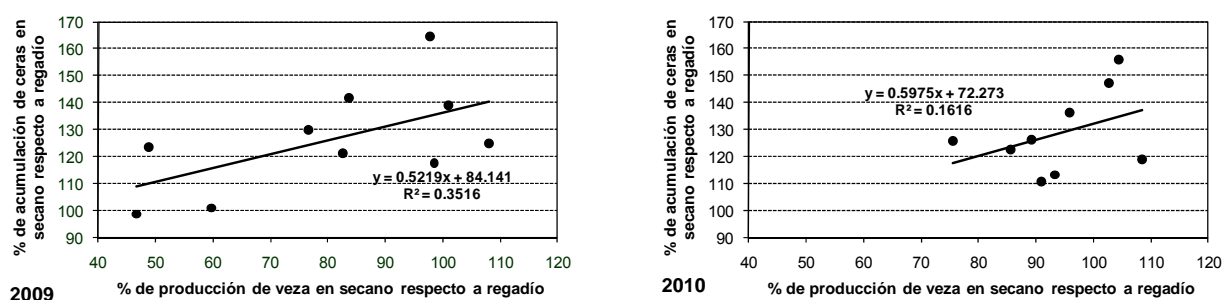


Figura 4. Relación entre el % de producción de veza en secano respecto a regadío y el % de acumulación de ceras en secano respecto a regadío

CONCLUSIONES

En conclusión, la manifestación de una serie de caracteres fisiológicos al 50% de floración en veza (alto contenido en ceras epicuticulares, índice SPAD elevado y valores altos de peso específico de hoja) parece mejorar su comportamiento frente a la sequía.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo pudo ser realizado gracias a la financiación del MEC-INIA (RF2007-00005-00-00). Los autores quieren mostrar su agradecimiento al personal laboral de la finca "La Canaleja", sin su colaboración este trabajo no se hubiera podido llevar a cabo

BIBLIOGRAFÍA

- de Andrés, EF, Zambrana, E, Cadórniga, C, Martín, D, Marcos, T, de la Rosa, L, Tenorio, JL (2008) "IX Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas". IRTA. pp. 199-201. Lloret de Mar (Girona), España.
 Ebercon, A, Blum, A, & Jordan, WR (1977) *Crop Sci.* **17**:179-180
 McCaig, TN & Romagosa, I (1989) *Crop Sci.* **29**:1140-1145

Pósteres.

WATER USE EFFICIENCY IN *Vitis vinifera* cv. Tempranillo IN A CLIMATE CHANGE SIMULATION

Carolina Salazar Parra¹, Jone Aguirreolea¹, Manuel Sánchez-Díaz¹, Juan José Irigoyen¹,
Fermín Morales^{1,2}

¹Dpto. de Biología Vegetal, Sección Biología Vegetal (Unidad Asociada al CSIC, EEAD, Zaragoza e ICVV, Logroño).
Facultades de Ciencias y Farmacia, Universidad de Navarra, Irunlarrea 1, 31008, Pamplona, Spain.

²Dpto. de Nutrición Vegetal, Estación Experimental de Aula Dei (EEAD). Consejo Superior de Investigaciones Científicas
(CSIC). Apdo. 13034, 50080 Zaragoza, Spain.

fmorales@eead.csic.es; fmorales@unav.es

ABSTRACT

The aim of this work was to investigate effects of climate change on grapevine water relations in greenhouse experiments by combining elevated CO₂, elevated temperature and partial irrigation, using fruiting cuttings of *Vitis vinifera* cv. Tempranillo. After the two-week climate change simulation treatment, plants subjected to elevated CO₂ and temperature had a decreased transpiration due to stomatal closure. Plants under elevated CO₂ increased their photosynthetic water use efficiency (WUE_{PH}). However, this increase did not influence berries growth and size, since 100-berries weight was not affected by treatments.

INTRODUCCIÓN

It is expected that the values of atmospheric CO₂ concentration could increase from actual 379 ppm to approximately 700 ppm at the end of the century. Also, it is believed that climate change could increase plant water stress affecting crop production. If CO₂ emissions continue at high levels, temperature is predicted to increase between 1.8 and 4.0 °C [1]. Grapevine photosynthesis, as in other C3 plants, is CO₂-limited [2, 3]. Any increase of atmospheric CO₂ could increase grapevine growth rate and yield [4, 5].

Grape berry development involves 3 major phases. In Phase I, berry size increases due to cell division. In Phase II, cell expansion ceases, and sugars begin to accumulate. In Phase III (at veraison beginning), berries undergo a second period of sigmoidal growth, accumulation of anthocyanins, volatile compounds, softening, sugar accumulation, and a decline in organic acid accumulation. Although one cannot assume that grape quality is mainly determined postveraison, ripening should be considered a key step in the grape final characteristics. The aim of this work was to investigate effects of climate change on grapevine water relations in greenhouse experiments by combining elevated CO₂, elevated temperature and partial irrigation, using fruiting cuttings of *Vitis vinifera* cv. Tempranillo.

MATERIALS AND MÉTHODS

Dormant cuttings of *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo were selected to get fruiting cuttings according to Mullins, 1966 [6] and modified by Ollat et al, 1998 [7] and Santa María, 2004 [8]. At veraison, plants were divided into four treatments and transferred to two greenhouses (Figure 1). Treatments were a combination of two CO₂ levels (ambient, approximately 375 ppm, or 700 ppm), two temperature regimes (24/14 °C or 28/18 °C, day/night) and two water availability conditions (well or partially irrigated - 40% of field capacity-). Gas exchange was measured once a week for 5 weeks and plants were harvested at 14 and 28 days (ripeness) of treatments (Figure 1)

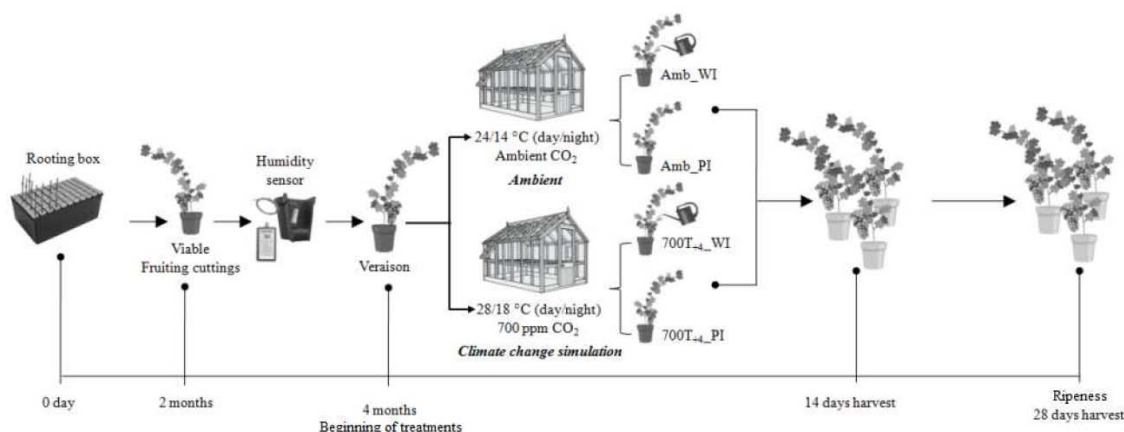


Figure 1. Experimental design. Fruiting cuttings were developed, and a Watermark device was added into each pot. Plants grew until veraison in ambient conditions. Then, they were transferred to two greenhouses, climate change simulation and current ambient conditions. In each greenhouse, plants were divided into two groups, well irrigated and partially irrigated. Treatments were maintained until ripeness. Sampling was made at 14 days of treatment and at ripeness (approximately 28 days).

RESULTS AND DISCUSSION

After one week of treatment, plants subjected to elevated CO₂ and temperature had increased photosynthetic rates (Figure 2A), due to CO₂ enrichment. Also, transpiration in partially irrigated plants decreased (Figure 2B), since water stress produced stomatal closure and a consequent decreased transpiration rates. On the other hand, it is widely recognized that CO₂ produces stomatal closure [4]. However, this phenomenon was not observed in the present experiment at short times (7 days), keeping the well-irrigated plants high transpiration rates. Photosynthesis remained fairly constant and transpiration decreased in partially irrigated plants under elevated CO₂ and temperature, leading to an increase in photosynthetic water use efficiency (WUE_{Ph}) (Figure 2C). In addition, water stress produced a decrease of photosynthesis in current ambient conditions, which was maintained until the end of the experiment.

After 14 days of treatment, photosynthetic rates were kept high under elevated CO₂ and temperature. Transpiration however decreased below that of control plants, with a consequent increased WUE_{Ph}, especially in well-irrigated plants. In the last two weeks before ripeness, the initial increase in photosynthesis of plants under elevated CO₂ and temperature disappeared, and transpiration continued decreasing, having minor effects on WUE_{Ph}.

At ripeness (28 days of treatment), berries size was not different because the 100-berries weight showed no significant differences between treatments (Figure 3A). These observations suggest that the moderate water stress imposed (40% of soil capacity) did not cause a decrease on berries size. On the other hand, WUE_{prod} (WUE of the production) increased in partially irrigated plants at both harvest times and was not affected by CO_2 concentrations and temperature (Figure 3B).

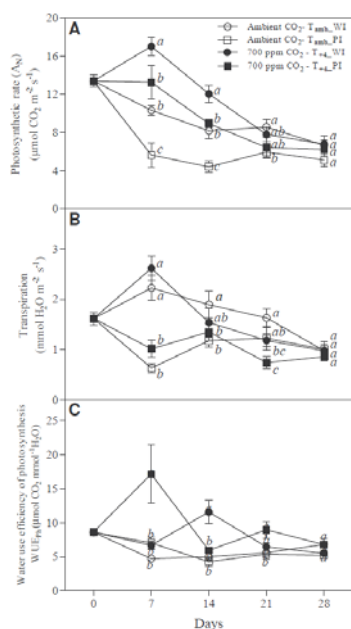


Figure 2. Photosynthetic rate (A), transpiration (B) and water use efficiency of photosynthesis (C), in leaves of *Vitis vinifera* cv. Tempranillo subjected to different CO_2 concentrations (ambient or 700 ppm CO_2), temperature regime (24/14 °C or 28/18 °C) and water availability (WI; well irrigated or PI; partially irrigated). Measurements were made once a week for 5 weeks (from veraison to ripeness). Data ($n=8$, mean \pm S.E.). Different letter indicates significant differences between treatments ($P<0.05$) based on LSD test.

No significant relationship was observed between WUE_{Ph} and WUE_{prod} after 14 ($R^2 = 0.17$) and 28 ($R^2 = 0.02$) days of treatment. Taken together, data presented in this work indicate that WUE_{Ph} increases under elevated CO_2 and temperature whereas water availability is responsible for differences found in WUE_{prod} .

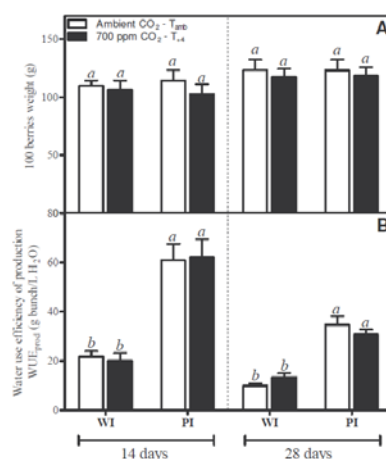


Figure 3. 100 berries weight (A) and water use efficiency of production (B) of *Vitis vinifera* cv. Tempranillo subjected to different CO_2 concentrations (ambient or 700 ppm CO_2), temperature regime (24/14 °C or 28/18 °C) and water availability (WI; well irrigated or PI; partially irrigated). Black bars represent plants under elevated CO_2 and temperature and white bars those under current ambient conditions. Sampling was made at 14 and 28 days of treatment, and results were plotted independently. Data ($n=5$, mean \pm S.E.). Different letter indicates significant differences between treatments ($P<0.05$) based on LSD test.

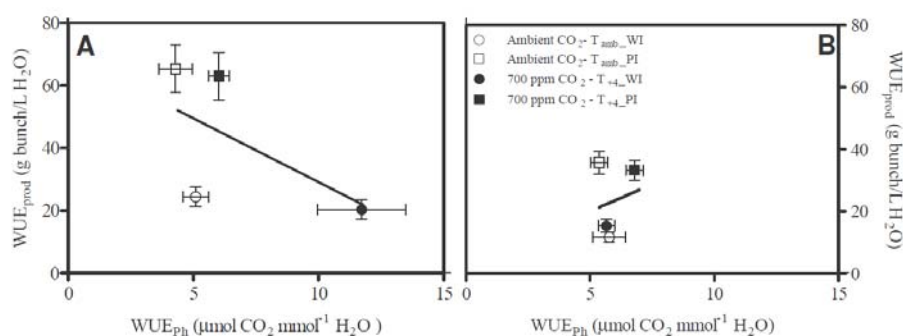


Figure 4. Relationship between water use efficiency of photosynthesis (WUE_{Ph}) and water use efficiency of production (WUE_{prod}) after 14 (A) and 28 (B) days of treatment in *Vitis vinifera* cv. Tempranillo subjected to different CO₂ concentrations (ambient or 700 ppm CO₂), temperature regime (24/14 °C or 28/18 °C) and water availability (WI; well irrigated or PI; partially irrigated). Solid symbols represent plants under elevated CO₂ and temperature, open symbols those under current ambient conditions, circles those well irrigated and squares partially irrigated plants. Sampling was made at 14 and 28 days of treatment. Data (n=5-8, mean ± S.E.).

CONCLUSIONS

Elevated CO₂ and temperature produces a transient increase in photosynthesis, which disappears at the end of the experiment. During the first days, stomatal closure mediated by elevated CO₂ was not detected. After 14 days of treatment, plants subjected to elevated CO₂ and temperature decreased transpiration due to stomatal closure. Plants under elevated CO₂ and temperature increased WUE_{Ph}, due to increases in photosynthesis and decreases in transpiration. However, this increase in WUE_{Ph} does not influence berry growth and size, since 100-berries weight was not affected by treatments.

ACKNOWLEDGEMENTS

Spanish Ministry of Science and Innovation (BFU2008-01405/BFI), Fundación Universitaria de Navarra, Caja Navarra, Gobierno de Aragón (A03 research group), Asociación de Amigos de la Universidad de Navarra and Station of Viticulture and Enology of Navarra.

REFERENCES

- Pachauri, Reisinger, A. 2007, IPCC: Geneva, Switzerland p. 30-33.
- Bindi, M., et al.. Climate Research, 1996. 7(3): p. 213-224.
- Mullins, M.G., A. Bouquet, and L.E. Williams. 1992, Cambridge University Press: New York. p. 80-111.
- Bowes, G. 1993. 44: p. 309-332.
- Rogers, H.H., G.B. Runion, and S.V. Krupa. 1994. 83(1-2): p. 155-189.
- Mullins, M.G.. 1966. 209: p. 419-420.
- Ollat, N., L. Geny, and J. Soyer. 1998. 32: p. 1-9.
- Santa María, E.. 2004, PhD. Dissertation, University of Navarra, Spain.

Aplicación de estrategias de riego deficitario controlado durante la fase de crecimiento rápido de fruto en naranjo navel ‘Lane late’

Pérez-Pérez, J.G.; Robles, J.M.; García-Oller, M.I.; Quinto, V.; Frutos, J.M.; Córdoba, F.; Botía, P.

Departamento de Citricultura. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario, c/ Mayor s/n 30150
La Alberca (Murcia). España.

juang.perez@carm.es

ABSTRACT

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar la respuesta la variedad de naranjo navel ‘Lane late’ a la aplicación de diversas estrategias de riego deficitario controlado (RDC), basadas en la reducción del riego durante diferentes periodos de la fase de crecimiento rápido del fruto (fase II), sobre la producción, eficiencia en el uso del agua (EUA) y la calidad del fruto. El ensayo se llevó a cabo en una parcela experimental ubicada en el término municipal de Torre Pacheco (Murcia) en árboles de naranjo navel ‘Lane late’ (*Citrus sinensis* L. Osb.) injertados sobre citrange ‘Carrizo’ (*C. sinensis* L. Osb. x *Poncirus trifoliata* L.) de 14 años de edad. Se establecieron 4 tratamientos de riego, un tratamiento control (TC, 100 % ETc) y 3 tratamientos de riego deficitario durante la fase II: T1 (25% ETc, 1 junio – 15 julio), T2 (25% ETc, 16 julio – 1 septiembre) y T3 (25% ETc, 1 junio – 1 septiembre). El tratamiento T1 provocó un menor descenso del potencial hídrico de xilema al mediodía (Ψ_{md}) que en el tratamiento T2, mostrando el tratamiento T3 valores similares de Ψ_{md} al final de cada periodo de estrés a los mostrados por T1 y T2 respectivamente. Aunque la producción solo se vio reducida significativamente por el tratamiento T3, la EUA no se mejoró en ningún tratamiento deficitario. Respecto a la calidad del fruto, los principales cambios se observaron en el tratamiento T3, destacando una reducción del porcentaje de zumo y un retraso de la madurez del fruto ocasionada por un mayor aumento de la acidez frente a los sólidos solubles totales (SST), mientras que en el tratamiento T2 se observó una mejora de la calidad producida por un aumento de los SST y de la acidez sin alterar el índice de madurez.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cítricos en España se sitúa principalmente en las zonas costeras del este y sur de la península, principalmente en la Región de Murcia, Comunidad Valenciana y Andalucía, donde el clima es semiárido, caracterizado por la escasez de lluvias y la elevada demanda evaporativa. En la Región de Murcia, la infradotación hídrica se convierte en el principal factor limitante de la producción. En estas condiciones, los cítricos presentan disminuciones importantes de los rendimientos. Una alternativa de cultivo es la aplicación de estrategias de riego deficitario controlado, con el fin de reducir el riego durante los periodos menos sensibles al déficit hídrico, intentando reducir los efectos negativos sobre la producción y la calidad del fruto. Algunos autores han realizado estudios de riego deficitario controlado durante diversos periodos del cultivo en mandarino ‘Clemenules’. González-Altozano y col. (1999) recomendaron la reducción del riego durante el inicio de la fase de crecimiento rápido de fruto consiguiendo importantes ahorros de agua de riego sin observar efectos negativos sobre la producción y la calidad final. Por otro lado, Pérez-Pérez y col. (2007) observaron en naranjo navel ‘Lane late’ que un estrés hídrico severo aplicado durante el periodo de crecimiento rápido de

fruto reduce la producción debido a una disminución del número de frutos y del peso medio de fruto, además de provocar un retraso en la madurez. En base a estas premisas, el objetivo global del ensayo fue estudiar la respuesta de la variedad de naranjo navel 'Lane late' sometida a diferentes estrategias de riego deficitario controlado basadas en la reducción del riego durante diferentes periodos de la fase II de crecimiento de fruto.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo durante los años 2007 y 2008 en una parcela experimental del IMIDA de 2 ha ubicada en el término municipal de Torre Pacheco, en árboles de 14 años de edad de la variedad de naranjo navel 'Lane late' (*Citrus sinensis* L. Osb.) injertada sobre citrange 'Carrizo' (*C. sinensis* Osb. × *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.) con un marco de plantación de 3×4 m. El riego fue aplicado mediante una línea portagoteros por fila de árboles con 3 goteros/árbol autocompensantes de 4 L h⁻¹. Se establecieron 4 tratamientos de riego, un tratamiento control (TC, 100 % ETc) y 3 tratamientos de riego deficitario controlado durante la fase II: T1 (25% ETc, 1 junio – 15 julio), T2 (25% ETc, 16 julio – 1 septiembre) y T3 (25% ETc, 1 junio – 1 septiembre).

Para el control del estado hídrico de la planta se realizaron medidas semanales del potencial hídrico del xilema al mediodía (Ψ_{md}). El desarrollo del fruto se estudió mediante medidas semanales del diámetro del fruto. El control de la producción se realizó a primeros de marzo pesando y contando el total de frutos recolectados de cada árbol. En el momento de la cosecha se determinó el índice de color externo, el espesor de corteza, el porcentaje de zumo, corteza y pulpa y al zumo se le analizó el contenido de sólidos solubles totales (SST), la acidez valorable y el índice de madurez (IM) (Pérez-Pérez y col. 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de las estrategias de riego deficitario controlado durante la fase II dio lugar a un ahorro medio en el agua aplicada de un 15%, 17% y 31% para los tratamientos T1, T2 y T3 respectivamente (Tabla 1). La reducción del riego en el tratamiento T1 provocó un descenso del potencial hídrico de xilema al mediodía (Ψ_{md}) alcanzando valores mínimos de -1.8 MPa y -2.1 MPa para los años 2007 y 2008 respectivamente (Figura 1). Sin embargo, el tratamiento T2 provocó un mayor impacto sobre el estado hídrico del cultivo alcanzando valores mínimos de Ψ_{md} de -2.6 MPa y -2.7 MPa para los años 2007 y 2008 respectivamente. El tratamiento T3 causó un descenso progresivo del Ψ_{md} mostrando valores similares al tratamiento T1 y T2 al final de ambos periodos de déficit hídrico. La reanudación del riego provocó una rápida recuperación del estado hídrico del cultivo, alcanzando valores de Ψ_{md} similares al tratamiento control a los 14 días en el tratamiento T1 y a los 21 días en los tratamientos T2 y T3.

La respuesta productiva global mostró un descenso significativo de la producción solo en el tratamiento T3 (35.4% menos), debido principalmente a una reducción del peso medio del fruto (Tabla 2). El peso medio de los frutos de los tratamientos T1 y T2 en 2008 fue significativamente menor respecto al tratamiento control, aunque dichas diferencias no afectaron a la producción final. La reducción del riego afectó significativamente al desarrollo del fruto en todos los tratamientos deficitarios, sobretodo cuando dicha reducción tuvo lugar durante la segunda parte de la fase II (tratamientos T2 y T3) (Figura 1). Aunque, tras la reanudación del riego en los diferentes tratamientos

deficitarios se observó una estimulación del crecimiento del fruto, está solo duró pocos días (7-14 días), por lo que las diferencias de tamaño con respecto al tratamiento control se mantuvieron hasta el momento de la cosecha. La eficiencia productiva en el uso del agua (EUA) no mostró diferencias significativas entre tratamientos en ambos años de ensayo (Tabla 2).

Tabla 1. Valores anuales de evapotranspiración, lluvia y agua aplicada en cada tratamiento de riego y porcentaje de reducción durante las campañas 2007 y 2008.

	2007-08		2008-09	
	(mm)	% Red.	(mm)	% Red.
ET₀	1379	-	1471	-
Precipitaciones	230	-	367	-
Agua aplicada				
TC	659	-	597	-
T1	549	16.8	512	13.5
T2	541	18.0	491	16.9
T3	430	34.7	401	31.5

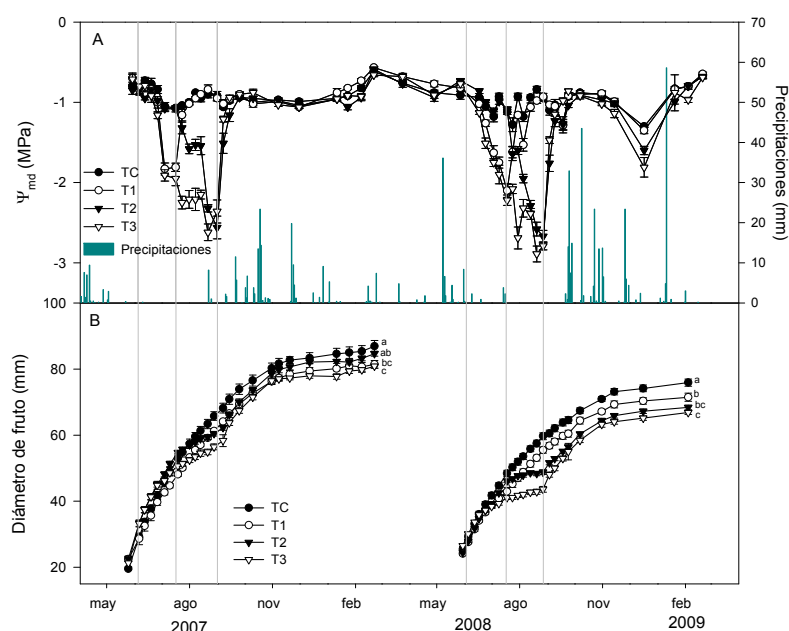


Figura 1. Evolución estacional del potencial hídrico de xilema al mediodía (Ψ_{md}) (A) y del diámetro del fruto (B) en árboles de naranjo navel 'Lane late' en condiciones de RDC para las campañas 2007 y 2008.

Respecto a los parámetros de calidad del fruto, el tratamiento T1 no afectó significativamente la calidad del fruto en 2007, sin embargo en 2008 redujo el porcentaje de zumo y aumentó el porcentaje de pulpa (Tabla 3). Además se observó un descenso del índice de madurez (IM) provocado por un aumento de la acidez lo que supone un ligero retraso en la maduración del fruto. Por otro lado, el tratamiento T2 en ambos años aumentó los sólidos solubles totales (SST) y la acidez sin alterar el IM, mejorando la calidad del zumo al igual que otros autores observaron en esta misma variedad cuando aplicaron un déficit hídrico durante el periodo de maduración (fase III) Pérez- Pérez y col. (2009). También se observó un aumento del porcentaje de zumo en 2008 y del porcentaje de pulpa en ambos años. El tratamiento T3 disminuyó en ambos el porcentaje de zumo y aumentó el porcentaje de pulpa, además también se observó un aumento del porcentaje de corteza en 2008.

Tabla 2. Parámetros productivos (kg/árbol, nº de fruto, peso medio de fruto) y eficiencia productiva en el uso del agua (EUA) de las campañas 2007 y 2008 en árboles de naranjo navel 'Lane late' en condiciones de RDC.

Trat.	kg/árbol			nº frutos			Peso medio (g)			EUA (kg m ⁻³)		
	2007	2008	Total	2007	2008	Total	2007	2008	Media	2007	2008	Total
TC	73.1a	104.1a	177.1a	213ab	463	675	340a	225a	260a	9.2	14.5	11.7
T1	63.4a	98.2a	161.6a	235a	476	710	281ab	206b	229b	9.6	16.0	12.7
T2	57.8ab	89.9a	147.7a	210ab	502	712	279ab	180c	208b	8.8	15.3	11.9
T3	40.8b	73.6b	114.4b	161b	483	644	257b	154d	178c	7.8	15.3	11.4
Sig.	**	**	**	*	ns	ns	*	***	***	ns	ns	ns

*, **, ***, 'ns' indican diferencias significativas a P<0.05, P<0.01, P<0.001 y no significativas respectivamente. Para cada columna, letras diferentes indican diferencias significativas al 95% según el test de Rango Múltiple de Duncan.

Tabla 3. Parámetros de calidad del fruto de las campañas 2007 y 2008 en árboles de naranjo navel 'Lane late' en condiciones de RDC.

Año	Trat.	ICE	Esp cort (mm)	Zumo (%)	Corteza (%)	Pulpa (%)	SST (°Brix)	Acidez (g L ⁻¹)	IM
2007	TC	11.6	4.41	54.2a	40.4	4.7c	10.8b	7.1c	15.3a
	T1	12.0	4.47	53.3ab	40.4	5.2bc	10.8b	7.6c	14.3ab
	T2	12.2	4.28	53.8a	39.6	5.8ab	13.0a	9.0b	14.5ab
	T3	11.1	4.54	51.8b	41.0	6.1a	12.5a	10.0a	12.6b
	Sig.	ns	ns	*	ns	**	***	***	*
2008	TC	11.2	4.88ab	53.4a	40.8b	5.5c	10.7b	10.0c	10.8a
	T1	10.2	4.66ab	51.6b	41.6b	6.6b	11.1b	11.5b	9.7b
	T2	10.4	4.18b	51.2b	40.6b	7.2b	12.1a	11.0b	11.0a
	T3	9.9	5.15a	48.3c	43.7a	8.1a	12.0a	12.6a	9.5b
	Sig.	ns	*	***	**	***	***	***	**

*, **, ***, 'ns' indican diferencias significativas a P<0.05, P<0.01, P<0.001 y no significativas respectivamente. Para cada columna, letras diferentes indican diferencias significativas al 95% según el test de Rango Múltiple de Duncan.

Respecto a los parámetros de calidad internos del fruto, en el tratamiento T3 se observó un aumento en ambos años de los SST y la acidez, pero el IM se redujo debido a que el aumento de la acidez fue mayor que el de los SST, lo que supone un retraso de la madurez al igual que observaron otros autores en naranjo navel 'Lane late' (Pérez-Pérez y col. 2009) y mandarina 'Clemenules' (Navarro y col. 2010).

CONCLUSIONES

La aplicación de estrategias de riego deficitario controlado basadas en la reducción del riego durante la fase de crecimiento rápido de fruto no mejoró la EUA, debido al impacto negativo que tuvieron sobre el crecimiento del fruto. Sin embargo, los cambios observados en los parámetros de calidad del fruto cuando el déficit hídrico se aplicó durante la segunda parte de la fase II (15 julio – 1 septiembre) sugieren el uso de este tipo de estrategias para mejorar la calidad de la fruta.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos CICYT (AGL2006-11319-C04-04 y AGL2007-6537-C04-04) y por la beca predoctoral FPI concedida por el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA).

BIBLIOGRAFÍA

- González-Altozano, P. y Castel, J.R. 1999. J. Hort. Sci Biotech. 74:706-713.
 Pérez-Pérez, J.G.; Navarro, J.M.; García-Oller, M.I.; Robles, J.M.; Sánchez-Baños, M. y Botía, P. 2007. Actas Hortic 28:25-28.
 Pérez-Pérez, J.G.; Robles, J.M.; Botía, P. 2009. Agric Water Manag., 96:969-974.
 Navarro, J.M.; Pérez-Pérez, J.G.; Romero, P.; Botía, P. 2010. Food Chemistry, 119:1591-1596.

Condicionantes climatológicos para la determinación de una línea base en la programación del riego con dendrómetros en olivo.

Pérez-López, D.¹, Gijón, M.C.¹, Guerrero, J.¹, Couceiro, J.F.¹, Moriana, A.²

¹ CA "El Chaparrillo", Consejería de Agricultura y Desarrollo Rural de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, 13071-Ciudad Real. España.

² Departamento de Ciencias Agroforestales. Universidad de Sevilla

ABSTRACT

An increase in the productivity of fruit trees through irrigation must be compatible with a rational use of water. With this goal, the automation of irrigation using sensors to assess the water status of the plant is very promising. One of these is the measuring trunk diameter variation. In this study we have evaluated the influence of climatic variables on measures undertaken with dendrometers in olive in an optimal water status, in order to determine a baseline. A good relationship between maximum trunk shrinkage (MDS) and vapour pressure deficit (VPD), and the average and maximum temperature was observed. We have also found a good relationship between the growth of the trunk during the growth phase and temperature, either maximum, minimum or average

INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos la rentabilidad del olivar en España se ha visto cada vez más reducida. A la reducción paulatina de las subvenciones de la Unión Europea se ha unido un desplome de los precios debido por un lado a la alta oferta y por otro a la escasa capacidad de negociación de los productores. Esto ha puesto de manifiesto la necesidad de por un lado una mejor comercialización del producto y por otro una mayor rentabilidad de la explotación.

La forma más eficaz de aumentar la producción del olivar, y por tanto su rentabilidad, es mediante la aplicación del riego.

Por otro lado, la demanda de agua en nuestra sociedad es cada día mayor, y la agricultura, el mayor consumidor de agua, tiene la responsabilidad de justificar adecuadamente su uso.

Por tanto se debe utilizar el agua de la forma más racional posible, y para ello se están desarrollando herramientas para mejorar la programación de riegos en función del estado hídrico de la planta. Entre ellas destacan el potencial hídrico del tronco, los medidores de flujo de savia, el uso de la teledetección y los medidores de la variación del diámetro de tronco o dendrómetros. Todos ellos representan por tanto interesantes posibilidades para la programación de riego en frutales para el futuro. Una ventaja tanto de los dendrómetros como de los medidores de flujo de savia es la posibilidad de obtener medidas continuas y automatizadas.

La programación de riegos mediante medidas en planta del estrés hídrico se puede realizar de dos formas (Goldhamer y Fereres, 2001): la primera es la utilización de árboles testigo, que serán regados con una dosis superior a la de la parcela. Si las medidas en estos árboles difieren de las realizadas en los árboles de la parcela indicará que se está produciendo cierto grado de estrés y por tanto debemos aumentar la dosis de riego. La segunda forma es la determinación de líneas base, que determinan el umbral a partir del cual se considera que los árboles están en una situación de estrés y por tanto se debe aumentar la dosis de riego.

En este trabajo se ha pretendido establecer las líneas base para los dendrómetros en función de parámetros climatológicos en olivos jóvenes.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se ha desarrollado durante los años 2004, 2005, 2006 y 2007 en la finca "La Entresierra" propiedad de la Consejería de Agricultura y Desarrollo Rural de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, situada en las proximidades de Ciudad Real (3° 56' W, 39° N, 640 m de altitud). Los olivos fueron plantados en el campo en 1998. El clima del área donde se sitúa el experimento es Mediterráneo con una precipitación media anual de 397 mm, distribuidos principalmente fuera de los cuatro meses del período seco. El suelo tiene una profundidad de 75 cm donde se encuentra un horizonte petrocálcico discontinuo, se clasifica como Alfisol, Xeralf Petrocalcic Palexeralfs.

La dosis de riego se calculó para reponer en el suelo el consumo del cultivo (ETc) calculado este mediante el modelo de evapotranspiración para el olivo de Orgaz et al., (2006). Este modelo calcula de forma separada la transpiración y la evaporación desde el suelo. La ET_o fue estimada con la ecuación de Penman-Monteith usando datos diarios de una estación climatológica situada a 100 m de la plantación.

Los años 2004 y 2006 fueron de descarga y los 2005 y 2007 de carga, siguiendo la conocida pauta vecera del olivo.

La variación del diámetro del tronco fue medida mediante la utilización de dendrómetros (Model DF 2.5; Solartron Metrology, West Sussex, UK) montados en una estructura realizada con Aluminio e INVAR, un compuesto de Fe (64%) y Ni (35%) con una expansión térmica mínima (Figura 1). Se colocaron dendrómetros sobre 8 olivos que estaban rodeados de al menos una fila de olivos a la cual se dio la misma dosis de riego.



Figura 1: Dendrómetro instalado en un olivo.

Las medidas fueron realizadas cada 30 s mediante un datalogger (Model CR10X, Campbell Sci., Logan, U.S.A) que fue programado para efectuar medias cada 15 minutos.

La medida diaria de la variación del diámetro del tronco da lugar a tres índices; el diámetro máximo diario (D_{MAX}), el diámetro mínimo diario (D_{MIN}) y la contracción máxima del tronco (Maximum Daily Shrinkage, MDS) calculada como la diferencia entre D_{MAX} y D_{MIN}. El crecimiento del tronco (Trunk growth rate, TGR) fue calculado como la diferencia entre el D_{MAX} de un día y el D_{MAX} del día anterior. Con el TGR se realizaron medias cada cinco días, debido a su mayor variabilidad.

Debido a la hidratación de la corteza causada por la lluvia se distorsiona el efecto que pretendemos medir debido al estrés hídrico del árbol, por lo que los días con precipitación han sido eliminados.

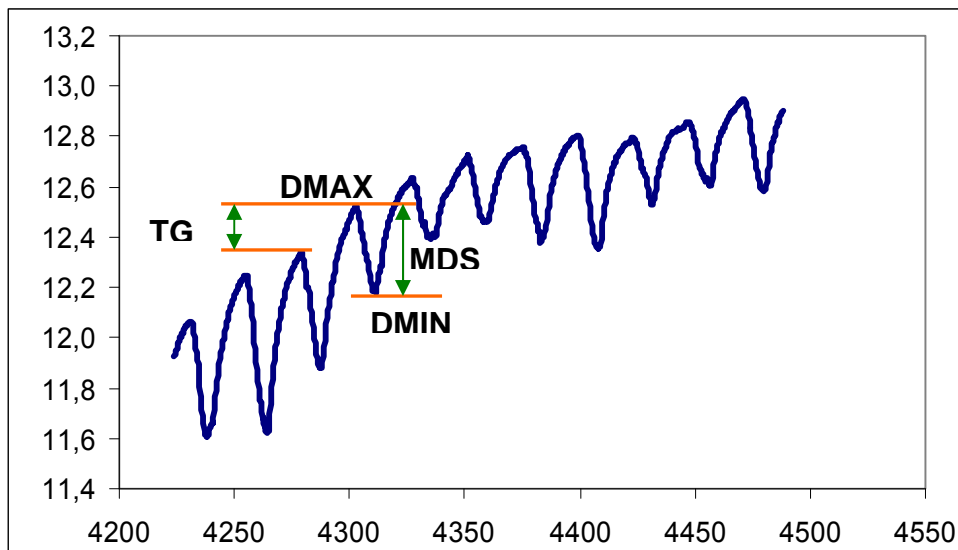


Figura 2: Datos obtenidos de los dendrómetros e índices derivados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha encontrado una relación lineal altamente significativa entre el déficit de presión de vapor (DPV) y la máxima contracción del tronco (MDS). Los datos analizados han sido 637 y la ecuación resultante es $MDS = -0,2095 DPV + 0,0887$ con una $R^2 = 0,6714$ ($p < 0,001$). El término independiente es significativamente distinto de cero, por lo que la recta de ajuste no pasa por el origen (Figura 3).

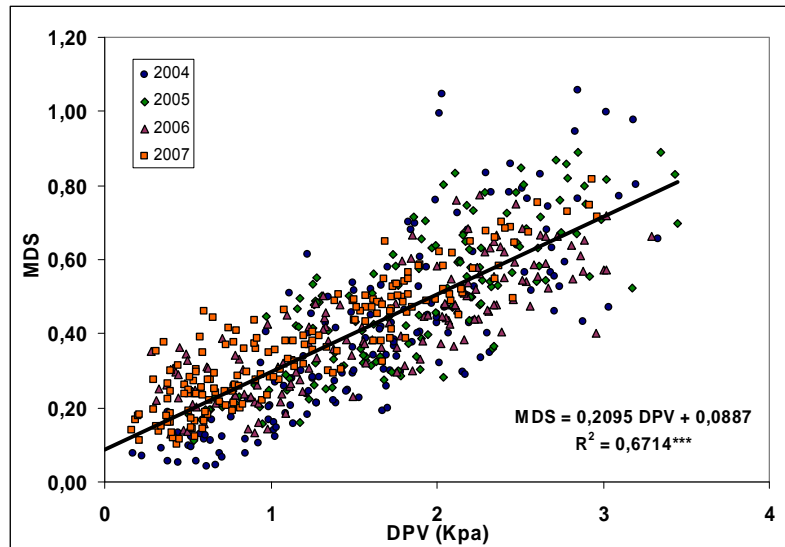


Figura 3. Relación entre la máxima contracción del tronco (MDS) y el déficit de presión de vapor (DPV) durante 4 años. (***, $p < 0,001$).

La relación lineal entre la temperatura media y la máxima contracción del tronco también fue altamente significativa (Figura 4A). La ecuación resultante fue $MDS = 0,0287 T_{media} - 0,1764$ con una $R^2 = 0,6236$ ($p < 0,001$). En este caso existe una relación exponencial entre la máxima contracción del tronco y la temperatura media con una R^2 ligeramente superior, aunque tan poco que casi no justifica la utilización de esta ecuación frente a la lineal,

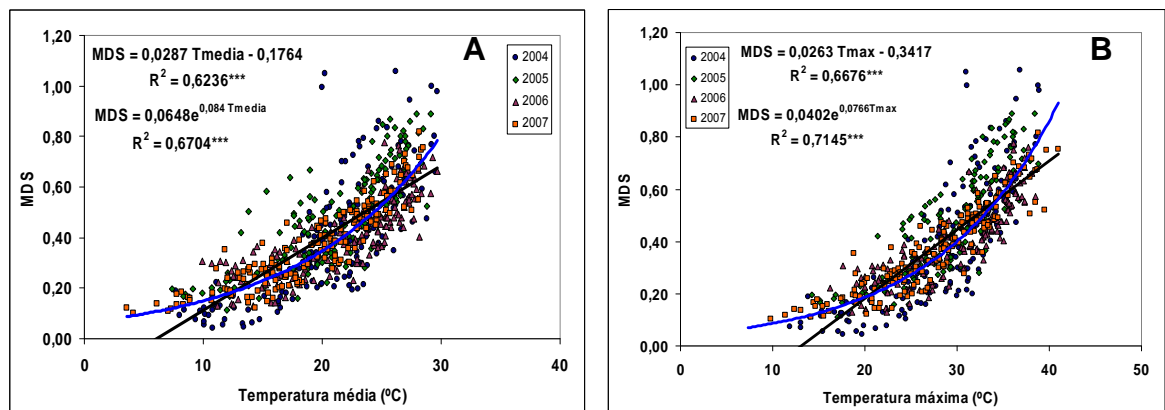


Figura 4. Relación entre la máxima contracción del tronco (MDS) y Temperatura media diaria (A) y Temperatura máxima diaria (B) durante 4 años. (***, $p < 0,001$).

Sin embargo la relación con la temperatura mejora al utilizar la temperatura máxima diaria (Figura 4B), donde los R^2 suben hasta 0,6676 y 0,7145 para la relación lineal y exponencial respectivamente.

También se ha analizado la relación de la contracción máxima del tronco con la temperatura mínima diaria, la Radiación solar diaria y la ETo sin que se encontrase un buen ajuste.

Estos resultados concuerdan con los presentados por Moreno et al., (2006) en olivo, con un R^2 similar. Sin embargo estos autores se limitaron a un año de datos, por lo que los datos aquí presentados muestran una mayor robustez, al haber sido obtenidos durante un período

mucho mayor, con años con carga y descarga, así como en árboles en un proceso de crecimiento.

Respecto al TGR no se encontraron relaciones con ningún parámetro climatológico cuando se consideraron la totalidad de los datos. Sin embargo cuando se consideró solo los datos de la primera etapa, que se prolonga hasta que el TGR alcanza su máximo y que coincide con el momento en el que el hueso del fruto alcanza su máxima superficie (Pérez-López et al., 2007) se consiguieron relaciones lineales con la temperatura media diaria, la temperatura máxima diaria y la temperatura mínima diaria (Figura 5). El mejor resultado se obtuvo con la temperatura media, aunque con poca diferencia respecto a las otras dos.

Pérez-López et al. (2007) encontraron una relación polinómica de segundo grado entre la temperatura media, máxima y mínima y el TGR, para el conjunto del ciclo, con un R^2 superiores a los descritos en este trabajo. Obtuvieron un TGR máximo en torno a 32°C para la temperatura máxima, 24°C para la temperatura media y 15°C para la temperatura mínima. Como se observa en la Figura 5 no se tuvieron puntos con temperaturas superiores a éstas. Los escasos puntos con temperaturas mayores a las expuestas apuntan a una disminución del TGR tal y como se apunta en el trabajo citado. Esta puede ser la explicación de los bajos coeficientes de determinación.

CONCLUSIONES

La medida de la variación del diámetro del tronco es muy prometedora para la programación de riegos de frutales de forma automatizada aunque para conseguir este objetivo debe tenerse en cuenta la influencia de los parámetros climatológicos sobre estas medidas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el INIA mediante el proyecto RTA04-

BIBLIOGRAFÍA

Goldhamer, D. A., Fereres, E., 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrigation Science*, 20: 115—125.

Moreno, F., Conejero, W., Martín-Palomo, M.J., Girón, I.F., Torrecillas, A., 2006. Maximum daily trunk shrinkage referente values for irrigation scheduling in olive trees. *Agricultural Water Management*, 84: 290-294.

Pérez-López, D., Moriana, A., Rapoport, H.F., Olmedilla, N., Ribas, F. 2007. New approach for using trunk growth rate and endocarp development in the irrigation scheduling of young olive orchards. *Scientia Horticulturae*,

Orgaz, F., Testi, L., Villalobos, F.J., Fereres, E., 2006. Water requirements of olive orchards-II: determination of crop coefficients for irrigation scheduling. *Irrigation Science*, 27: 77-84.

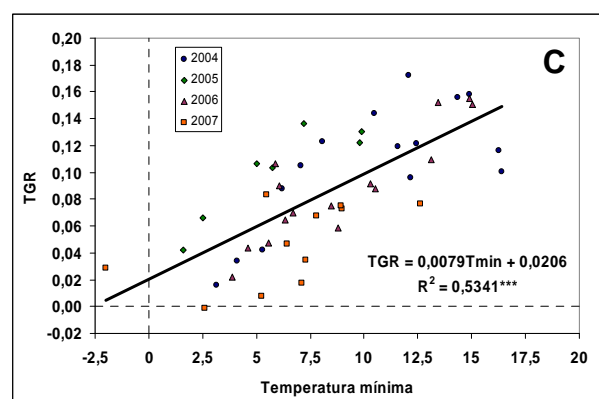
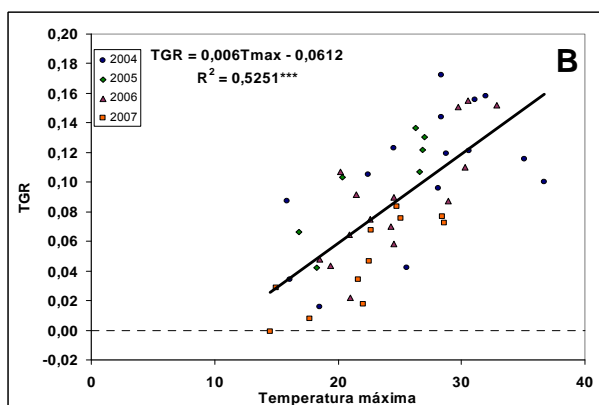
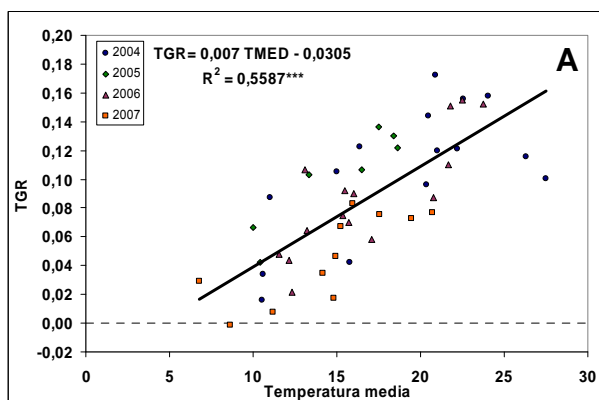


Figura 5: Relaciones entre el crecimiento del tronco (TGR) y la temperatura media diaria (A), la temperatura máxima diaria (B) y la temperatura mínima diaria (C). (***) $p < 0,001$

Efectos del agua salina sobre el crecimiento y desarrollo de laurel en maceta bajo riego diario fraccionado

Bañón, S.^{1,3}, Miralles, J.¹, Valdés, R.¹, Conesa, E.¹, Sánchez-Blanco, M.J.^{2,3}

¹Departamento de Producción Vegetal, UPCT. 30203 Cartagena, Spain

sebastian.arias@upct.es

²Departamento de Riegos, CEBAS-CSIC. P.O. Box164. 30100 Espinardo, Spain

³Unidad Asociada al CSIC. Horticultura Sostenible en Zonas Áridas

ABSTRACT

Measurements of growth, development, gas exchange, water status, chlorophyll SPAD, chlorophyll fluorescence and saline ion contents were performed on potted bay laurel under saline irrigation (6 dS m⁻¹). Our findings suggest that bay laurel was a salinity sensitive plant because the saline irrigation: (1) reduced root and shoot growth, specially the last, and (2) produced leaf chlorosis and marginal and apical necrosis, which led to non-commercial plants because the injured leaves did not drop. Salinated plants were affected by water stress, but leaf injuries seem to be more associated with accumulation of Cl and Na. Injured leaves showed a decline in the rate of photosynthesis due to an irreversible deterioration of the photosynthetic system. We also assessed whether applying the same volume of water with different irrigation frequencies (once, twice and three times a day) would soften the salinity negative effects. The salinity growth lost was mitigated by divided daily watering (twice and three times a day without differences). However, divided daily watering neither reduced leaf salinity symptoms nor protected the photosynthetic apparatus of salinated plants.

INTRODUCCIÓN

La salinidad influye negativamente en la producción viverística al generar pérdida de calidad del material vegetal y limitar la producción. La fotosíntesis es uno de los más importantes procesos en los que interfiere la salinidad, inhibiéndola o suprimiéndola. Entre las herramientas útiles para mejorar la tolerancia a la salinidad está el manejo del riego. Si manejando el riego conseguimos mantener el contenido de agua del sustrato alto, frenamos el incremento de la concentración iónica de la solución del sustrato; pero si el agua disminuye, la planta puede sufrir estrés osmótico y mátrico. Parra y Cruz-Romero (1980) comprobaron que una mayor humedad en el sustrato permitió que *Phaseolus vulgaris* soportara mayores niveles de conductividad eléctrica, porque evitó la precipitación de sales (Theiveyanathana et al., 2004). El mantenimiento de la humedad del sustrato se puede conseguir aumentando la frecuencia del riego.

Este trabajo se centró en laurel común, arbusto con importancia ornamental, paisajística y culinaria, cuya sensibilidad al riego salino está poco estudiada. Los objetivos fueron: (1) determinar la afección de la salinidad a nivel agronómico y fisiológico, y (2) evaluar si el fraccionar el riego diario en varias aportaciones reducía los efectos negativos de la salinidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se cultivó laurel común (*Laurus nobilis* L.) de un año de edad en maceta de PVC de 16 cm \varnothing y un sustrato formado por turba negra (25% v.), fibra de coco (25% v.) y perlita (50% v.), al aire libre en la Finca Experimental de la Universidad Politécnica de Cartagena. La temperatura mínima fue de 5-12°C y la máxima de 18-29°C; la humedad relativa mínima fue entre 23-60% y la máxima entre 73-100%; y la luz entre 142 y 1130 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$. Durante el experimento hubo

31 días de lluvia, con una precipitación de 420 mm. El experimento se inició la tercera semana de marzo de 2009, y se regó mediante un equipo automático programable con un emisor de 4 L h⁻¹ por maceta. El volumen de agua diario aplicado por maceta fue el mismo en todos los tratamientos: (C, control) riego diario con 2 dS m⁻¹ y 25% de drenaje; (S₁) un riego al día con 6 dS m⁻¹; (S₂) dos riegos al día con 6 dS m⁻¹; y (S₃) tres riegos al día con 6 dS m⁻¹. El contenido volumétrico de agua (Θ) fue medido con sondas de capacitancia ECH₂O-5EC conectadas a un datalogger. La segunda semana de diciembre de 2009 finalizó el experimento, midiéndose parámetros de crecimiento, desarrollo, fluorescencia clorofílica (Fluorímetro FMS-2), intercambio gaseoso (CIRAS-2), clorofila SPAD (SPAD-502), potencial hídrico foliar (ψ_n) (Scholander-3000) y contenido de iones salinos (cromatografía iónica-861). Un índice de calidad visual (ICV) de las plantas fue determinado estableciendo una escala de 1 a 5 para hojas quemadas y decoloradas: más del 50% de hojas (1), 50-25% (2), 25-5% (3), <5% (4) y sin daños (5). Los tratamientos estuvieron formados por 15 macetas, y un análisis de contraste ortogonal (SPSS Statistics 17.0) fue realizado para: (1) conocer el efecto de la salinidad en condiciones de riego/drenaje habitual, (2) averiguar si el fraccionar el riego minimiza los efectos negativos de la salinidad, y (3) determinar si hay diferencias entre fraccionar el riego dos o tres veces al día.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la salinidad sobre el comportamiento fisiológico y agronómico (C vs. S_{1,2,3})

La salinidad redujo un 38% el peso seco total (PS) y un 53% el área foliar (AF) comparado con el control, lo que indica que el laurel es una planta sensible a la salinidad. La fuerte reducción del AF y la disminución del ratio tallo/raíz (T/R) por la salinidad sugieren que la parte aérea fue más sensible a la salinidad que la radical. La salinidad produjo síntomas muy evidentes en las hojas, apareciendo en primer lugar clorosis en el borde y ápice, para después surgir puntos necróticos que evolucionaron finalmente a quemaduras marginales y apicales que en los casos más drásticos afectaron a la totalidad del limbo. Estos síntomas lo mostraron hojas en cualquier parte de la planta, pero especialmente las más viejas. El laurel no tiró las hojas afectadas, incluso cuando estaban muy dañadas, lo que significa que no desarrolla este mecanismo de eliminación de evitar acumular iones salinos. Además, la presencia de hojas dañadas en la planta hizo que el ICV bajará desde 5 (control) a 2,5 en las plantas salinizadas, haciéndolas no comerciales.

La salinidad disminuyó claramente la fotosíntesis (P_n) y en menor medida la conductancia estomática (g_s). Esta bajada de P_n por la salinidad no fue correspondida con una bajada de la eficiencia del fotosistema II (éPSII), lo que sugiere una disipación fotoquímica de la energía de excitación en exceso a través de fotorespiración y procesos oxidativos. Estos procesos provocaron daños importantes en el aparato fotosintético como indica la caída del rendimiento cuántico máximo (Fv/Fm) desde 0,83 a 0,79. La disipación térmica de la energía no utilizada en fotosíntesis en forma de calor (aumento del decaimiento no fotosintético, NPQ) no fue suficiente para evitar daños. La salinidad disminuyó la clorofila SPAD, lo que puede interpretarse como pérdida de cloroplastos (Sing and Dubey, 1995) que confirma daños en el aparato fotosintético.

Los valores de ψ_n indican que las plantas salinizadas estaban ligeramente afectadas por estrés hídrico. Sin embargo, los daños foliares parecen más relacionados con el contenido de iones salinos, porque las hojas tuvieron 11 y 3,5 veces más Na y Cl que el control. Sin

embargo, el contenido de K no cambió, lo que indica que no hubo competencia efectiva entre el Na y el K (Schroeder et al., 1994). En el tejido necrosado foliar el aumento del contenido de Na y Cl fue mucho mayor, alcanzándose 9,16 y 7,08 mg g⁻¹ PS, respectivamente (datos no mostrados en la tabla); en los tejidos necrosados el contenido de K fue menor que en el verde (4,1 mg g⁻¹ PS). La mayor acumulación de Na en los tejidos necrosados indica que este ion fue el principal responsable de las necrosis foliares. Las raíces de las plantas salinizadas acumularon más sal (NaCl) que las del control, pero especialmente Na, lo que redujo su transporte a la parte aérea aunque no fue suficiente para evitar daños foliares.

¿El fraccionamiento del riego diario minimiza los efectos negativos de la salinidad? (S₁ vs. S_{2,3})

Fraccionar el riego (S_{2,3}) produjo un aumento del PS y el AF del 10% y del 20% comparado con el riego único (S₁), respectivamente, lo que sugiere un tímido efecto positivo de esta forma de manejar el riego para frenar la pérdida de biomasa bajo salinidad. Como S_{2,3} no alteró el ratio T/R, este efecto sobre el crecimiento se produjo tanto en las raíces como en la parte aérea. Sin embargo, el ICV no fue alterado por S_{2,3}, lo que indica que la presencia de hojas con clorosis, necrosis y quemaduras se mantuvo. La menor pérdida de PS por salinidad con el riego fraccionado podría haber estado relacionado con un Θ mayor, pero S_{2,3} produjo el efecto contrario comparado con S₁, en contra de lo que fue nuestra hipótesis de partida. Posiblemente, esto sucedió porque las plantas bajo S₁ crecieron menos, afectadas por una mayor concentración de sales en el sustrato, lo que finalmente redujo la transpiración y el consumo de agua, produciendo que el sustrato tuviera más humedad. Sin embargo, el % de drenaje si disminuyó cuando se fraccionó el riego (pero no la CE), consecuencia del aspecto anterior y del propio fraccionamiento.

Los parámetros de intercambio gaseoso fueron estadísticamente iguales en las plantas S_{2,3} y S₁, indicando una actividad fotosintética similar al final del experimento. La fluorescencia clorofílica mostró que las plantas S_{2,3} produjeron un NPQ menor que las plantas S₁, lo que se tradujo en que liberaban menos calor como medida protectora (Maxwell and Johnson, 2000) o en que aprovecharon algo más la energía para la fotosíntesis como indica el mayor PS final de S_{2,3}. Sin embargo, la eficiencia para producir quantums de las plantas del PSII fue similar en ambos tratamientos (F_v/F_m alrededor de 0.78). El estado hídrico de las plantas de ambas comparaciones fue el mismo, y el contenido iónico fue escasamente alterado por el fraccionamiento del riego. Los contenidos foliares de Na y Cl no fueron alterados por S_{2,3}, pero aumentó el K en la hojas alcanzándose valores similares al control. En las raíces, S_{2,3} produjo una mayor acumulación de Cl, pero esto no afectó al Cl foliar.

¿Hay diferencias entre fraccionar el riego dos y tres veces al día?

La significación estadística de la comparación ortogonal entre S₂ y S₃ presentada en la tabla 1 muestra que casi la totalidad de los parámetros estudiados no fueron significativos, lo que evidencia claramente que en estas condiciones experimentales da igual fraccionar el riego en dos que en tres veces al día en relación al grado de afección de las plantas por estrés salino.

CONCLUSIÓN

El laurel se comportó como una planta sensible al riego salino (6 dS m⁻¹), reduciendo su crecimiento radical y aéreo, especialmente el último. La salinidad dañó fuertemente las hojas,

produciendo clorosis y fuertes necrosis marginales y apicales, que hizo que las plantas no fueran comerciales, especialmente porque permanecieron en la planta. Estos daños foliares parece relacionados con una fuerte acumulación de Cl y Na, especialmente del último. Las hojas dañadas mostraron una caída de P_n consecuencia del deterioro del sistema fotosintético. El fraccionamiento del riego diario frenó ligeramente la disminución del crecimiento pero no redujo el daño foliar por la salinidad, ni tampoco protegió el aparato fotosintético de la plantas salinizadas. Los efectos de regar con agua salina en dos veces al día fueron los mismos que cuando se regó en tres veces.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha financiado por los proyectos CICYT (CICYT AGL2008-05258-CO2-1-AGR and CICYT AGL2008-05258-CO2-2-AGR), SENECA (08669/PI/08) y por el Convenio con la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia (UPCT-CEBAS-IMIDA 2008).

BIBLIOGRAFÍA

- Maxwell, K. and Johnson, G.N. 2000. *Journal of Experimental Botany* 51(345): 659-668.
 Parra, M.A., Cruz, G. 1980. *Plant and Soil* 56: 3-16.
 Schroeder, J. I., Ward, J.M., Grassman, W. 1994. *Annu. Rev. Biophys. Biomol. Struct.* 23:441-471.
 Singh, A.K. and Dubey, R.S. 1995. *Photosynthetica*, v.31, p. 489-499.
 Theiveyanathana, S. et al. 2004. *Forest Ecology and Management* 194, 97-112.

Tabla 1 - Significación de las comparaciones ortogonales estudiadas ⁽¹⁾

Parámetros	Tratamientos				Combinaciones		Contrastes		
	C	S ₁	S ₂	S ₃	S _{1,2,3}	S _{2,3}	C-S _{1,2,3}	S ₁ -S _{2,3}	S ₂ -S ₃
Peso seco total (g)	68,91	39,92	43,82	43,71	42,48	43,77	**	*	ns
Área foliar (dm ²)	16,72	7,14	8,15	8,39	7,89	8,27	***	**	ns
Peso aéreo/raíz	1,86	1,60	1,55	1,57	1,57	1,56	*	*	ns
Índice de calidad	5,00	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	**	ns	ns
Θ (m ³ m ⁻³)	0,37	0,40	0,36	0,35	0,37	0,36	ns	*	ns
Drenaje (%)	26,06	39,17	36,25	35,06	36,83	35,66	***	ns	ns
CE drenaje (dS m ⁻¹)	2,93	10,83	11,63	10,40	10,95	11,02	*	ns	ns
P_n ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	5,07	3,33	3,47	3,28	3,36	3,38	**	ns	ns
g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	27,02	21,47	22,03	21,21	21,57	21,62	**	ns	ns
éPSII	0,25	0,22	0,24	0,23	0,23	0,24	ns	ns	ns
NPQ	2,11	2,74	2,36	2,38	2,49	2,37	**	**	ns
F_v/F_m	0,83	0,79	0,78	0,77	0,78	0,78	**	ns	ns
ψ_n (MPa)	-1,05	-1,44	-1,46	-1,50	-1,47	-1,48	**	ns	ns
Clorofila SPAD	59,26	49,48	47,55	49,12	48,72	48,33	**	ns	ns
Na hoja (mg g ⁻¹ PS)	0,22	2,67	2,07	2,53	2,42	2,30	**	ns	ns
Cl hoja (mg g ⁻¹ PS)	1,15	3,85	4,02	3,97	3,95	4,00	***	ns	ns
K hoja (mg g ⁻¹ PS)	5,10	4,54	5,25	6,08	4,89	5,67	ns	*	*
Na raíz (mg g ⁻¹ PS)	0,73	1,79	3,63	3,04	2,82	3,34	ns	ns	ns
Cl raíz (mg g ⁻¹ PS)	3,93	2,93	6,01	5,98	4,97	5,99	*	**	ns
K raíz (mg g ⁻¹ PS)	7,47	5,90	6,16	6,07	6,04	6,11	ns	ns	ns

⁽¹⁾Nivel de significación: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$ y ns = no significativo con una $P = 0.05$

Efectos del agua residual depurada sobre el crecimiento y la fotosíntesis de arbustos ornamentales: eficacia de su dilución con agua de riego

Bañón, S.^{1,3}, Miralles, J.¹, Martínez J.A.¹, Ochoa, J.¹, Sánchez Blanco, M.J.^{2,3}

¹Departamento de Producción Vegetal, UPCT. 30203 Cartagena, Spain.

sebastian.arias@upct.es

²Departamento de Riegos, CEBAS-CSIC. P.O. Box164. 30100 Espinardo, Spain

³Unidad Asociada al CSIC. Horticultura Sostenible en Zonas Áridas

ABSTRACT

A greenhouse study was conducted in order to determine: (1) the effects of irrigation with saline reclaimed wastewater on the growth and ornamental value of *Lantana camara* (lantana) and *Polygala myrtifolia* (polygala) in nursery, and (2) the effectiveness of the mix with canal water to reduce negative effects on growth. The experiment site was located in Cartagena, southeastern Spain, where the treated wastewater had received a tertiary treatment. Plants were irrigated with reclaimed wastewater (100%), mix of reclaimed wastewater and canal water (3:1, vol.), mix of reclaimed wastewater and canal water (1:1, vol.) and canal water (100%). Polygala was a tolerant species to irrigation with saline reclaimed wastewater because it showed a slightly reduction of growth, which did not deteriorate ornamental appearance and did not harm the photosynthetic apparatus. Contrary to polygala, the lantana photosynthetic behavior was uncompetitive under irrigation with saline reclaimed wastewater, because it reduces its growth and deteriorates sharply its ornamental appearance. Improving the agronomic quality of the reclaimed wastewater by mixing with canal water diminished some injuries caused by low quality water in lantana; a mix of 50% was the most appropriate treatment to reduce some negative effects of reclaimed wastewater, but it did not avoid a loss of quality. However, polygala was watered properly with any treatments (even a mix of 50% increased the leaf area), which allows its suitable nursery production under reclaimed wastewater irrigation.

INTRODUCCIÓN

En las zonas semiáridas es habitual el uso de aguas de baja calidad para garantizar el riego. Entre éstas, el agua residual depurada (ARD) tiene una buena acogida en la agricultura porque incrementa los recursos hídricos disponibles, y además minimiza el impacto ambiental de su generación (Lubello et al., 2004). Para consolidar esta predisposición, es esencial que el desarrollo de las prácticas de reutilización de agua en la agricultura esté basado en evidencias científicas de sus efectos sobre los cultivos, el medio ambiente y la salud pública. Una problemática importante en el uso de ARD desde el punto de vista del crecimiento y desarrollo de las plantas es su variabilidad, y aspectos como la salinidad y toxicidad iónica son dos problemas cuya magnitud variará según la procedencia del agua.

Para avanzar en estos conocimientos en relación al riego en la producción en maceta de plantas ornamentales, planteamos este experimento cuyos objetivos fueron: (1) conocer los efectos del ARD sobre el crecimiento y desarrollo de dos arbustos ornamentales, (2) averiguar si diluir el ARD de riego reduce los efectos negativos del ARD, y (3) determinar posibles diferencias entre distintos porcentajes de dilución.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se estudiaron dos arbustos ornamentales de un año de edad (*Lantana camara* y *Polygala myrtifolia*) que fueron cultivados en maceta de PVC de 17 cm \varnothing con turba rubia y fibra de coco

al 50% en volumen. El experimento fue realizado en invernadero y en la Finca Experimental de la Universidad Politécnica de Cartagena, iniciándose la primera semana de diciembre de 2009 y finalizando la tercera semana de mayo de 2010. El momento de riego fue determinado por pesada, y el volumen aplicado se determinó cuando se alcanzó alrededor del 15% de drenaje en el control. A todas las soluciones nutritivas se añadió 100 N-30 P₂O₅-120 K₂O-60 CaO (ppm) aumentando 0.7 dS m⁻¹ la CE, y el pH se bajó a 6 con HNO₃. Al final del experimento se midieron parámetros de crecimiento, contenido relativo de clorofila foliar (Minolta SPAD), fluorescencia clorofílica (Fluorímetro FMS-2) e intercambio gaseoso (CIRAS-2). Un índice de calidad visual (ICV) de las plantas fue determinado con una escala de 0 a 5 para hojas caídas, quemadas y decoloradas (<5% [5], 5-10% [4], 10-15% [3], 15-20% [2], 20-25% [1], >25% [0]) y % de inflorescencias del tratamiento respecto al control (>85% [5], 85-75% [4], 75-60% [3], 60-45% [2], 45-30% [1], <30% [0]). Los tratamientos fueron: (1) riego con agua de la comunidad de regantes (ACR) (C); (2) riego con agua mezcla de ARD y ACR al 50% (R₅₀); (3) riego con un 75% de ARD y un 25% de ACR (R₇₅); (4) riego con ARD al 100% (R₁₀₀). El ARD procedió de la depuradora de Los Alcázares (Murcia) con concentraciones iónicas en mg L⁻¹: Na (670), K (23), Ca (173), Mg (128), cloruros (1113), sulfatos (755), carbonatos (<5), bicarbonatos (337), nitratos (17), amonios (0,13), fosfatos (3,94), B (1,57), Mn (<0,02), Fe (<0,04), Cinc (<0,04); y un pH de 8,12 y una CE de 5,11 dS/m. El experimento fue analizado estadísticamente por un análisis de contrastes ortogonales utilizando el paquete SPSS 17.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectos del ARD sobre el crecimiento y desarrollo (R_{50,75,100} vs. C)

El riego con ARD redujo la producción de biomasa seca de polígala un 16% comparado con el control. Este porcentaje fue de 23 para lantana, lo que indica que su crecimiento estuvo más afectado por el ARD que el de polígala. La reducción del crecimiento por el ARD afectó por igual a las raíces y a la parte aérea en polígala, puesto que el ratio A:R no fue significativo; sin embargo, en lantana este ratio aumento por el ARD desde 1,77 (control) a 2,69, indicando que sus raíces fueron más sensibles al ARD que la parte aérea. La afeción del ARD sobre el AF en las dos especies estudiadas fue muy diferente, ya que polígala no fue afectada mientras que lantana produjo un reducción del 30%. Esto fue, en cierta medida, porque el ARD produjo una clara defoliación en lantana, lo que repercutió en un pérdida de calidad de las plantas tal y como sugiere la disminución del ICV. Una mínima bajada de este índice en polígala evidenció que mantuvo un aspecto adecuado a pesar del riego con ARD. Analizando los drenajes, vemos que polígala mantuvo el mismo % del control, mientras que lantana lo duplicó, lo que está en consonancia con el crecimiento de ambas especies bajo ARD (lantana creció menos bajo ARD lo que hizo que consumiera menos agua). La CE de los drenajes indica que ambas especies estuvieron en similares condiciones de salinidad. La respuesta fotosintética de polígala al ARD fue una caída de P_n , mientras que ϵ PSII y NPQ no fueron alterados. Este comportamiento indica que una parte del flujo de electrones fue destinado a otros procesos distintos de la fijación de CO₂. Posiblemente, el ARD promovió procesos de fotorespiración que contribuyeron a disipar el exceso de energía de excitación como mecanismo de protección; los similares valores de F_v/F_m y SPAD entre las plantas control y las estresadas demuestran que estos

procesos fueron tímidos, y no hubo daños intrínsecos en el aparato fotosintético de polígala. La caída de P_n por el riego con ARD fue por una limitación de la entrada de CO_2 (reducción g_s) y una mayor tasa de fotorespiración (Arena et al., 2008). En lantana, el riego con ARD produjo también la caída de P_n y g_s , y la no afectación de éPSII y NPQ, lo que también sugiere derivación de electrones excitados a otros sugiere que procesos que consumen energía, alternativos al CO_2 ; sin embargo, se produjo una clara caída de F_v/F_m por el ARD, lo que indica daños intrínsecos en el PSII (Maxwell and Johnson 2000), que pueden ser consecuencia de fenómenos oxidativos sobre las clorofilas, como confirma la caída de SPAD.

Eficacia de la dilución del ARD con ACR para reducir efectos negativos ($R_{50,75}$ vs. R_{100})

La dilución del ARD con ACR ($R_{50,75}$) frenó la caída de PSP y AF producida por R_{100} en las dos especies. Esto fue muy evidente sobre el AF de lantana, en donde R_{100} redujo el AF un 50% del control, mientras que $R_{50,75}$ sólo lo hizo un 18%. La dilución evitó la caída del ratio A:R en polígala y frenó su aumento en lantana. El ICV mostró cómo la dilución mejoró ligeramente el aspecto ornamental de las dos especies, pero de forma más notoria en lantana. Por tanto, el crecimiento de la especie más sensible al ARD salina (lantana) respondió mejor a la mejora de la calidad del ARD. La mayor fracción de drenaje de R_{100} produjo que la CE de éste disminuyera frente $R_{50,75}$. En ambas especies la dilución aumentó P_n porque aumentó g_s y disminuyó la fotorespiración al mantenerse la éPSII y el NPQ, lo que justificaría el mayor PSP.

Diferencias de efectos de dos porcentajes de dilución del ARD con ACR (R_{50} vs. R_{75})

El riego con R_{50} produjo plantas de polígala con mayor PS y AF que con R_{75} . El ratio A:R fue más alto en R_{50} que en R_{75} (incluso que en el control), lo que sugiere que R_{50} favoreció el crecimiento aéreo (especialmente el AF). Sin embargo, el ICV de las plantas bajo R_{50} fue menor que el de las plantas bajo R_{75} , lo que fue consecuencia de un menor % de floración; el mayor crecimiento foliar fue en detrimento del crecimiento florífero. No parece que los tratamientos R_{50} y R_{75} estuvieran a salinidades muy distintas, porque la CE del drenaje fue similar a pesar de la dilución. El menor drenaje de R_{50} y la gran AF desarrollada por R_{50} contrarrestaron la dilución. Las plantas de lantana regadas con R_{50} también presentaron mayor PS y AF que las regadas con R_{75} , pero a diferencia de la polígala, R_{50} no favorecieron tanto el AF, presentaron mayores diferencias en ICV y un drenaje con similares CE que R_{75} . Los parámetros de fluorescencia clorofílica de polígala fueron similares en ambos tratamientos, mientras que R_{75} redujo P_n y g_s comparado con R_{50} ; parece que la disminución del % de ARD frenó la fotorespiración. En lantana, R_{75} redujo F_v/F_m , SPAD, g_s y P_n comparado con R_{50} , indicando que R_{75} produjo mayores daños en el PSII que R_{50} .

CONCLUSIÓN

Polígala fue una especie tolerante al riego con ARD salina, mientras que lantana fue sensible. Esto produjo que la última especie redujera fuertemente su crecimiento (consecuencia de sufrir daños importantes en el PSII) y su calidad ornamental cuando se regó con ARD, mientras que la primera se vio poco afectada en ambos aspectos. Esta mayor sensibilidad de lantana al ARD hizo que también fuera más sensible a la dilución que polígala. Lantana debería regarse, al menos, con la máxima dilución estudiada (50%) para reducir algunos daños producidos por el ARD. Polígala creció adecuadamente con cualquiera de las

ARD elaboradas, incluso la mezcla al 50% favoreció el crecimiento aéreo (especialmente el AF), que la convierte en una especie interesante para la producción viverística bajo riego salino con alto contenido en sodio, cloruros, sulfatos, magnesio, nitratos y moderado boro.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha financiado por los proyectos CICYT (CICYT AGL2008-05258-CO2-1-AGR and CICYT AGL2008-05258-CO2-2-AGR), SENECA (08669/PI/08) y por el Convenio con la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia (UPCT-CEBAS-IMIDA 2008). Nuestro agradeciendo para ESAMUR por su asesoramiento y predisposición en esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Arena, C. Vitale, I, Virzo de santo, A. 2008. Plant Biosystems 142(3) 472-479
 Lubelloa, C., Gorla, R., Niceseb, F.P., Ferrinic, F. 2004. Water Research 38: 2939-2947
 Maxwell, K. and Johnson, G.N. 2000. Journal of Experimental Botany 51(345): 659-668.

Tabla 1 - Significación del ANOVA y de las comparaciones ortogonales. Área foliar en dm² (AF); peso seco de planta en g (PSP); peso seco aéreo/radical (A:R); índice de calidad visual (ICV); drenaje en % (D), conductividad eléctrica del drenaje en dS m⁻¹ (CE), clorofila foliar (SPAD); fotosíntesis (P_n) y conductancia estomática (g_s) en mmol m⁻² s⁻¹; rendimiento cuántico máximo (F_v/F_m); eficiencia del fotosistema II (éPSII) y el decaimiento no fotosintético (NPQ).

		PSP	A:R	AF	ICV	D	CE	SPAD	P _n	g _s	NPQ	éPSII	F _v /F _m
<i>Polygala myrtifolia</i>													
Tratamientos	C	117,7	2,28	67,7	5,00	15,1	3,8	67,1	5,94	43,33	1,03	0,33	0,85
	R ₅₀	108,0	2,51	72,9	4,75	11,3	9,2	65,5	3,96	39,63	0,95	0,36	0,85
	R ₇₅	97,0	2,25	65,3	5,00	15,2	9,7	65,0	2,59	17,78	0,88	0,34	0,84
	R ₁₀₀	91,8	1,80	60,6	4,75	19,8	10,1	66,0	3,06	16,13	0,97	0,33	0,83
Combinación	R _{50,75,100}	98,9	2,19	66,3	4,83	15,4	9,7	65,5	3,21	24,51	0,93	0,34	0,84
	R _{50,75}	102,5	2,38	69,1	4,88	13,3	9,4	65,2	3,28	28,70	0,92	0,35	0,85
Contrastes	C vs. R _{50,75,100}	**	ns	ns	**	ns	**	ns	**	**	ns	ns	ns
	R ₁₀₀ vs. R _{50,75}	*	*	**	*	**	ns	ns	*	**	ns	ns	ns
	R ₇₅ vs. R ₅₀	**	**	**	*	**	ns	ns	*	**	ns	ns	ns
<i>Lantana camara</i>													
Tratamientos	C	111,0	1,77	30,6	5,00	6,65	4,45	41,2	7,89	48,88	2,00	0,27	0,85
	R ₅₀	90,8	2,53	28,4	4,00	13,86	10,99	38,8	5,66	38,56	1,98	0,27	0,81
	R ₇₅	81,0	2,52	22,1	3,50	14,53	9,49	36,7	4,09	27,01	1,93	0,25	0,79
	R ₁₀₀	69,6	3,02	14,0	3,00	17,97	6,92	28,8	3,78	20,00	2,02	0,26	0,79
Combinación	R _{50,75,100}	80,5	2,69	21,5	3,50	15,46	9,13	34,8	4,51	28,52	1,98	0,26	0,80
	R _{50,75}	85,9	2,52	25,2	3,75	14,20	10,24	37,7	4,88	32,79	1,96	0,26	0,80
Contrastes	C vs. R _{50,75,100}	***	**	**	***	***	**	*	***	***	ns	ns	**
	R ₁₀₀ vs. R _{50,75}	**	**	***	**	**	***	***	**	*	ns	ns	ns
	R ₇₅ vs. R ₅₀	***	ns	**	**	**	**	ns	*	**	ns	ns	**

⁽¹⁾Nivel de significación: *P < 0.05, **P < 0.01, ***P < 0.001 y ns = no significativo

Genetic control of ecophysiological traits under water stress in a full-sib family of *Pinus pinaster* Ait.

de Miguel, M.¹, Sánchez-Gómez, D.², Cervera, M.T.¹, Aranda, I.¹

¹Centro de Investigación Forestal (CIFOR), Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Crta. de la Coruña Km 7.5, 28040 Madrid. Spain.

demiguel.marina@inia.es

²Unidad de Anatomía, Fisiología y Genética Forestal, E.T.S.I Montes, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid. Spain.

ABSTRACT

A full-sib family was used in a drought induced experiment to analyze genetic control of ecophysiological characters in response to water stress. All physiological and morphological traits analyzed were significantly influenced by water stress. We found evidence of genetic control in WUE_i and SLA but not in other physiological traits related with gas exchange.

LIST OF ABBREVIATIONS

A= Photosynthesis; ETR= Electron Transport Rate; g_{sw}= Stomatal conductance to water vapor; H²= Broad Sense Heritability; SLA= Specific Leaf Area; WUE_i= Intrinsic Water Use Efficiency.

INTRODUCTION

Genetic control of traits related with adaptation and productivity of forest tree species has been a subject of study over the past few decades (Cornelius 1994). If plant populations show significant genetic variance for a trait of interest, it would imply that heritable difference in this trait exists with the potential for microevolutionary change through natural selection (Schuster et al., 1992). On the other hand, assessing the amount of heritable differences in traits of interest is essential to improve breeding programs in forest tree species (White et al., 2007). This has been common on traits related with growth for long time, although less information is available for physiological traits.

The study of drought adaptation has gained remarkable relevance in the context of climate change where an increase is expected in the duration and intensity of drought periods, especially in the Mediterranean region (IPCC, 2007). The study of drought resistance in *Pinus pinaster* Ait. becomes important because it is a forest species with a wide distribution in the Mediterranean area (Alia et al. 1996). The species has complex drought adaptation mechanisms involving drought-avoidance with a high stomatal sensitivity to dry soils (Picon et al., 1996), and some drought tolerance mechanisms such as osmotic adjustment (Nguyen-Queyrens et al. 2003) or changes in biomass partitioning (Sánchez-Gómez et al. 2010; Aranda et al., 2010).

In the last years several studies tried to elucidate the ecophysiological response to water stress and to evaluate its genetic control (Brendel et al., 2008; Roussel et al., 2009; Aranda et al. 2010). To contribute to the understanding of this topic we have addressed two questions: 1) Which is the degree of genetic control on ecophysiological characters in response to drought in *P. pinaster*? 2) Are these traits showing heritable differences?

MATERIALS AND METHODS

A full-sib family derived from a controlled cross between two contrasting progenitors in its response to drought (female parent from Galicia –wet site- and the male parent from Almeria –dry site-, Spain) was selected and studied. The controlled cross was carried out in 2005 and produced 103 genotypes to construct a clonal bank. Three to four rooted cuttings per genotype were produced from the clonal bank in 2008 and planted in 1L containers in a greenhouse at INIA (Madrid). Clones were grown under environmental conditions of controlled temperature and humidity in the green-house ($T_m=25^\circ\text{C}$, $HR_m=60\%$). Plant material was distributed in a randomized incomplete block design. A three-week experiment was performed in 2009 by submitting plants to a water stress cycle. First week consisted in watering to full capacity to measure gas exchange variables (A and g_s), fluorescence (ETR), WUEi (as the ratio of A/g_{sw}) and SLA (as the ratio of leaf area/leaf weigh). Afterwards, watering was stopped. Evaluation of the same variables were carried out after 7 and 14 days without irrigation. Gas exchange and fluorescence measurements were performed with a Li-cor 6400 Infra Red Gas Analyzer (Lincoln, USA).

Linear correlations between traits were estimated using Pearson's correlation coefficients. To characterize genetic variation present in the full-sib family the following Linear Mixed Model was used:

$$y_{ij} = \mu + B_i + G_j + T + T * B_i + T * G_j + \epsilon_{ij}$$

where μ is the overall mean, B_i is the effect of block i considered as fixed, G_j is the effect of Genotype j considered as random, H is a co-variable indicating TDR, and $T*B_i$ and $T*G_j$ are the interactions of TDR with block and with genotype respectively. All statistical analysis were performed with R software (version 2.10.1, a Language and Environment Copyright,2009). The broad-sense heredability (H^2) was calculated as:

$$H^2 = \frac{G_j}{P}$$

where P is the total phenotypic variance. H^2 express the amount of phenotypic variation from progenitors transferred to their descendants (Falconer, 2001)

RESULTS AND DISCUSSION

All phenotypic correlations between studied variables were significant at 0.01 level (table 1). Soil moisture was positively correlated with all variables but WUEi, which showed a negative correlation. g_s showed the highest correlation with soil moisture as expected in a

species that follow a drought-avoiding strategy with a high sensitivity of stomata to soil humidity (Picon et al.1996). WUE_i showed a stronger correlation with g_{sw} than with A, indicating a major role of g_{sw} in the variability of WUE_i (Roussel et al, 2009). SLA showed weak correlations with physiological traits, suggesting that leaf morphology affected principally g_{sw} (table 1) maybe due to differences in stomatal density (Roussel et al, 2009).

All the studied variables showed significant block and soil moisture effects (table 2). We found a significant effect of genotype in WUE_i, ETR and SLA. Only WUE_i showed a weak significant effect of genotype * environment interaction. This result indicates that WUE_i response to changes in soil moisture is different depending on the genotype. This pattern could indicate a differential genetic responsiveness in reaction to drought, as reported by Aranda et al. (2010) in natural populations of *Pinus pinaster*. In general, broad-sense heritabilities were insignificant except for WUE_i and SLA (table 3). A possible explanation for the low levels of H² in gas exchange variables could be that these traits are under strong ambient influence (Mielke et al. 2000).

		Soil Moisture	A	g _{sw}	WUE _i	ETR	SLA
Soil Moisture	PC	1	,489(**)	,685(**)	-,458(**)	,337(**)	,296(**)
	N		1.061	1.061	1.053	1.136	1.115
A	PC		1	,682(**)	-,290(**)	,670(**)	,213(**)
	N			1.063	1.055	1.063	1.043
g _{sw}	PC			1	-,648(**)	,397(**)	,315(**)
	N				1.055	1.063	1.043
WUE _i	PC				1	-,154(**)	-,174(**)
	N					1.055	1.035
ETR	PC					1	,151(**)
	N						1.123
SLA	PC						1
	N						

Table 1. Linear correlations between study variables for a full-sib family of 103 individuals with 3-4 replicates per genotype. PC: Pearson coefficient of correlation. N: number of individuals. (**) signification level indicating p_value <0.01.

	Block	Soil moisture	Genotype	Soil moisture*Genotype	Soil moisture*Block
A	***	***	-	-	*
g _{sw}	***	***	-	-	***
WUE _i	*	***	***	***	-
ETR	***	***	***	-	***
SLA	***	***	***	-	-

Table 2. Signification Levels of Linear Mixed Models developed for each variable of study. (*)p_valor<0.05 (**)p_valor<0.01 (***)p_valor <0.001.

	H^2
A	0,004
g_{sw}	0,03
WUE_i	0,3
ETR	0,07
SLA	0,27

Table 3. Broad-sense heritabilities for study variables estimated for 103 individuals with 3 or 4 rooted cuttings per genotype from a full-sib family under drought stress. WUE_i and SLA showed the highest values of heritability.

CONCLUSIONS

All, physiological and morphological traits were significantly influenced by water stress.

WUE_i seems to be more influenced by g_{sw} than by A.

We found evidence of genetic control of WUE_i and SLA but not in other traits related with gas exchange, and which changes were more explained by the imposition of drought.

WUE_i was the trait showing highest heritability in response to drought in the full-sib family under study, with a moderate value of 30%.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was funded by the Spanish project AGL2009-10496.. M. de Miguel was supported by a pre-doctoral fellowship granted by INIA. Technical assistance of Luis Alté and Luis Diaz is gratefully acknowledged.

BIBLIOGRAPHY

- Alfá, R., Martín, S., De Miguel, J., Galera, R. M., Agundez, D., Gordo, J., Salvador, L. Catalan, G. Gil, L. 1996. Regiones de procedencia de *Pinus pinaster*. Madrid: Organismo Autónomo Parques Nacionales.
- Aranda, I., Alfá, R., Ortega, U., Dantas, A.K., Majada, J. 2010. *TGG* 6: 169-178.
- Brendel, O., Le Thiege, D., Scotti-Saintagne, C., Bodénès, C., Kremer, A., and Guehl, J.-M. 2008. *TGG* 4: 263-278.
- Cornelius, J. 1994. *Can J For Res* 24: 372-379.
- Falconer, D.S. 1981. Introduction to Quantitative Genetics. London/New York. Logmans Green.
- IPCC. 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. IPCC, Ginebra, 104p.
- Mielke, M.S., Oliva, M.A., de Barros, M.F., Penchel, R.M., Martínez, C.A., da Fonseca, S., de Almeida, A.C. 2000. *Trees* 14:263-270.
- Nguyen-Queyrens A., Bouchet-Lannat F., *Tree Physiol* 23 (2003) 397-404.
- Picon, C., Guell, J. M., and Ferhi, A. 1996. *Plant Cell & Environment* 19: 182-190.
- R Development Core Team (2010). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Roussel, M., Le Thiege, D., Montpied, P., Ningre, N., Guehl, J. M., and Brendel, O. 2009. *Annals of Forest Science* 66: 408.
- Sánchez-Gómez, D., J. Majada, I. Feito, R. Alfá, and I. Aranda. 2010. *Annals of Forest Science* 67: (DOI: 10.1051/forest/2010007)
- Schuster, W. S. F., Phillips, S. L., Sandquist, D. R., and Ehleringer, J. R. 1992. Heritability of carbon isotope discrimination in *gutierrezia-microcephala* (asteraceae). *American Journal of Botany* 79: 216-221.
- White, T. L., Adams, W. T., and Neale, D. B. 2007. Forest Genetics. Oxfordshire, UK: CABI Publishing.

Efecto de la sequía, el elevado CO₂ y la competencia intra- e interespecífica en las relaciones hídricas de 4 especies pratenses

Miranda-Apodaca J, Pérez-López U, Robredo A, Lacuesta M*, Mena-Petite A, Muñoz-Rueda A.

Dpto. Biología Vegetal y Ecología. Facultad de Ciencia y Tecnología y Facultad de Farmacia*, Universidad del País Vasco (UPV/EHU). Apdo.644. 48080. Bilbao. España.

j.miranda.apodaca@gmail.com

ABSTRACT

The increasing atmospheric CO₂ may cause global warming as well as changes in the precipitation patterns and, thus, plants will face water deficits which in turn will reduce productivity. Since there have been few studies on the effects of increasing CO₂ on the physiology of grassland species under drought, the present study attempts to analyse some of the potential consequences on the water relations on *Agrostis capillaris*, *Festuca rubra*, *Trifolium repens* and *Trifolium pratense*, all of them under intra- and interspecific competition. Under ambient CO₂ and drought, grasses growing under intraspecific competence did not change either relative water content, or water potential, while when growing under interspecific competence, both parameters decreased. Elevated CO₂ alleviated this decrease. Regarding leguminous species, relative water content and water potential decreased severely under intra- and interspecific competence, although elevated CO₂ mitigated this effect. Generally, in all the species, water potential decreased due to dehydration, although osmotic adjustment also occurred in some cases. Moreover, under elevated CO₂, dehydration was usually lower.

INTRODUCCIÓN

Bajo las condiciones climáticas futuras, además del aumento de la concentración de CO₂ asociado al cambio climático (Fangmeier et al., 2000), se esperan variaciones en la distribución y en la intensidad de las precipitaciones, pudiendo llegar a ser excesivas en ciertas zonas y a reducirse notablemente en otras (Ruiz-Sánchez et al., 2007). Este desajuste en las precipitaciones generará sequías prolongadas limitando el crecimiento de las plantas.

La respuesta de las plantas tanto al aumento de la [CO₂] como a la sequía varía ampliamente entre especies (Poorter et al., 1996) y dentro de una especie difiere según la limitación de otros recursos y de la competencia por los mismos (Körner et al., 1996). Además, la respuesta de las especies a las interacciones planta-planta y al CO₂ y la sequía es antagónica en varios casos, ya que se han observado especies que son estimuladas por el elevado CO₂ cuando crecen en monocultivo y que no lo son cuando crecen en una mezcla de especies, y viceversa (Bazzaz and Garbutt, 1988; Williams et al., 1988; Reining, 1995; Teughels et al., 1995).

Con estas previsiones, el objetivo del presente estudio es observar la interacción del elevado CO₂ y la sequía en las relaciones hídricas de especies pratenses, determinando si existen diferencias cuando crecen en competencia intraespecífica (monocultivo) con respecto a cuando lo hacen en competencia interespecífica (mezcla).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó con cuatro especies pratenses, dos de ellas gramíneas (*Agrostis capillaris* L. y *Festuca rubra* L.) y dos leguminosas (*Trifolium pratense* L. y *Trifolium repens* L.) crecidas en cámara de crecimiento Conviron E15 (Conviron, Manitoba, Canadá), a una intensidad de luz de $400\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, con un fotoperiodo de 14/10h (día/noche), temperatura de 24/20°C (día/noche) y HR de 70/80% (día/noche), bajo dos concentraciones de CO₂: 370 y 740ppm. Se sembraron 12 plantas por maceta en tiestos de 2,5L, usando como sustrato turba y vermiculita en proporción 1:1, v/v. La densidad de plántulas fue de 522 plántulas·m⁻². Las plantas se mantuvieron durante un mes en condiciones de riego y posteriormente se les aplicó durante 14 días una sequía que consistió en el riego del 20% de su evapotranspiración.

Los parámetros analizados fueron: el potencial hídrico (Ψ_h) mediante cámara de presión tipo Scholander, el potencial osmótico (Ψ_o) mediante osmómetro OSMOMAT de Gonotec, el Ψ_o^{100} y el ajuste osmótico (AO) según Robredo et al. (2007), el grado de deshidratación (DH) como la diferencia entre el Ψ_o^{100} y el Ψ_o y el contenido hídrico relativo de hoja (CHR), mediante técnicas gravimétricas (Pérez-López et al., 2009).

Tabla 1. CHR en 4 especies pratenses tras 14 días de tratamiento de sequía, a CO₂ ambiental (370 ppm) o CO₂ elevado (740ppm).

	70		740	
	Mono	Mezcla	Mono	Mezcla
<i>A. capillaris</i>	83,42	37,68	96,39	59,73
<i>F. rubra</i>	95,88	24,45	95,39	47,83
<i>T. pratense</i>	23,73	34,93	41,23	56,63
<i>T. repens</i>	44,45	42,05	64,48	52,83

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las gramíneas (*A. capillaris* y *F. rubra*) se observa que a CO₂ ambiental y en condiciones de monocultivo no se ve afectado el CHR, mientras que en mezcla desciende a valores por debajo del 40% (Tabla 1). El elevado CO₂ permite a ambas especies mantener un CHR más alto.

Por otro lado, las leguminosas ven reducido su CHR tanto en competencia intraespecífica como interespecífica a CO₂ ambiental. La especie *T. pratense* es la más afectada de todas, siendo en monocultivo donde muestra un menor CHR, llegando a valores inferiores al 25%. *T. repens* muestra la misma tendencia en ambas condiciones de competencia, alcanzando valores ligeramente superiores al 40%. El elevado CO₂ les permite mantener un CHR superior a las dos especies.

Dentro del grupo funcional de las gramíneas, a CO₂ ambiental la sequía provoca tras 14 días de tratamiento en *A. capillaris* una caída de su Ψ_h hasta valores de -3,88 MPa (Fig. 1B) en condiciones de competencia interespecífica, mientras que en competencia intraespecífica no se ve tan afectada, siendo el descenso hasta valores de -1,64 MPa (Fig. 1A). El elevado CO₂ mitiga el efecto de la sequía en mezcla en un 37%, pero este efecto no se observa en el crecimiento en monocultivo (Fig. 1A,B). *F. rubra* muestra una tendencia similar, siendo el efecto mitigador del CO₂ de casi el 65% (Fig. 1E,F).

En las leguminosas se observa un comportamiento distinto para cada especie. A CO₂ ambiental en *T. pratense* la caída del Ψ_h es progresiva y ligeramente mayor en monocultivo que en mezcla, llegando al final del tratamiento de sequía a valores de -5,88 y -5,33 MPa, respectivamente (Fig. 2A,B). En *T. repens* el comportamiento es similar en ambas condiciones de competencia, descendiendo a valores cercanos a -4 MPa (Fig. 2E,F). Por otro lado, el elevado CO₂ permite a la

planta mantener un Ψ_h menos negativo, consiguiendo mantenerse en valores de -2,85 MPa en *T. pratense* en mezcla y de -2,74 MPa en *T. repens* en monocultivo (Fig. 2A,B,E,F).

T. repens muestra a CO₂ ambiental y en mezcla un mayor descenso del Ψ_o , llegando a valores de -5,05 MPa (Fig. 2G,H), siendo esta bajada causada por un mayor grado de deshidratación y un mayor ajuste osmótico que en monocultivo (Tabla 2). A elevado CO₂ dicha especie consigue mantener el Ψ_o menos negativo en los dos tipos de competencia, un 10% en monocultivo y un 25% en mezcla, gracias a una menor deshidratación.

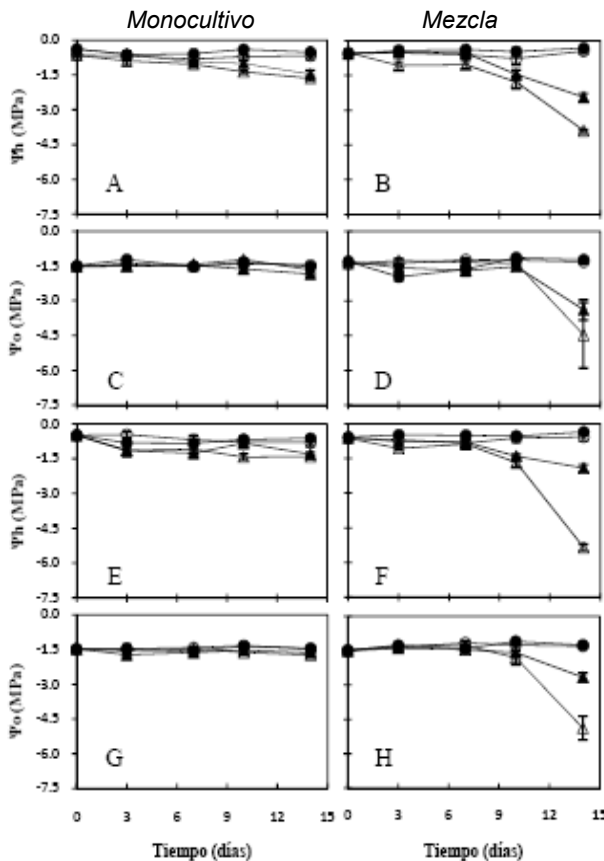


Figura 1. Efecto del riego (o) y la sequía (Δ) en el Ψ_h (A,B,E,F) y Ψ_o (C,D,G,H) en las gramíneas *A. capillaris* (A,B,C,D) y *F. rubra* (E,F,G,H) crecidas a CO₂ ambiental (370 ppm, blancos), o a elevado CO₂ (740 ppm, negros)

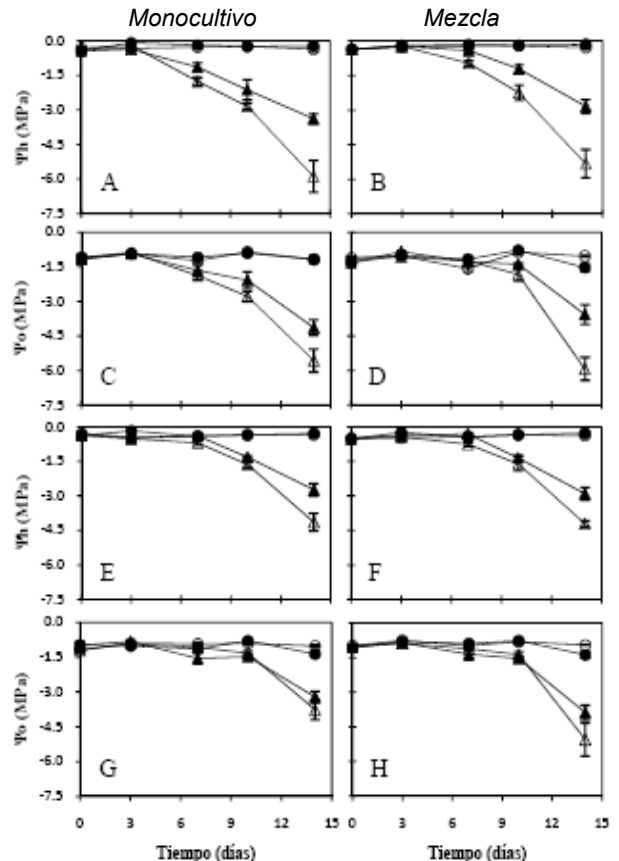


Figura 2. Efecto del riego (o) y la sequía (Δ) en el Ψ_h (A,B,E,F) y Ψ_o (C,D,G,H) en las leguminosas *T. pratense* (A,B,C,D) y *T. repens* (E,F,G,H) crecidas a CO₂ ambiental (370 ppm, blancos), o a elevado CO₂ (740 ppm, negros)

La especie *T. pratense* a CO₂ ambiental muestra un grado de deshidratación similar en los dos tratamientos de competencia (Tabla 2), siendo este hecho el mayor responsable del descenso del Ψ_o a valores de -5,57 y de -5,93 MPa para el monocultivo y la mezcla, respectivamente (Fig. 2C,D). En la competencia interespecífica se aprecia un ajuste osmótico superior lo que provoca que el Ψ_o sea más alto que en competencia intraespecífica. El elevado CO₂ permite a la planta mantener un Ψ_o menos negativo, un 25% en monocultivo y un 39% en mezcla, debido a una disminución de la deshidratación prácticamente a la mitad.

En las gramíneas, el Ψ_o sigue la misma tendencia que el Ψ_h , disminuyendo únicamente a los 14 días del tratamiento de sequía y en condiciones de mezcla. No se observan diferencias de comportamiento entre las dos especies en cuanto a la deshidratación, constatándose que en las condiciones de menor Ψ_o anteriormente citadas es cuando mayor grado de deshidratación se observa (Tabla 2). A CO₂ ambiental no se observa ajuste osmótico en ninguna de las dos especies, mientras

Tabla 2. DH y AO en 4 especies pratenses tras 14 días de tratamiento de sequía, a CO₂ ambiental (370ppm) o CO₂ elevado (740ppm).

		370		740	
		Mono	Mezcla	Mono	Mezcla
<i>Agrostis capillaris</i>	DH	0,445	3,238	0,252	1,566
	AO	-0,018	0,072	0,276	0,484
<i>Festuca rubra</i>	DH	0,245	4,172	0,240	1,656
	AO	0,211	-0,443	0,120	-0,088
<i>Trifolium pratense</i>	DH	4,810	4,452	2,848	1,904
	AO	-0,203	0,645	0,333	0,339
<i>Trifolium repens</i>	DH	2,471	3,432	1,465	2,223
	AO	0,447	0,830	0,615	0,481

que a elevado CO₂ *A. capillaris* en mezcla aumenta su ajuste osmótico en paralelo con una disminución del grado de deshidratación como adaptación al tratamiento de sequía. En *F. rubra* el elevado CO₂ permite mantener en condiciones de competencia interespecífica un Ψ_o menos negativo, gracias a un menor grado de deshidratación, mientras que no se aprecian diferencias en el ajuste osmótico.

CONCLUSIONES

Las gramíneas se encuentran mejor adaptadas a la sequía en condiciones de monocultivo que los tréboles, siendo *T. pratense* la especie más afectada. El elevado CO₂ mitiga el efecto de la sequía en monocultivo.

En condiciones de mezcla las cuatro especies se ven afectadas por la sequía, siendo *F. rubra* la más perjudicada. El elevado CO₂ mejora entre el 10% y el 25% el efecto de la sequía en mezcla.

El mejor estado hídrico de las plantas sometidas a sequía y a CO₂ elevado se debe, fundamentalmente, a una menor deshidratación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos ETORTEK 07/44, GRUPO GV-IT 326-10 y UNESCO09/18. Jon Miranda-Apodaca disfruta de una beca predoctoral del Gobierno Vasco.

BIBLIOGRAFÍA

- Bazzaz** FA, Garbutt K. 1988. Ecology, 69: 937-946.
- Fangmeier** A, Chrost B, Högy P, Krupinska K. 2000. Environ. Exp. Bot., 48: 1835-1841.
- Körner** Ch, Bazzaz FA, Field CB. 1996. In: Körner Ch, Bazzaz FA, eds. Carbon dioxide, populations and communities. San Diego, CA, USA: Academic Press, 375-412.
- Pérez-López** U, Robredo A, Lacuesta M, Mena-Petite A, Muñoz-Rueda A. 2009. Environ. Exp. Bot., 66: 463-470.
- Poorter** H, Roumet C, Campbell BD. 1996. In: Körner Ch, Bazzaz FA, eds. Carbon dioxide, populations and communities. San Diego, CA, USA: Academic Press, 375-412.
- Reining** F. 1995. Photosynthetica, 31: 501-508.
- Robredo** A, Pérez-López U, Sainz de la Maza H, González-Moro B, Lacuesta M, Mena-Petite A, Muñoz-Rueda A. 2007. Environ. Exp. Bot., 59 (3): 252-263.
- Ruiz-Sánchez**, M.C., Domingo, R., Pérez-Pastor, A. 2007. Biol. Plant., 51: 735-740.
- Teughels** H, Nijs I, Vanhecke P, Impens I. 1995. J. Biogeogr., 22: 297-305.
- Williams** WE, Garbutt K, Bazzaz FA. 1988. Environ. Exp. Bot., 28: 123-130.

Respuesta al estrés hídrico del diámetro del tronco y del flujo de savia en un olivar en seto de alta densidad

Rodríguez-Domínguez, C.M.¹, Díaz-Espejo, A.¹, Martín-Palomo, M.J.², Cuevas, M.V.¹, Pérez-Martín, A.¹, Torres-Ruiz, J.M.¹, Fernández, J.E.¹

¹Inst. de Rec. Nat. y Agrobiología de Sevilla (IRNASE - CSIC). Apto. 1052, 41080-Sevilla. España.

crdominguez@us.es

²EUITA, Departamento de Ciencias Agroforestales, Carretera de Utrera Km. 1, 41013-Sevilla. España.

RESUMEN

El experimento se está llevando a cabo durante la estación de crecimiento de 2010 en un olivar en seto de alta densidad con tres tratamientos de riego (Control con 100% de ET_c y dos tratamientos de riego deficitario controlado, RDC, con 20% y 60% de ET_c). El objetivo es determinar la utilidad de la información obtenida con distintos índices, derivados de las variaciones del diámetro del tronco y del flujo de savia en árboles representativos de cada tratamiento, para la mejora del control y programación del riego. El uso combinado de dos nuevos índices, basados en la diferencia entre el tratamiento RDC y el Control, del valor máximo diario del diámetro del tronco y de la transpiración del árbol (E_p), parece ser más útil que las intensidades de señal calculadas a partir de los valores diarios de máxima contracción diaria y de E_p .

INTRODUCCIÓN

Las medidas de la variación del diámetro del tronco (VDT) y de flujo de savia (FS) parecen ser prometedoras para la programación del riego en un buen número de especies frutales (Fernández et al. 2008, 2010). Para el olivo, sin embargo, los resultados han sido peores que para otras especies, especialmente en el caso de árboles adultos en años de carga. Cuevas et al. (2010), por ejemplo, analizaron registros de VDT en olivos 'Manzanilla' de 40 años de edad con carga abundante y encontraron que la intensidad de señal (I_s), calculada tanto a partir de la máxima contracción diaria (MCD) como de la recuperación diaria, no respondió al aumento del estrés hídrico en los árboles hasta que éste fue severo. Esta falta de sensibilidad de I_s se debió, según los autores, a la notable capacidad de absorción de agua del olivo, favorecida en el caso estudiado por encontrarse los árboles en un suelo con elevada capacidad de retención de agua. Este comportamiento coincide con los observado dos años antes en la misma parcela por Fernández et al. (en revisión), en la que se observó que la transpiración (E_p) de árboles sometidos a riego deficitario, determinada a partir de medidas de FS, no se vio afectada hasta que el descenso del agua en el suelo fue muy acentuado. Estos autores tampoco vieron una respuesta clara de la I_s , calculada tanto a partir de la MCD como de la E_p . De hecho, propusieron el uso combinado de la evolución de las diferencias entre el tratamiento deficitario y el control, de los valores máximos diarios del diámetro del tronco (MXDT) y de E_p . Se lograba así obtener una información más detallada y útil sobre el efecto del descenso de la humedad del suelo en la evolución del estrés hídrico y del consumo de agua de los árboles. Se desconoce, sin embargo, el comportamiento de este nuevo índice en plantaciones jóvenes de

olivar en seto, en las que tanto el crecimiento del árbol como el volumen de la rizosfera son muy diferentes.

El objetivo de este trabajo fue evaluar dos indicadores del estado hídrico (flujo de savia y diámetro del tronco) en una plantación de olivos 'Arbequina' en seto de alta densidad. Se comprobó la respuesta de distintos índices, derivados de los registros de ambos indicadores, al aumento del estrés hídrico durante un periodo de reducción de la frecuencia de riego.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las medidas se hicieron en un olivar comercial de unas 9 ha, en Utrera, Sevilla (37° 14' N, -5° 80' O). Los árboles, 'Arbequina' de 4 años y con carga abundante, están plantados a 4 m × 1.5 m (1667 árboles/ha). El seto tiene una altura de unos 2.5 m y una anchura máxima de 1.40 m aprox. En los primeros 0.7-0.8 m el suelo es arenoso, sin piedras, con una baja capacidad de retención del agua. Esta capa, con 85% de arena, 4 % de limo y 11% de arcilla, tiene un contenido volumétrico de agua en el suelo (θ) de 0.18 m³ m⁻³ a capacidad de campo (-0.03 MPa) y de 0.05 m³ m⁻³ para punto de marchitez (-1.5 MPa). Debajo hay una capa arcillosa, de reducida conductividad hidráulica. A partir del 18 de junio se vienen aplicando tres tratamientos de riego: un Control en el que se aplica el 100% de ET_c, y dos tratamientos de riego deficitario controlado con 20% y 60% de ET_c (20RDC y 60RDC). Se estableció un diseño de bloques al azar con cuatro parcelas elementales (p.e.) por tratamiento, de 12 m × 16 m cada una.

En tres de las cuatro p.e. de cada tratamiento se eligió un árbol representativo, que se instrumentó antes del inicio del periodo de riego con un dendrómetro (Verdtech Nuevo Campo, España) y dos sondas para la determinación del flujo de savia con el método de compensación de pulso de calor, CPC (Tranzflow, Nueva Zelanda). La instalación de los sensores se hizo en el tronco, entre 0.2 y 0.4 m del suelo. La evolución de la evapotranspiración potencial (ET_o) en la zona se obtuvo de una estación meteorológica cercana, perteneciente a la R.I.A. de la Junta de Andalucía. Cada dos semanas se midió el potencial hídrico foliar antes del amanecer (Ψ_{aa}) y el potencial del tallo a mediodía (Ψ_{tallo}), con una cámara de presión (PMS Instrument Company, USA), muestreando dos hojas por árbol, en un árbol de cada p.e. A partir de los registros de VDT se calculó la intensidad de señal de la MCD, I_s MCD (Fernández et al., 2010) y la diferencia entre los valores de MXDT registrados en los árboles RDC frente al Control, tras considerar el valor inicial igual a cero, conocido como diferencia entre MXDT relativos (Fernández et al., en revisión). De igual forma, a partir de los registros de FS se calculó I_s E_p y la diferencia entre E_p relativas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El 22 de junio, día del año (DDA) 173, comenzó un periodo de restricción del riego en ambos tratamientos RDC, ya que la estrategia RDC aplicada contempla una reducción de la frecuencia del riego desde finales de junio a finales de agosto, periodo de tolerancia del olivo a la sequía. La Fig. 1A muestra las dosis de riego (DR) aplicadas desde ese momento hasta un mes aprox. más tarde. También muestra la evolución de la demanda atmosférica en ese periodo. El 17 de junio (DDA 168), poco antes del periodo mostrado en la Fig. 1, los valores ($n = 8 \pm SE$) de Ψ_{aa} y Ψ_{tallo} fueron $\Psi_{aa} = -0.61 \pm 0.03$ y $\Psi_{tallo} = -1.44 \pm 0.05$ en 20RDC, y $\Psi_{aa} = -$

0.55 ± 0.04 y $\Psi_{\text{tallo}} = -1.64 \pm 0.12$ en 60RDC. Ese mismo día se registraron $\Psi_{\text{aa}} = -0.48 \pm 0.03$ y $\Psi_{\text{tallo}} = -1.36 \pm 0.03$ en Control. Durante el periodo mostrado en al Fig. 1 se registró un notable aumento del estrés hídrico en los árboles RDC. Así, el 29 de julio (DDA 210), $\Psi_{\text{aa}} = -2.10 \pm 0.21$ y $\Psi_{\text{tallo}} = -3.28 \pm 0.05$ en 20RDC y de $\Psi_{\text{aa}} = -1.58 \pm 0.15$ y $\Psi_{\text{tallo}} = -3.20 \pm 0.22$ en 60RDC, frente a $\Psi_{\text{aa}} = -0.54 \pm 0.03$ y $\Psi_{\text{tallo}} = -1.47 \pm 0.04$ en Control. Durante este periodo no hubo una clara correspondencia entre la evolución de la *ls* MCD y el progresivo aumento del estrés hídrico en los árboles 20RDC y 60RDC (Fig. 1B). El valor de la *ls* E_p en 20RDC, en cambio, empezó a decrecer tan pronto como el riego pasó de ser diario a semanal (Fig. 1C); al cabo de unos 13 días (DDA 185), los valores de la *ls* E_p eran la mitad aprox. que antes de este cambio en la frecuencia del riego. Los valores de la *ls* E_p en 60RDC tardaron más en decrecer, y lo hicieron de forma menos aparente. Las evoluciones del nuevo índice propuesto por Fernández et al. (en revisión) fueron aún más claras (Fig. 2A): en 20RDC, las diferencias entre MXDT relativos empezaron a disminuir unos 10 días después de la reducción en la frecuencia del riego, mostrando desde entonces, y hasta el final del periodo considerado, un descenso continuado, salvo ligeros repuntes coincidentes con los días de riego; en 60RDC el descenso comenzó más tarde y fue mucho menos evidente. Moriana y Fereres (2002) ya habían observado que el crecimiento estacional de olivos jóvenes estaba bien reflejado en los valores de MXDT, mientras que MDS parecía más útil como indicador para la programación del riego en árboles más maduros, con un crecimiento menos activo. La respuesta más clara la mostró la evolución de las diferencias entre E_p relativas (Fig. 2B): en 20RDC, los valores de este índice comenzaron a descender inmediatamente tras la reducción en la frecuencia de riego, hasta DDA 185 aprox; en 60RDC el descenso tras el cambio en la frecuencia del riego se observó unos 4 días más tarde que en 20RDC, siendo también menos acentuado. Los valores mínimos se alcanzaron en torno a DDA 185, en ambos tratamientos. En todo el periodo se observó una buena correspondencia entre el valor de este índice y la frecuencia de riego, registrándose, en ambos tratamientos, subidas del valor del índice los días en los que se regaba. La comparación de nuestros resultados con los de Fernández et al. (en revisión), ilustra claras diferencias en la evolución del estrés y de la transpiración entre árboles jóvenes con una rizosfera pequeña y árboles adultos con un mayor volumen de suelo explorado por las raíces.

CONCLUSIONES

De todos los índices analizados, la diferencia relativa entre las E_p relativas ha resultado ser el más relacionado con la evolución del estrés en olivos jóvenes de una plantación en seto con alta densidad de planta. La *ls* MCD ha resultado inútil y la *ls* E_p ha dado información clara en el caso de los árboles 20RDC, pero para los 60RDC, menos estresados, este índice no ha resultado tan útil. Algo parecido se puede decir de las diferencias entre MXDT relativos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, proyecto AGL2009-11310/AGR. La primera autora disfruta de una beca FPI de la Junta de Andalucía.

BIBLIOGRAFÍA

Fernández et al. 2001 Heat-pulse measurements of... *Agr Water Manage*, 51:99-123.

Fernández et al. 2008 The use of sap flow measurements... *Plant Soil* 305:91-104.
 Fernández et al. 2010 Combining sap flow and trunk... *Env Exp Bot* (en revisión).
 Moriana y Fereres 2004 Plant indicators for... *Irrig Sci* 21:83-90.
 Ortuño et al. 2006 Stem and leaf water potentials, gas... *Trees*, 20:1-8.
 Green et al. 2003 Theory and practical application... *Agron J* 95:1371-1379.

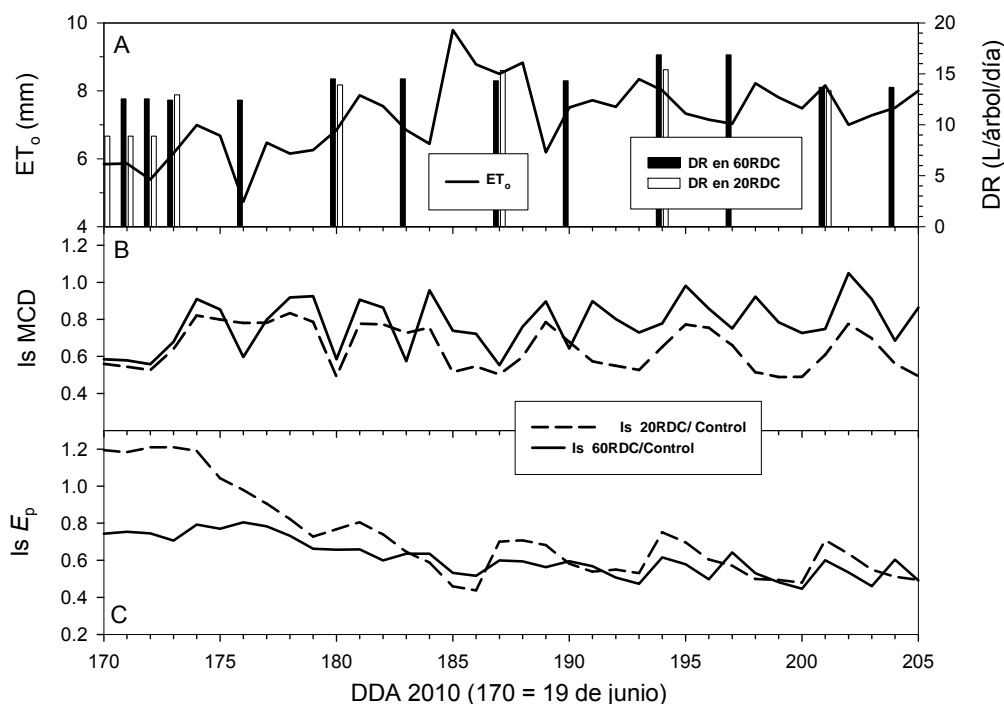


Figura 1. Evolución de la evapotranspiración potencial (ET_o) y de las dosis de riego (DR) durante un periodo de aumento del estrés hídrico en los árboles sometidos a los tratamientos de riego deficitario controlado (RDC) con el 20% y 60% de ET_c (A). Intensidad de señal (Is) calculada a partir de la máxima contracción diaria (MCD) (B) y de la transpiración de los árboles (E_p) (C). DDA = día del año.

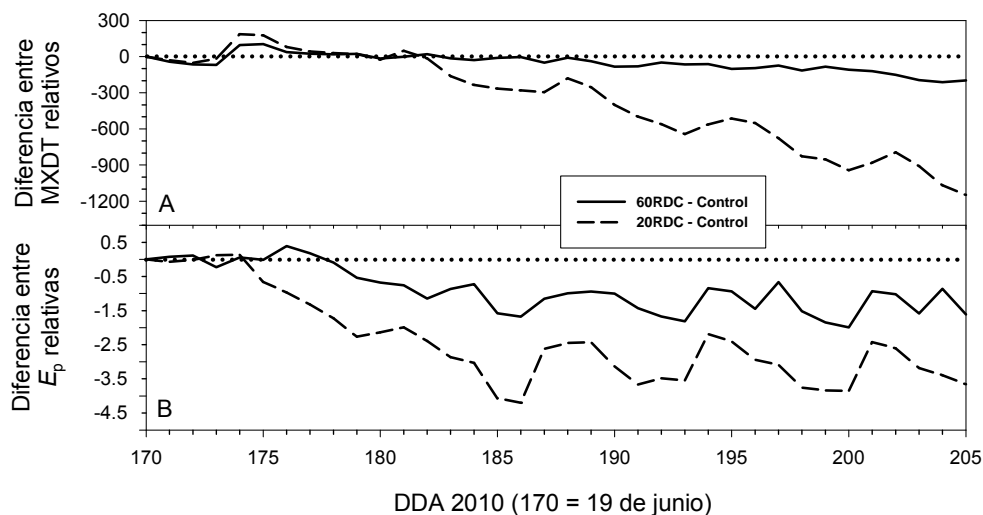


Figura 2. Diferencias entre (A) el diámetro máximo del tronco (MXDT) calculado a partir de las medidas dendrométricas en los árboles de los árboles sometidos a los tratamientos de riego deficitario controlado (RDC) con el 20% y 60% de ET_c , y los registrados en el tratamiento Control; y (B) igual pero con los máximos de los valores de transpiración (E_p) determinados a partir de medidas de flujo de savia. Los cálculos se hicieron para el periodo mostrado en la Fig. 1, tras considerar los valores registrados al principio del periodo mostrado iguales a cero. DDA = día del año.

Growth and photosynthetic responses in two genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) to water stress

Thameur, A.^{*}, Lachiheb, B., Ferchichi, A.

Laboratory of Dryland and Oasis Cropping, Institute of Arid Zone of Medenine, ElFjè 4119, Tunisia.

afwa_thameur@yahoo.fr.

Introduction

In areas with a Mediterranean climate, water is the main factor limiting crop production. In these areas rain is scarce, irregularly distributed and variable from one year to another. Due to these fluctuations in water availability, crop yield also varies from one year and region to another. Barley is the main cereal grown in these areas because it shows a conservative strategy in water use when compared to other species (Acevedo, 1987). However, its productivity is limited by terminal water stress and high temperatures during grain filling. In these conditions plant breeders generally look for genotypes which have good potential yield, and phenological and physiological characteristics which favor drought tolerance (Blum et al., 1983; Acevedo, 1991; Annicchiarico and Pecetti, 1995; Cantero- Martinez et al., 1995). Water use efficiency (WUE) is defined as the ratio of dry matter production to water use (Briggs and Shantz, 1914; Hubick et al., 1986). Hubick et al. (1986) observed that WUE might not provide much information about the competitive or yield advantage of one particular species over another because improved WUE may actually restrict growth. However, it is one trait that has been studied a great deal because it can give an idea of the variation amongst genotypes in ability where water is limiting. The leaf being the first organ to show visible signs of drought may provide a cheap and easy to manipulate trait for selection under water deficit. The aim of this study, therefore, was to investigate any direct relationship between WUE and leaf gas exchange or leaf area of barley under drought. Specifically, the aims are to (1) measure the variations of WUE in genotypes of one species (*H. vulgare*) in relation to experimentally imposed drought stress; (2) correlate these measurements with stress tolerance through leaf area measurements, leaf photosynthesis and WUE; and (3) assess the potential usefulness WUE as an integrator of stress responses.

Materials and methods

Plant material and location

The experiment was conducted in a glasshouse at the institute of Arid Regions located 20 km south-east of Medenine. The climate is Mediterranean, with hot, dry summers and mild winters. Barley is a typical crop of marginal areas in North Africa. In this sense, the present study is carried on Pakistan cv: Introduced from Pakistan. Six-rowed barley, high yield in water and salt stress conditions and (2) Roho: Introduced from Denmark. Very well adapted to low rainfall regions (200 à 300 mm) (Deghais et al., 2007). Single-plant-pots 30 cm long by 10 cm diameter were used for the experiment. The pots had a volume of 5 l each, which were filled with sandy soil with a mixture of nutrient mineral (N-P-K) 120-120-150. Sowings were carried out between 1 November 2005 and 2 March 2006. The two genotypes were sown in completely randomized block design. On 30 November 2005, when half of the genotypes were at start of tillering (stage 13, 21 on the Zadoks scale, Zadoks et al., 1974), water was withheld in the water stress treatment until it reaches 40% of field capacity (FC). The control treatment pots were irrigated every day in order to keep them at 100% of FC. The control of added water was monitored by weighting the pots.

Water status

Leaf relative water content was determined periodically in control and water-stressed plants using flag leaves. Determinations were performed following the procedure described by Turner

(1981). After sampling, leaf fresh weights (FW) were determined, and then leaves were hydrated until saturation in distilled water for 24 h at 4 °C. Once surface dried, leaves were reweighed to obtain leaf turgid weights (TW). Subsequently, leaves were oven dried at 70 °C for 48 h and their dry weights (DW) were determined. Leaf RWC was calculated following the formula: $RWC (\%) = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100$.

Growth leaf parameters

Total biomass was collected after anthesis. The flag leaf and the rest of the plant shoot were separated and oven-dried at 80°C for 48 h before being weighed and powdered. Plant height was measured at 90DAT. leaf area ratio; specific leaf area and leaf area were calculated as follows:

(1) $LAR = \text{leaf area} / \text{total plant dry mass}$ (2) $LA = (0.7624 * L * l) + 08841$ (Haouala (1999)).

Where L was the length; l was the wide and LA was the leaf area.

Leaf gas exchange measurements

Measurements were taken on the upper surface of leaves on sunny days in both the watered and stressed pots. Measurements were taken between 9 and 10 h. Net photosynthetic rate (A), stomatal conductance (gs), transpiration rate (E) and (Ci) were measured on sun-exposed and fully mature leaves, using a portable LCi IRGA (LCi, IRGA; ADC Bioscientific Ltd.)

Water-use efficiency

WUE was calculated using both instantaneous and time integrated measurements. The time-integrated WUE, WUE_{biomass} , was calculated as the ratio of total aboveground biomass (AB) to evapotranspired water throughout plant growth. Moreover, instantaneous WUE ($WUE_{\text{instantaneous}}$) was calculated as the ratio of A to E. Where A is the Net photosynthetic rate and E is the transpiration rate.

Experimental design and statistical analyses

Plants were distributed in a single block with 10 plants per variety in each one (5 control and 5 drought-stressed plants). Five plants per treatment were used for growth and gas exchange parameter measurements. Statistical analyses were performed using SPSS 16.

Results

Leaf relative water content

Leaf RWC was maintained regular (88–90%) in well-irrigated plants during the period of the study (Table 1). Drought conditions also led to a decrease in RWC. The treatment of water stress reduced the leaf RWC. At the end of the stress period, values of leaf RWC were 85.8 in var. Roho. A reduction of water use during drought caused a mean decline of 5% in the RWC of the genotypes with var. Roho showing the least decline of 3 %.

Table 1. RWC of leaves of diverse barley genotypes on day 60 of water deficit maintained at 40 %FC.

Genotype	Well-watered (%)	Water stress (%)
P	90,0	83,5 (7)
RO	88,1	85,8 (3)

Values in parenthesis indicate reductions (%) due to drought stress.

Growth leaf parameters

Leaf area increased similarly in control and drought-stressed plants at the beginning of stress imposition. Afterwards, leaf area was reduced by drought (Table 2). At 60 DAT, leaf area was 19% lower in drought stressed than in watered plants. Total leaf area was highest in cv Pakistan. Water stress reduced LAR on the average by 68% (Table 2).

Table 2. Leaf area (LA) and leaf area ratio (LAR) in fully expanded leaves of barley plants at 60 days after treatment. Treatments were: irrigated plants (100%CC) and drought stressed plants (40%CC). Data are means± S.E and each value was determined with three replicates per treatment (n = 3).

Parameter	Genotype	Water regime	
		100%CC	40%CC
LA (cm ²)	P	27,2±1,2	19,2±1,1
	RO	13,9±1,1	12,8±0,9
LAR (cm ² g ⁻¹)	P	0,072±0,004	0,020±0,003
	RO	0,049±0,006	0,018±0,003

Leaf gas exchange parameters

Water deficit caused a sharp decline of all gas exchange parameters. Net photosynthetic rate (A), transpiration rate (E), stomatal conductance (gs) and internal CO₂ concentration (Ci) displayed a similar pattern while the patterns of WUE_{instantaneous} was similar but inverse. Well-watered plants of cv.Pakistan had clearly the highest Net photosynthetic rate (Table 3). Amongst the intermediary ones, cv. Pakistan displayed medium high values. Genotypic responses of E and gs were very similar to A on day 60 under water stress. On day 60 under stress, ci of all genotypes was reduced which corresponded with their low A values.

Table 3. Mean values for gas exchange parameters of two barley genotypes subjected to different water regimes (WR). Data are the mean of 3 replicates. Within each water regime (40 and 100% CC) or genotype Pakistan (P) and Roho (RO)). A, net photosynthetic rate CO₂ (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹); gs, stomatal conductance (mol CO₂ m⁻² s⁻¹); E, transpiration rate (mmol H₂O m⁻² s⁻¹); Ci intercellular CO₂ concentrations.

WR	E	A	gs	C _i
100%CC				
P	4,4	10,4	0,13	160,35
RO	3,29	6,29	0,14	180,29
40%CC				
P	2,4	3,4	0,07	132,37
RO	2,16	2,07	0,04	100,07
Analysis of variance				
Genotype	***	***	**	***
Treatment	***	***	***	***
G x T	***	ns	ns	***

n.s., * and ** indicate non-significant or significant differences at P < 0.05 or 0.01 respectively.

Water use efficiency

Amongst the well-watered plants, cv. Pakistan was the most efficient (WUE_{instantaneous}) one in gas exchange. Under water stress, cv.Pakistan clearly distinguished itself as the most efficient genotype on day 60 of stress (Table 4). Roho displayed fairly moderate WUE_{instantaneous} due to effects of the imposed water stress. WUE_{biomass} of the genotypes under stress varied appreciably in their reaction. Water deficit improved the efficiency of both genotypes by approximately 40% (Table 4). Water stress led to a reduction in A, E, gs and A/E. High Net photosynthetic rate under water deficit was associated with high RWC (r=0.51; P<0.05). Decline in Net photosynthetic rate were due mainly to stomata closure (r=0.71; P<0.01).

Table 4. Mean values for water-use efficiency (WUE): (i) measured from the biomass accumulated and total water transpired (WUE_{biomass}); and (ii) calculated from the gas exchange measurements ($WUE_{\text{instantaneous}}$) of two barley genotypes (G) subjected to different water regimes (WR).

WR	WUE_{bio}	WUE_{inst}
100%CC		
P	1,74	2,43
RO	3,37	1,97
40%CC		
P	5.45	1,48
RO	4.08	0,95
Analysis of variance		
Genotype	*	**
Treatment	**	**
G x T	ns	*

n.s., * and ** indicate non-significant or significant differences at $P < 0.05$ or 0.01 respectively.

Discussion

The leaf relative water content was hardly reduced in cv. Pakistan while var. Roho maintained relatively high RWC under drought (Table. 1). Thus, the early reduction of stomatal conductance and the minor diminution of leaf RWC could indicate that barley plants show a drought avoidance mechanism to maintain a favorable water status involving stomatal closure in response to water stress. Under water deficit stress, leaf area was sharply reduced due to a combination of leaf growth reduction and abscission. cv. Pakistan with the highest decline in leaf appearance rate under stress also experienced similar decline in leaf area revealing that LAR reduction also affected the total leaf area. Loss of leaves and reduced expansion of younger leaves caused a decrease in the LAR in the stressed plants. Bala Subramanian and Maheswari (1992) reported a decrease in LAR in stressed plants of a cowpea cultivar. Muchow (1985) reported that leaf loss was not as sensitive to water stress as leaf area development in five grain legumes including cowpea. It is a well-established fact that photosynthesis is closely related to dry matter production in most crops, and plant responses and adaptation to biotic and abiotic stresses is reflected in changes in their photosynthetic rates. Gas exchange measurements made in this study permitted estimation of various parameters of photosynthesis. The mean A value under well-watered conditions was $10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. In Cereal, various reports showed a decrease of gas exchange parameters to reduce water loss under different water regimes (Monneveux et al, 2006; Gonzalez et al., 1999).

References

- Acevedo E. 1987. *Drought tolerance in winter cereals*. Chichester-UK-Wiley, 303-320.
- Blum A. 1983. *Crop reaction to Water and Temperature Stresses in Humid, Temperate Climates*. Westview Press-Boulder-Colorado-USA, 263-275.
- Acevedo E. 1991. *Physiology breeding of winter cereals for stressed Mediterranean environments*. Montpellier-France-INRA, 273-305.
- Annicchiarico P, Pecetti L. 1995. *Euphytica* **86**, 191-198.
- Cantero-Martinez C, Villar M, Romagosa I, Fereres E. 1995. *Eur. J. Agron* **4**, 309-316.
- Briggs LJ, Shantz HL. 1914. *Relative J. Agric. Res* **3**, 1-64.
- Hubick KT, Farquhar GD, Shorter R. 1986. *Aust. J. Plant Physiol* **13**, 803-816.
- Deghais M, Kouki M, Gharbi MS, El Falah M. 2007. Les variétés de céréales cultivées en Tunisie. Imprimerie officielle, Tunisie, 401-413.
- Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF. 1974. *Weed Research* **14**, 415-421.
- Turner NC. 1981. *Plant Soil*. **58**: 339-366.
- Houala, R., 1999. Faculté des sciences de 472 Tunis, pp. 231.
- Bala Subramanian V, Maheswari M. 1992. *J. Agron. Crop Sci* **168**, 85-90.
- Muchow RC. 1985. *Field Crops Res* **11**, 81-97.
- Monneveux P, Sánchez C, Beck D, Edmeades GO. 2006. *Crop Sci* **46**, 180-191.
- Gonzalez A, Martin I, Averbé L. 1999. *Field Crop Res* **62**, 23-24.

STIMULATING LOSS OF DORMANCY IN SEEDS OF *Digitaria sanguinalis* USING A TRANSIENT THERMAL FLUX

Rubio, C.M.^{1,2}, Rodrigo², G., Mas¹, M.T., Ferrer, F.², Josa, R.¹, Verdú, A.M.¹

¹ Dep. Agri-Food Engineering and Biotechnology, Technical University of Catalonia, 08860-Castelldefels. Spain
carles.rubio@upc.edu

² Dpt. Environmental Biophysics & Soils, LAB-FERRER, 25200-Cervera. Spain
carles@lab-ferrer.com

ABSTRACT.

Summer annual weeds as *Digitaria sanguinalis* in many agroecosystems exists. In many cases, a well-defined weed control could be able predicting the seed emergence, to know the physiological status of the seeds in the soil bank, and the factors that regulate seed germination. Our goal is to relate the thermal properties as a function of water content as a process in which seeds of this specie are viable. In our study, we used a soil column device refilled with a calcareous silt loam soil, where two split seeds groups of *Digitaria sanguinalis* were buried at two levels. Soil sample was monitorized to determine the volumetric water content, temperature and thermal properties. Preliminary results allowed a rather complete understanding of the effect of the thermal properties on *Digitaria sanguinalis* seeds, and also distributed water content and thermal data allowed investigations into the variability of these properties and its relationships between them for this type of soil at laboratory scale.

INTRODUCTION

Digitaria sanguinalis is a very important summer annual weed in many worldwide crops. Seeds are dormant after shedding as well as when they enter the soil bank after displacement (Gallart et al., 2008), From the point of view of weed control, in order to predict seedling emergences, it will be necessary to know the factors that regulate seed germination. The literature cites water content, bulk density and temperature as the most likely variables to have an effect on the seeds behavior and related with dormancy (Baskin and Baskin, 2001). But in many cases the probability to change the dormancy status is due to where and how the process has developed, as the case of the heat flux. The objective of this study is to relate the thermal properties as a process to rise a determined temperature in which seeds of this species acquire germination capacity.

METHODOLOGY

In this study, we used a soil column device constructed specifically for this experiment. The device was refilled with a calcareous (403 g·kg⁻¹) silt loam soil (sand 340 g·kg⁻¹, clay 40 g·kg⁻¹), with mean bulk density about 1470 kg·m⁻³ and mean total organic carbon content about 31 g·kg⁻¹, obtained between surface to 30 cm depth, from Llobregat Delta Plain (NE, Spain).

The column device has 33 cm of length. From the bottom, the first 3 cm were refilled with gravels, above 5 cm were refilled with sand, whereas the sample occupied 25 cm to up. Two

scenarios were sited inside the device, level **A**=4 and level **B**=12 cm depth. Thermal and hydrodynamic properties were monitored at both levels.

For determining the volumetric water content (**WC**), two EC-5 frequency domain reflectometry probes, one for each level were used. Soil temperature (**T**) was monitored through ECT soil/air sensor. A Decagon Devices EM-50 data-logger was required to collect the data. To determine the thermal properties one small dual-needle sensor (SH-1) was employed (Rubio et al., 2008). This kind of sensor use the heat pulse methodology and yield reliable and accuracy soil thermal diffusivity (α) and thermal conductivity (λ) measurements, meanwhile volumetric specific heat (ρc) according to relation of both properties was estimated. The SH-1 thermal sensor was placed in the middle of two levels, thus obtaining a set of thermal properties data for the soil sample to separate the two scenarios (**A** and **B**). The data were collected using a KD2-Pro reader-logger.

Also, in both levels two split seeds groups (dormant seeds stored at -18°C since their dispersal time **DS**; and non-dormant seeds preserved at room temperature **NDS**) of *Digitaria sanguinalis* were buried. From the top soil column device a radiation source (50W halogen bulb) was applied during 15 days. The radiation involved a thermal gradient between both levels, that it was monitored using a thermal sensor. To perform the experiment, the soil sample was wetted until to achieve the half field capacity water content. Moreover, irrigation water were supplied.

After 33 days seeds were exhumed. The germination trials were performed at 20°C (12h darkness) and 30°C (12h light). Before incubation, the seeds were rinsed for 10 minutes with 5% diluted sodium hypochlorite for surface sterilization (ISTA, 1985). Five replicates of 40 seeds placed in 9 cm diameter plastic Petri dishes were incubated. Illumination was provided by white fluorescent tubes (3x18 W). Three ml of distilled water was added in each dish at the beginning of the tests, and water was later added as required. Seeds were considered to be germinated with the emergence of the radicle. Germination counts were made for 10 days. The percentages of germination previously arcsine transformation were subjected to analyses of variance followed by Tukey's HSD test in order to identify homogeneous mean groups (SAS Institute, 1999).

RESULTS

Table 1 shows the results of the soil variables monitored inside the device. Mean water content at level **A** was higher than level **B**, with differences about 2.5% ($\text{vol}\cdot\text{vol}^{-1}$). Average temperature values showed that this variable was at steady-state during all experimental process and close to temperature room values (20.4°C). The thermal integral between both levels presented differences about 15°C , always higher for level **A**, also in the maximum temperature values ($A=27.9^{\circ}\text{C}$; $B=22.9^{\circ}\text{C}$), hence the radiation source created a slight thermal gradient inside the device. On the other hand, thermal properties showed an homogeneous values, except the volumetric specific heat, with differences about $0.5\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{C}^{-1}$, due to the complex moisture scenarios between both levels.

Table 1. Statistical variables determined for the soil dataset obtained from the column device. (See text for legend)

	λ ($W \cdot m^{-1} \cdot C^{-1}$)	ρc ($MJ \cdot m^{-3} \cdot C^{-1}$)	α ($mm^2 \cdot s^{-1}$)	WC-A ($m^3 \cdot m^{-3}$)	WC-B ($m^3 \cdot m^{-3}$)	T-A ($^{\circ}C$)	T-B ($^{\circ}C$)	T-room ($^{\circ}C$)
Average	0.546	2.084	0.262	0.130	0.105	21.2	20.5	20.4
Maximum	0.632	2.341	0.289	0.160	0.124	27.9	22.9	22.8
Minimal	0.504	1.875	0.253	0.104	0.091	17.8	18.4	18.1
Integral	----	----	----	----	----	568.3	551.2	507.5

Table 2, shows the results of the Pearson correlation among the thermal and hydric variables studied in this work. On the whole, most of variables were acceptably correlated, specially thermal conductivity vs volumetric specific heat. The value obtained for the coefficient was 0.963 for $p \leq 0.01$. Thus, the transient thermal flux for this type of soil, according to the specific water content conditions was enough to transmit and storage a quantity of heat on the soil matrix, which could affect the seeds bank.

Table 2. Correlation among different thermal and hydrodynamic variables. The correlation was significant at the 0.01 level (2-tailed). (See text for legend)

Variable	λ	ρc	α	WC-A	WC-B	T-A	T-B
ρc	.963						
α	-.486	-.703					
WC-A	.867	.864	-.529				
WC-B	.876	.826	-.364	.680			
T-A	-.494	-.660	.836	-.395	-.376		
T-B	-.528	-.685	.828	-.430	-.367	.795	
T-room	-.497	-.636	.757	-.368	-.315	.827	.890

The environment experienced by the **DS** during the burial period was reflected in their germination capacity (Fig. 1). Dormant seeds placed at 4 cm (A) and at 12 cm (B) differ significantly in their cumulative germination percentage from DS control (83.5% and 87%, respectively, versus 1.5%). There were no statistical differences between buried DS with respect the depth position. The period of time lasted in the experiment was sufficient to break dormancy of the seeds simulating freshly dispersed situation. However, in comparison with NDS, both DS splits (A and B) did not reach the 100% of cumulative germination (significant differences between DS and NDS for each depth position and also for control).

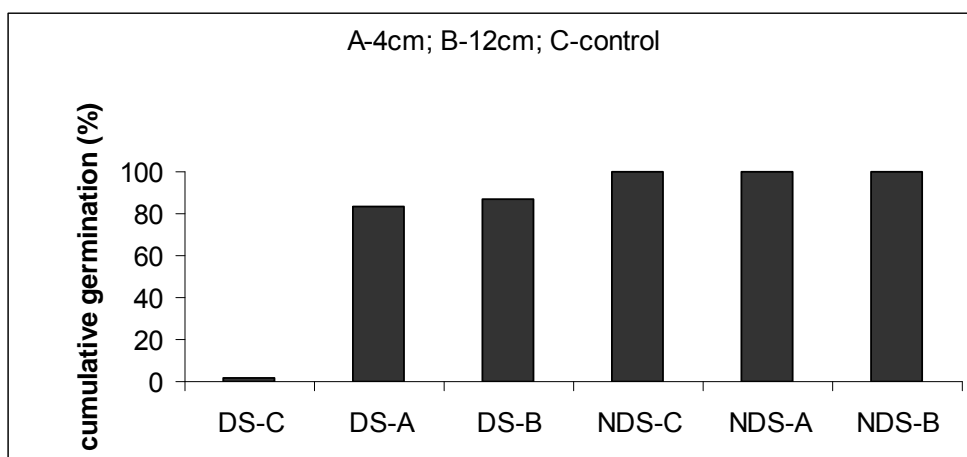


Figure 1. Cumulative percentage of germination on *Digitaria sanguinalis* seeds after the burial period. (See text for legend)

CONCLUSIONS

After a period of 33 days, in the monitored microenvironmental conditions of the experimental column device, an important fraction of the DS buried seeds lost the dormancy. Furthermore, the high resolution of the used sensors allowed to measure the minimal spatial differences for the water content and temperature variables between levels, which would be related to the very small differences observed in the rate of germination of pre-dormant seeds. The main recommendation and outlook would be to investigate the environmental differences between the two scenarios inside the soil column device because in this research *Digitaria sanguinalis* seeds did not obtained the same mean acumulative percentage of germination. Despite the fact that the values were different, the differences between both environments (A and B) were not statistically significant.

ACKNOWLEDGMENTS

Ongoing research on water plant relationship was supported by the agreement between Lab-Ferrer Soils and Environmental Consulting and the Ministerio de Ciencia e Innovación. The first author benefited from a Torres Quevedo award while carried out this research. The authors are also indebted to Patricia Jiménez from Technical University of Catalonia for her help with TOC determinations.

REFERENCES

- Baskin, C., Baskin, J. 2001. Seeds.Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination .Academic Press, San Diego, USA, p. 666.
- Gallart, M. et al. 2008. Dormancy breaking in *Digitaria sanguinalis* seeds: the role of the caryopsis covering structures. *Seed Science and Technology* 36 (2): 259-270
- International Seed Testing Association 1985. International rules for seed testing. Rules and annexes. *Seed Science and Technology*, 13: 299-515.
- Rubio, C.M. et al. 2008. Thermal properties as a function of water content in a silt porous media under laboratory conditions. *Proceed. 15th Intern. Congr. of ISCO*. 1:107.
- SAS Institute Inc. 1999. SAS OnlineDoc®, Version 8, Cary, NC: SAS Institute Inc.

Intercomparación de tres Porómetros comerciales y aplicación de la guía de buenas prácticas de calibración en el modelo SC-1 (Decagon Devices)

Rodrigo, G.¹, Cabot, O.¹, Domene, M.¹, Ferrer, F.¹, Bissey, L.², Cobos, D.², Campbell, C.².

¹Área de Biofísica Ambiental y Suelos. LabFerrer. 25300-Cervera. España.

gema@lab-ferrer.com

²Decagon Devices Inc. Pullman, WA - USA

ABSTRACT

En este trabajo se ensayan tres modelos de porómetros comerciales, AP-4 (Delta-T Devices), SC-1 (Decagon Devices Inc.) y LI-1600 (Li-Cor) en condiciones de campo para comparar los resultados de conductancia estomática (g) con el fin de evaluar y analizar los resultados para poder entender las diferencias y así permitir su uso conjunto o comparativo. A escala de hoja, se observa la variabilidad espacial presente en una misma hoja, y la influencia de las variaciones ambientales en las medidas de g . Finalmente se ensaya la guía de buenas prácticas de manejo del porómetro SC-1 para mejorar la precisión de las medidas de g .

INTRODUCCIÓN

La conductancia estomática al vapor de agua, g , es una variable que aparece en muchos estudios relacionados con las relaciones hídricas de las plantas, los balances de energía y las relaciones fotosintéticas, al ser un parámetro que regula las tasas de numerosos procesos necesarios en las plantas incluyendo la transpiración, la asimilación del CO₂ y la respiración (Percy *et al.*, 1989). Actualmente, los valores de g se obtienen tanto con porómetros de estado estacionario como con dinámicos (transitorios, cíclicos). Cada tipo de porómetro tiene sus ventajas e inconvenientes, en algunos casos muy teóricos, y que se encuentran descritos en la bibliografía (McDermitt, 1990; Tyree & Wilmot, 1990). Los porómetros dinámicos son sensibles a varios factores, siendo necesario corregir el tiempo de transición para el tiempo de respuesta del sensor de humedad, para la absorción del vapor de agua por las paredes de la cubeta del porómetro y el sensor, y para las diferencias entre la temperatura de las hojas y la temperatura del aire en la cubeta del porómetro. Mientras que los porómetros de estado estacionario muestran una fuerte dependencia a la temperatura de la hoja y del aire (Verhoef, 1997).

Es importante que los usuarios, tanto desde el ámbito científico como del de la agricultura comercial, comprendan el funcionamiento, el rendimiento y las limitaciones de cada porómetro con el fin de poder comparar los datos de g obtenidos. Este trabajo se centra en tres porómetros disponibles comercialmente: modelo AP-4 (Delta-T Devices, Cambridge, UK), porómetro SC-1 (Decagon Devices Inc., Pullman, WA) y LI-1600 (Li-Cor, Lincoln, NE), siendo el objeto del estudio conocer la relación entre los datos de g registrados con los diferentes equipos. Al mismo tiempo se enumeran los pasos a seguir para calibrar el porómetro SC-1.

MATERIAL Y MÉTODOS

La g se midió en 200 hojas de diversas especies con los porómetros modelos AP-4 (Delta-T Devices), SC-1 (Decagon Devices Inc.) y LI-1600 (Li-Cor) en condiciones de campo. Los

cambios en las condiciones ambientales se intentaron minimizar llevando a cabo medidas con los tres porómetros en localizaciones similares de cada hoja en una sucesión rápida. En cada hoja, las medidas de g con los tres porómetros se realizaron de forma aleatoria para evitar el sesgo sistemático a partir de las medidas del porómetro anterior. Cada porómetro, previo a la realización del ensayo, se había calibrado en fábrica y además se verificó su correcto funcionamiento empleando los estándares de conductancia conocida que siguen: Gortex[®] 3-capas (conductancia media de vapor de 79,60 mmol/m²s), Gortex[®] 2-capas (conductancia media de vapor de 91,36 mmol/m²s), Teflón[®] grueso poroso (conductancia media de vapor de 164,39 mmol/m²s), Teflón[®] delgado poroso (conductancia media de vapor de 465,01 mmol/m²s).

La metodología de trabajo aplicada en el ensayo conllevó asumir: 1) g se mide exactamente en la misma "huella" de cada hoja; y 2) factores ambientales (radiación, temperatura) no cambian en el intervalo de tiempo 1-2 minutos necesarios para realizar las tres medidas en cada hoja.

Los datos de g se normalizaron con una transformación logarítmica. El test t de student se utilizó para determinar los intervalos de confianza de las diferencias observadas en los equipos. Respecto a la guía de buenas prácticas de manejo del porómetro SC-1 se siguieron las recomendaciones de Decagon Devices Inc. El equipo se calibró todos los días en condiciones de campo y, también si estas condiciones cambiaban más de 15°C ó 20%HR, con la ayuda del kit de calibración suministrado por el fabricante y siguiendo sus instrucciones:

1. Seleccionar el submenú calibración. Introducir el número de serie del sensor y abrir la pinza.
2. Saturar el papel de filtro con agua destilada, debe quedar mojado pero no contener un exceso de agua. Con la ayuda de las pinzas sacudir el papel de filtro para quitar el exceso de agua. Una vez que esté mojado el papel, NO se debe volver a mojar durante la calibración. Si el papel se seca y cae de la placa de calibración, volver a mojar y reiniciar el proceso.
3. Colocar el papel de filtro sobre el agujero de la placa de calibración en el lado marcado con "papel de filtro". El papel de filtro debe cubrir todo el agujero.
4. Fijar el cabezal del sensor. El filtro húmedo debe estar en su lugar y plano. Orientar la placa de calibración hacia los laterales de la pinza. La placa de calibración se debe insertar hasta bloque de la pinza encaje perfectamente.
5. Hidratar el sensor. No retirar la placa de calibración durante la hidratación ni colocar el cabezal del sensor en el filtro de teflón. El vapor de agua debe ser capaz de difundir libremente a la atmósfera. Colocar el cabezal del porómetro de lado o boca abajo.
6. Equilibrar el sensor a las condiciones ambientales. Abrir el cabezal del sensor y agitarlo, para acelerar el proceso. Cuando la barra indicadora llega a "AMB", colocar el cabezal del sensor y empezar las medidas de calibración.

RESULTADOS

La primera hipótesis de trabajo, asumir que la g se mide exactamente en la misma "huella" de cada hoja, se verificó evaluando la medida de la variabilidad espacial de la g en una hoja con los tres porómetros. En el caso de hojas grandes, la g se midió en seis puntos de la superficie foliar. La g en distintas localizaciones individuales de hojas completamente iluminadas por el sol muestra una variabilidad espacial significativa presente en la superficie de la hoja. En cambio, admitir el segundo supuesto no fue del todo válido. No sólo los efectos de las medidas realizadas previamente con cualquier porómetro afecta a la g , si no que las condiciones ambientales de control de la g a menudo cambian cada minuto. Además, como indican

Whitehead & Teskey (1995), si los cambios en la g son más lentos que los cambios ambientales, entonces la medida de g se registrará mientras los estomas están todavía ajustándose a las condiciones cambiantes como los cambios en la radiación debido a la presencia de nubes

Después de normalizar todos los datos mediante una transformación logarítmica, una regresión de las medidas obtenidas con el porómetro SC-1 frente a las del AP-4 revela que en general el modelo SC-1 genera medidas de g ligeramente inferiores a las obtenidas con el porómetro AP-4 (pendiente de 0,9701 y un R^2 de 0,62 - $n= 235$ -).

Una regresión de los instrumentos anteriores frente al LI-1600 sugiere que tanto el modelo AP-4 como el SC-1 proporcionan lecturas de g superiores a las del LI-1600, especialmente en el caso de valores de g elevados, con pendientes de 1,0202 y 1,1182, respectivamente, y R^2 de 0,45 ($n= 155$) y 0,52 ($n= 129$), respectivamente. Estos resultados coinciden con los encontrados en otros ensayos de características similares (Delta T Devices, 2006).

Las Figuras 1 d - f muestran las tendencias en las diferencias observadas desde valores de g bajos a elevados. Estos datos sugieren que los valores elevados de g pueden incorporar más errores de medida que los valores bajos. Sin embargo, no hay disponibles valores de g lo suficientemente elevados como para poder obtener conclusiones específicas.

CONCLUSIONES

Todos los instrumentos muestran diferencias significativas sistemáticas en la g en la medida $\alpha= 0,05$. Sin embargo, estas diferencias no invalidan las comparaciones entre las medidas de g entre los tres porómetros.

Los tres instrumentos parecen tener peor correlación en valores de g elevados, si bien no se dispone de suficientes datos de g elevados para validar estadísticamente estas conclusiones.

El medidor LI-1600 genera lecturas de conductancia inferiores a las obtenidas con los dos porómetros, especialmente cuando se trata de valores de conductividad elevados.

El AP-4 y el SC-1 muestran una mejor correlación entre ellos que cualquiera de los dos con el modelo LI-1600.

La considerable variabilidad espacial de la g en la superficie de la cada hoja y las condiciones ambientales cambiantes parecen ser la causa probable de la dispersión en los datos de intercomparación. En la práctica estos errores pueden minimizarse realizando repeticiones.

Los resultados sugieren que las medidas deben ser comparables entre la AP-4 y SC-1 en todos los intervalos de g . El LI-1600 tiende a registrar g inferiores a los otros dos porómetros, en especial en intervalos elevados. Esto debe corregirse si se van a comparar los resultados obtenidos con estos porómetros.

BIBLIOGRAFIA

Delta T Devices. 2006. Draft Leaf Porometer (SC-1) Evaluation - Unpublished manuscript.

Mcdermitt D.K. 1990. Sources of error in the estimation of stomatal conductance and transpiration from porometer data. Horticultural science 25, 1538-1548

Pearcy R.W., Ehleringer J.R., Mooney H.A., Rundel P.W. 1989. Plant physiological ecology: field methods and instrumentation. Chapman and Hall, London.

Tyree M.T., Wilmot T.R. 1990. Errors in the calculation of evaporation and leaf conductance in steady-state porometry: the importance of accurate measurement of leaf temperature. Canadian Journal of Forestry Research 20, 1031-1035.

Whitehead D., Teskey R. O. 1995. Dynamic response of stomata to changing irradiance in loblolly pine (*Pinus taeda* L.). Tree Physiology 15, 245–25.

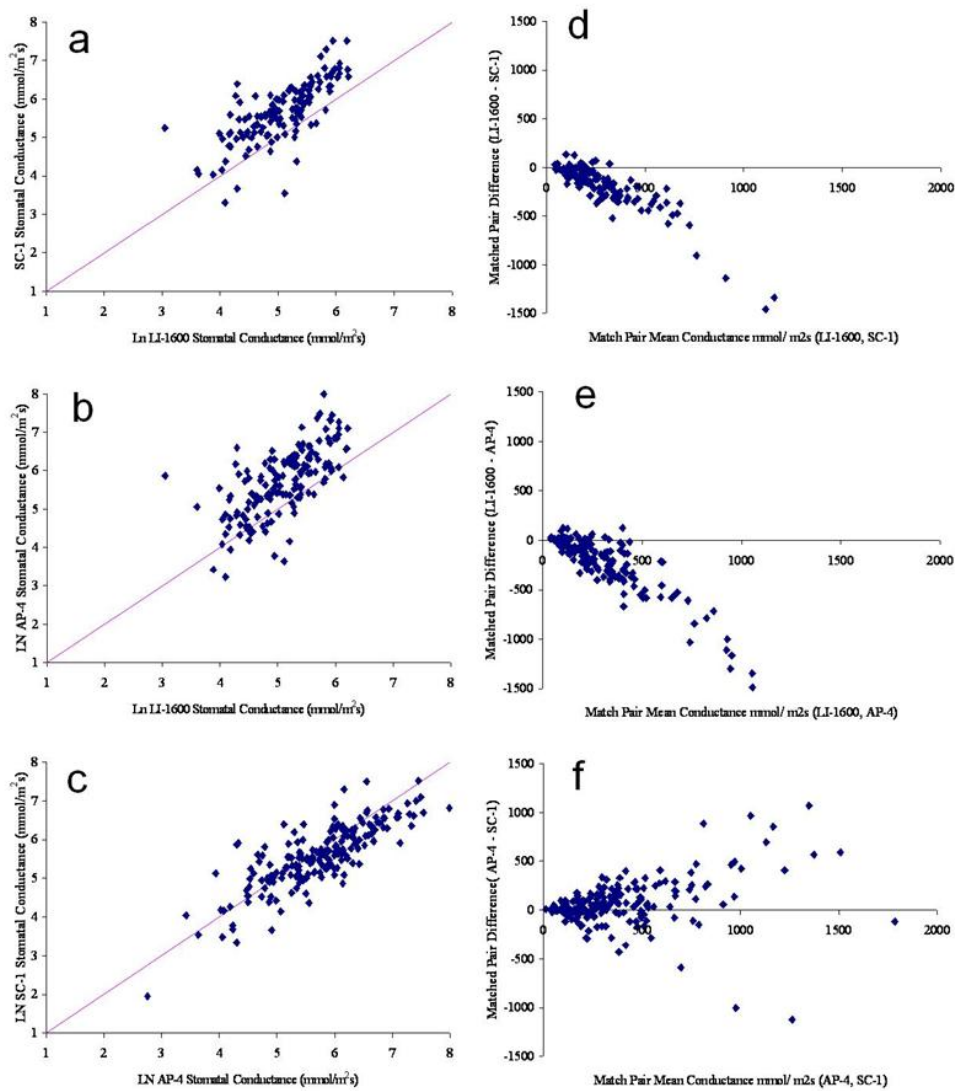


Figura 1. Las gráficas de la izquierda muestran la relación entre el logaritmo neperiano de la conductancia estomática (g) obtenida con cada porómetro junto con la línea 1:1, mientras que en la derecha se representa el promedio y las diferencias de las medidas emparejadas de g para cada porómetro. Los gráficos a y d comparan los modelos LI-1600 y Sc-1; en b y e se comparan LI-1600 y AP-4; y en c y f se representan los modelos AP-4 y SC-1.

Chickpea genotype adaptation to Mediterranean environment

Simões, N.^{1,2}, Duarte, I.², Leopoldo, L.L.³, Lourenço, E.³, Chaves, M.M.¹

¹ Instituto de Tecnologia Química e Biológica, Universidade de Lisboa (ITQB), Oeiras, Portugal.

nunosimoes1@iol.pt

² Instituto Nacional de Recursos Biológicos – Elvas (INRB - Elvas), Elvas, Portugal.

³ Universidade de Évora (UE). Évora, Portugal.

ABSTRACT

Adaptation trials of 15 accessions of chickpea, 13 from the ICARDA collection and 2 from the Portuguese National Catalogue (Elixir and Eldorado), took place in three different countries (Portugal, Syria and Morocco). The trials were conducted under rainfed conditions and using a late sowing date (spring). It is important to note that in these experiments plants were exposed not only to drought but also to heat by planning late in the season, in order to evaluate resistance to water deficits in conjunction with heat stress. The first results indicate a high variability in the yield response among genotypes and regions, with differences in Portugal between the most productive accession (ILC588) and the least productive accession (FLIP03-002C) higher than 1000 kg/ha. In general, the genotypes that fasten their development cycle showed higher grain yield.

Key words: Chickpea, rainfed, late sowing date, yield

INTRODUCTION

Grain legumes have been a constant presence in agriculture around the world since about 10,000 years. These species with average crude protein ranging between 17% and 30% are products with high interest, thus emerging as the preferred crop diversification of cultural systems. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is the third most important grain legume worldwide. Despite being a traditional spring crop it suffers decreased production when subjected to long periods of drought during reproductive development. Climatic variations in the Mediterranean impose new guidelines in breeding programs of chickpea (Maçãs, I, 2003). Elvas is in a region (Alentejo) with marked Mediterranean influence. The average temperature of the warmest month of the year is above 20°C and the coldest reaches 5°C, but rarely below 0°C. The average annual temperature is around 15°C (not exceeding 20°C). Rainfall is irregular among years. In general, rainfall is concentrated in the cool season and is expected to decrease in spring/summer. It is also projected that regions with higher rainfall will tend to become increasingly dry, due to increased evaporation. The analysis by sectors of water use in the Mediterranean region shows that 72% of available water is used in agriculture (Hamdy and Lacirignola, 1999) and is becoming a rare resource, especially in southern countries (Margat and Vallee, 1997). According to Shideed *et al.* (2005) farmers spend large amounts of water, exceeding the needs of crops (in winter or spring crops). Their crops are irrigated between 30-49% above the needs (Hamdy and Katerji, 2006). Thus it is important to choose plants tolerant to drought, since it is known that this tolerance varies from species to species and also within species (Jallel *et al.*, 2008)

MATERIAL AND METHODS

An adaptation trail with 15 accessions of chickpea, 13 from the ICARDA (Syria) collection – CPI 060546, FLIP03-002C, FLIP03-046C, FLIP03-145C, FLIP04-019C, FLIP87-008C, FLIP87-059C, ILC216, ILC588, ILC1302, ILC3182, ILC3279, ILC10722, and 2 from the Portuguese National Catalogue - Elixir and Eldorado was sown in February 25 in Elvas, southeast of Portugal with a Mediterranean Climate type. During the year the following measurements were conducted: Phenological data – emergence, start of flowering, end of flowering and maturation; Yield components: seed/m² production, harvest index, 100 seeds weight, grain yield; Physiological parameters – predawn water potential (ψ_b) and midday water potential (ψ_{md}).

RESULTS

Sowing was done late in the season to allow for more stressful conditions (drought and heat). Plants started flowering in mid-April to early May, having completed this phase between middle and end of May. Maturation took place in the second part of June, with the harvest begun in July (Figure 1). During April the maximum temperature was around 28°C and in May the maximum average temperature varied between 24°C and 33°C. Those high temperatures led to an acceleration of the vegetative cycle in some genotypes.

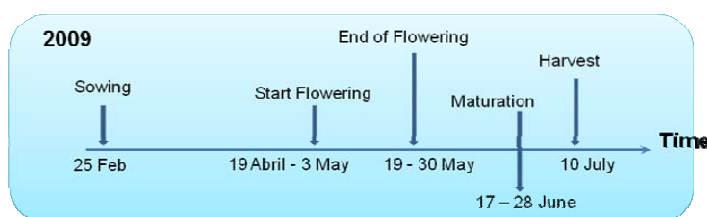


Figure 1 – Phenological stages.

Grain yield and yield components:

Figure 2 shows the grain yield production in 2009 for chickpea genotypes in the Portuguese trial. The differences between the most productive variety/genotype (ILC588) and the least productive variety/genotype (FLIP03-002C) was more than 1000 kg/ha.

As observed in table 1, the components with more influence on yield were the number of seeds/m²

and the harvest index (HI). On the other hand there was a negative correlation among the yield and the start and end of flowering, which is related to the reduced availability of water as well as the increase of temperature in later spring.

The genotypes with earlier start and end of flowering showed a high grain yield (Figure 3). In this environment rain stops in general by middle spring and temperatures increase very quickly, so the plants that fast their development manage to set more flowers and pods with available seeds per plant. The plants with later cycle showed more aborted flowers and produced less available seed.

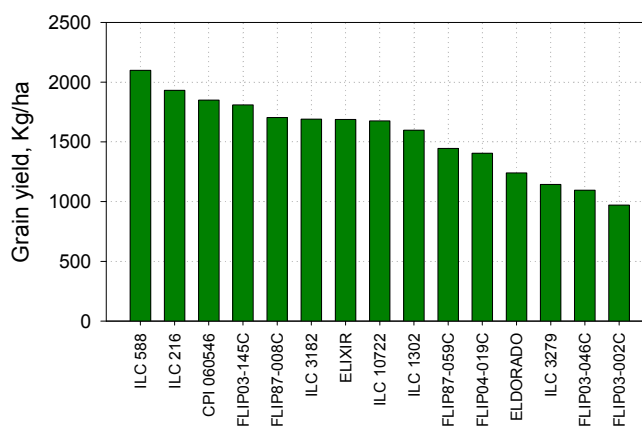


Figure 2 – Grain yield in INIA-Elvas in 2009 for 15 genotypes.

Table 1 – Regression analysis

	Seeds/m ²					
Seeds/m ²	1,000	HI				
HI	0,443	1,000	100SW			
100SW	-0,770	0,018	1,000	SF		
SF	-0,451	0,723	0,044	1,000	EF	
EF	-0,212	0,572	-0,148	0,652	1,000	Grain Yield
Grain Yield	0,589	0,610	0,009	0,655	0,612	1,000

HI – harvest index; 100 SW – 100 seeds weight; BF – start of flowering; EF – end of flowering

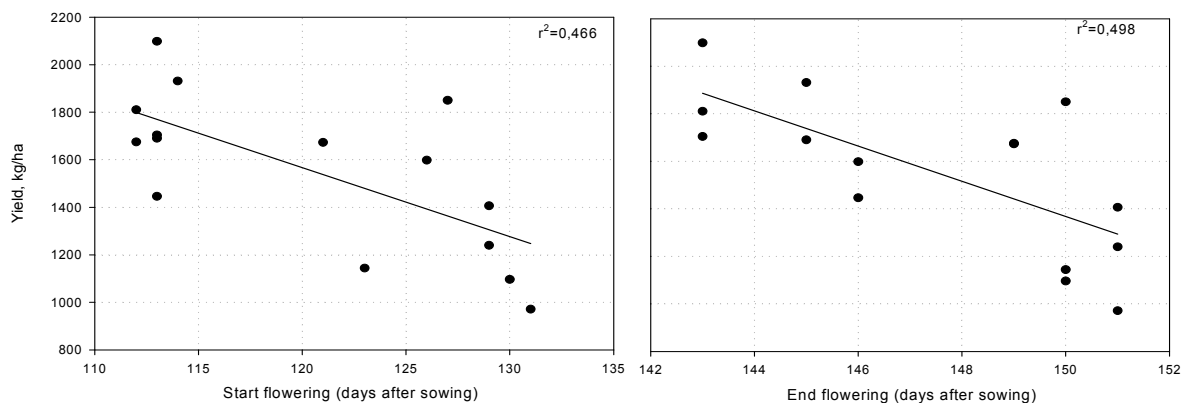


Figure 3 – Influence of Start of flowering in the varieties/genotypes on grain yield in 2009.

Physiological parameters

During 2009 predawn and midday water potential measurements were held weekly between April 21 and May 26. In figure 4, corresponding to May 19, a negative correlation between predawn water potential and grain yield was observed. This is explained, as we saw in table 1, by earlier genotypes being able to produce more grain and their cycles being more advanced, therefore showing already lower leaf predawn water potentials.

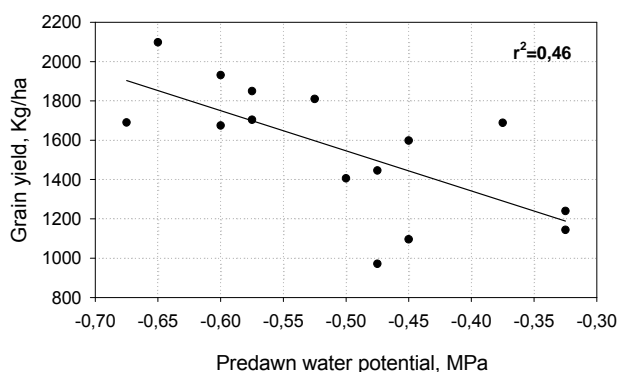


Figure 4 –Predawn leaf water potential (MPa) in 19th May versus grain yield in 2009.

CONCLUSIONS

Genotypes that fasten their development cycle showed higher grain yield. Earlier start of flowering means higher soil water availability and lower maximum temperatures (middle of April), allowing to set more flowers and pods per plant and consequently higher grain yield.

End of flowering started on May 19 in earlier genotypes. On this date the most hydrated genotypes are the ones with the longest growth cycle. On May 19 the genotypes with higher grain yield were at the end of flowering and showed lower predawn water potential.

Grain yield showed a good correlation with all yield components except with the 100 Seeds Weight (100SW).

ACKNOWLEDGEMENTS

We acknowledge the EU project SWUP-MED - Sustainable water use securing food production in dry areas of the Mediterranean region for financial support of the research and the fellowship to N Simões.

BIBLIOGRAPHY

- Hamdy, A., Katerji, N., (2006). *Water Crisis in the Arab World. Analysis and Solutions*. IAM-Bari Editor, 60 pp.
- Hamdy, A., Lacirignola, C., (1999). *Mediterranean Water Resources: Major Challenges Towards the 21st Century*. IAM Editions, Bari, Italy, 570 pp.
- Jaleel, C.A.; Gopi, R.; Sankar, B.; Gomathinayagam, M.; Panneerselvam, R. (2008). *C. R. Biologies* 331:42-47.
- Maças, I.M.V.D. (2003). *Tese apresentada na Universidade de Évora para a obtenção do grau de Doutor (PhD)*. Évora. 171 pp.
- Margat, J., Vallée, D., (1997). *Démographie en Méditerranée. Options Méditerranéennes Série A* 31, 3 – 16.
- Shideed, K., Oweis, T., Gabr, M., Osman, M., (2005). *Assessing On-farm Water-use Efficiency: A New Approach*. ICARDA/ESCWA Editions, 86 pp.

Aplicación de sistemas de monitorización del agua disponible en el suelo y de los consumos hídricos de la planta en el diseño de estrategias de riego en vid

José Escalona, Miguel Ángel Diego, Hipólito Medrano

Grupo de Investigación de Biología de las plantas en condiciones mediterráneas. Departamento de Biología.
Universidad de las Islas Baleares. Ctra Valldemossa km 7,5 07122 Palma de Mallorca.
jose.escalona@uib.es

ABSTRACT

Durante los últimos años el diseño de estrategias de riego en el cultivo de la vid se ha convertido en una técnica orientada a la mejora de la calidad de la uva de vinificación. En este trabajo se pretende validar los sistemas de monitorización en continuo del agua disponible en el suelo y de los consumos hídricos como herramienta para el diseño de estrategias de riego en vid y demostrar la relación entre la disponibilidad del agua en el suelo con los consumos hídricos. Para ello se llevó a cabo un experimento en el que se utilizaron plantas jóvenes y adultas de la especie *Vitis vinifera* de la variedad Tempranillo. Estas se sometieron a dos regímenes hídricos diferentes, uno a capacidad de campo y otro de sequía moderada. Para la monitorización de las plantas se utilizaron sondas ECHO, sondas de flujo de savia y medidas de conductancia estomática en hoja y de potencial hídrico en hoja. Se consiguió validar los métodos propuestos, establecer relaciones entre ellos y demostrar el efecto del riego y de la edad en la variación de la capacidad hidráulica de la planta. Se pudo observar como mediante la obtención de datos de conductancia estomática en hoja se puede conocer el estado hídrico de toda la planta.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la vid es uno de los principales cultivos en España. La superficie de viñedos ocupa 1,2 millones de hectáreas, con una producción total de 5.270.000 toneladas, situándonos como primer productor mundial. La producción mundial es de 8 millones de hectáreas, de las cuales un 45% de la producción mundial se sitúa dentro de la Unión Europea (OIV).

El riego es una práctica de cultivo que se ha extendido en la viticultura en los últimos años. De los diferentes sistemas utilizados para el riego de la vid el más empleado es el sistema de riego localizado, debido a sus grandes ventajas y pocos inconvenientes que ofrece.

En general se considera que las aportaciones realizadas mediante el riego deben ser deficitarias, con la finalidad última de conseguir la máxima calidad de la uva (Martínez de Toda, 1991; Hidalgo, 2002, Medrano y col. 2007). Actualmente se vienen desarrollando dos estrategias de riego deficitario: el riego deficitario controlado (RDC) y el secado parcial de las raíces (PRD, Partial Root Drying). Ambos sistemas permiten ahorrar agua, equilibrar el desarrollo vegetativo, la producción y lograr mejoras importantes en la calidad (Martínez Cutillas y col. 2007).

El cálculo de las necesidades hídricas de la vid se puede llevar a cabo tanto a partir de parámetros ambientales (ETP) como en base a parámetros fisiológicos (potencial hídrico foliar,

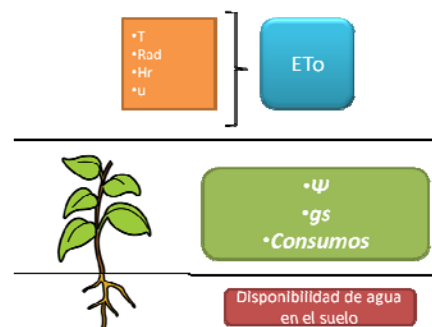


Figura 1. Esquema de la relación entre diferentes parámetros utilizados en el diseño de estrategias de riego en vid.

conductancia estomática, flujos de savia, dendrometría) y considerando el agua disponible en el suelo (figura 1).

El objetivo general de este trabajo es validar los sistemas de monitorización en continuo del agua disponible en el suelo y de los consumos hídricos como herramienta para el diseño de estrategias de riego en vid y demostrar la relación entre la disponibilidad del agua en el suelo con los consumos hídricos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal: Se utilizaron plantas de un año de edad de la especie *Vitis vinifera* de la variedad Tempranillo crecidas en contenedores de 16 litros con un sustrato compuesto por una mezcla de 2/3 de sustrato y 1/3 de perlita y recubiertos con una manta térmica para evitar lo máximo posible la pérdida de agua por evaporación. Se seleccionaron las plantas que tuviesen el mismo porte. Posteriormente se eliminaron los ápices de los sarmientos para homogeneizar el área foliar. Al finalizar el experimento se midió el área foliar de todas las plantas utilizando un escáner de imágenes y el software de tratamiento de imágenes ImageJ. Previamente se calibró el escáner utilizando una longitud conocida. Las réplicas se plantaron.

Condiciones experimentales: El experimento se realizó durante el mes de julio de 2009, coincidiendo con el periodo de máximo crecimiento vegetativo de la planta. Las condiciones ambientales se registraron mediante una estación meteorológica. A partir de los registros, se realizaron los cálculos de evapotranspiración de referencia (ET_o) utilizando el método Penman-Monteith de la FAO (Ortega, 1996; Richards y col. 2007). Se calculó la ET_o tanto para periodos horarios como para periodos diarios. Esto se hizo para poder determinar la correlación entre los consumos, tanto horarios como diarios, con la ET_o.

Tratamientos: Se establecieron dos tratamientos de riego en 5 plantas por tratamiento: riego a capacidad de campo y riego deficitario del 50% respecto a la capacidad de campo. Los riegos se realizaron en función del contenido hídrico del suelo monitorizado mediante sondas ECHO, estableciéndose los siguientes umbrales por tratamiento: 35-40% de humedad en la maceta en capacidad de campo y entre 20-25% de humedad en la maceta en riego deficitario al 50%.

Medida de disponibilidad de agua en el suelo: El agua en el suelo se monitorizó utilizando sondas ECHO, modelo EC-20. Las sondas se colocaron encima de una de las plantas utilizadas en el experimento. Los registros se almacenaron cada 10 minutos en un registrador de datos de la marca Campbell Scientific modelo CR10X. Al mismo tiempo se realizó la calibración de las sondas en macetas y sustratos idénticos a los utilizados en el experimento (fig 2)

Medidas fisiológicas: La medida de la conductancia estomática máxima foliar se realizó a las diez de la mañana hora solar mediante un porómetro DECAGON DEVICES INC. en seis hojas por variedad orientadas hacia el sur y situadas en la zona media del sarmiento. El potencial hídrico foliar se realizaron medio día solar mediante la cámara de presión (Scholander). Para la medición del potencial hídrico en tallo se seleccionaron las hojas y se introdujeron en bolsas de papel de aluminio una hora antes de la medición, posteriormente se cortó la hoja de la planta y se introdujo inmediatamente con la bolsa en la cámara de presión.

Medida de los consumos hídricos: Para determinar los consumos de agua se utilizaron sondas de flujo de savia de la marca Environmental Measuring Systems y modelo T4.2. Las sondas se colocaron en la zona más basal del sarmiento en 6 plantas por tratamiento. Los datos se almacenaron cada 15 minutos. El flujo de savia se refirió a unidad de superficie foliar. Los consumos diarios se obtuvieron mediante la suma de los promedios horarios generados a lo largo del día.

Análisis histológico del sistema conductor: Al finalizar el experimento se tomaron muestras de las secciones de tallo de todas las plantas utilizadas durante el experimento. Para ello se hicieron secciones transversales de los sarmientos. El grosor de las muestras oscilaba entre los 3 y 5 mm. Los cortes se introdujeron en una solución fijadora de formol tamponado al 10%. Una vez preparadas las muestras, se observaron mediante microscopio electrónico de barrido o SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Las imágenes obtenidas se procesaron mediante el software de tratamiento de imagen ImageJ v1.43 y se obtuvo la superficie del tejido conductor de cada una de las muestras, así como el número de vasos y su superficie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones experimentales: Como se muestra en la figura 3 el contenido en agua en el sustrato en ambos tratamientos se mantiene bien diferenciada. Así, las plantas sometidas a capacidad de campo mantienen valores de agua en el sustrato del 30%, mientras que las plantas sometidas a riego deficitario se mantienen en valores cercanos al 20%. En términos de aportes hídricos, el riego deficitario supone un ahorro próximo al 75%.

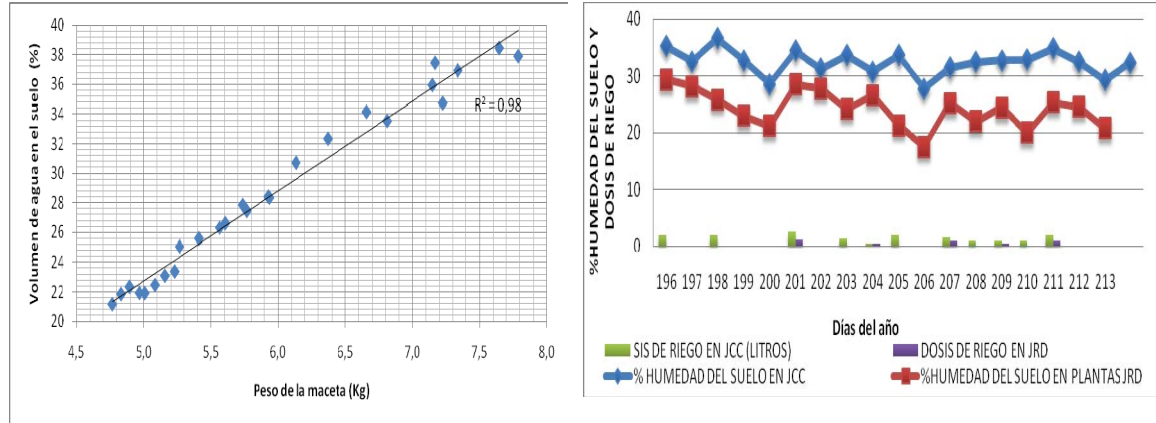


Figura 2. Calibración de los sondas ECHO respecto a medidas gravimétricas

Figura 3. Evolución del porcentaje de agua en el sustrato durante el experimento en plantas sometidas a capacidad de campo y riego deficitario. Las columnas se refieren a los aportes hídricos en ambos tratamientos.

Consumos hídricos y su relación con las condiciones ambientales y otros parámetros fisiológicos. Los consumos hídricos vienen totalmente determinados por el agua disponible en el sustrato (Fig 4). En condiciones de elevada disponibilidad hídrica, los consumos hídricos registrados durante el transcurso del día muestran una elevada correlación con la evapotranspiración (ETP), determinada fundamentalmente por la variación de la radiación y la temperatura durante el transcurso del día. Sin embargo, las plantas sometidas a un riego deficitario no responden a estos cambios ambientales, mostrando una nula correlación con la ETP.

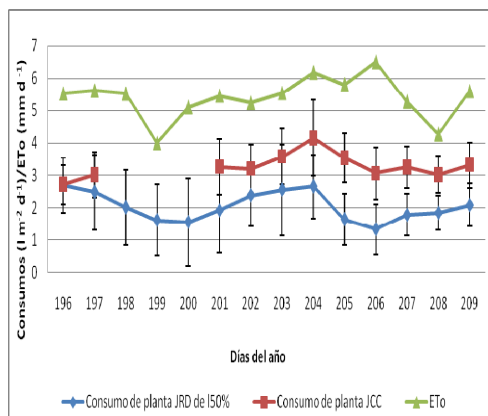


Figura 4. Valores promedio de los consumos hídricos diarios medidos mediante sondas de flujo de savia y valores de la ETc. Los valores son promedio de 5 plantas por tratamiento.

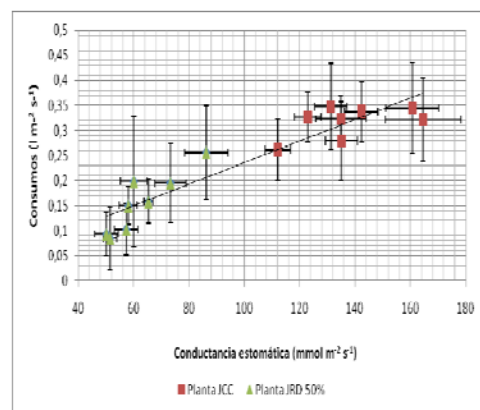


Figura 5. Relación entre los consumos hídricos y la conductancia estomática máxima foliar.

Efectivamente, la disponibilidad de agua en el sustrato condicionan los consumos hídricos de las plantas, debido principalmente a que se altera el estado hídrico de las mismas. En trabajos anteriores (Medrano y col 2002) se ha establecido como la conductancia estomática se muestra como un parámetro fisiológico que define el estado hídrico de las plantas. Pues bien, en nuestras condiciones, se establece una clara relación entre los consumos hídricos de la planta entera y la conductancia estomática foliar (fig 5.)

Cambios en la capacidad conductiva

La imposición de un riego deficitario puede condicionar el sistema vascular de la planta. En nuestras condiciones experimentales, el riego deficitario provoca una reducción significativa del diámetro total de los tallos así como la superficie del tejido vascular (tabla 2). Sin embargo apenas afecta al número de vasos y su diámetro. Esta modificación en el sistema vascular de la planta induce una reducción de la capacidad de transporte y por tanto determina los consumos hídricos de la planta.

Tabla 1. Superficie del tejido conductor, vasos conductores y número de vasos conductores para cada uno de los tratamientos. Valores medios \pm DE de 5 réplicas.

TRATAMIENTOS	Sup.Total (mm ²)	Sup. conductora (mm ²)	Nº Vasos	Área (mm ²)
Capacidad campo	25.91 \pm 1.80	14.35 \pm 1.37	2502 \pm 302.7	2.21 \pm 0.06
RD 50%	22.38 \pm 2.50	11.62 \pm 1.30	3891 \pm 602.3	2.02 \pm 0.10

CONCLUSIONES

Tras el análisis de los resultados obtenidos, se concluye que tanto la conductancia estomática foliar como el potencial hídrico en tallo son parámetros que definen el estado hídrico de la planta. Además, las sondas ECHO permiten determinar en continuo el agua del suelo disponible para la planta. Este parámetro se puede utilizar como referencia en estrategias de riego. Por otra parte el sistema de medida en continuo de flujo de savia permite conocer los consumos reales de agua por la planta. Dichos consumos dependen fuertemente de la disponibilidad de agua en el suelo, y en cierta medida de la evapotranspiración potencial y de la edad de la planta. Así, las plantas sometidas a estrés hídrico moderado reducen los consumos en un 75%. La reducción de los consumos hídricos debido al estrés se justifica en gran medida por cambios en el sistema vascular. Así, las plantas en régimen hídrico deficitario muestran un sistema vascular más reducido en relación a las plantas bajo régimen de capacidad de campo

CONCLUSIONES

Fernández De Toda, F. M. 1991. Biología de la Vid. Ediciones Mundi-Prensa. 191pp.

Hidalgo, Luis. 2002. Tratado de viticultura general. Ediciones Mundi-Prensa. 1106 pp.

Martínez Cutillas, P. Romero y J. I. Fernández. Murcia. 2007. Técnicas de riego deficitario en el cultivo de la vid. Departamento de Viticultura (IMIDA). 224:125-139.

Medrano, H., Escalona, J. M., Bota, J., Gulías, J., Flexas, J. 2002. Annals of Botany 89, 895-905.

Medrano, H, Escalona JM. Flexas J. 2007. Aplicación y Consecuencias del Riego en la Vid. Eds: Baeza, P. Sanchez, P Lissagarre, J.R. Agrícola Española. Pp 15-35.

Ortega-Farias, S., R. Cuenca, B. Soliz y C. Ortiz. 1996. Ciencia e Investigación Agraria. 215: 91-96.

Richard G. Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, Martin Smith. 2006. Roma 2006 FAO. 273pp.

Padrão de extracção de água do solo numa vinha da casta Touriga Nacional no “terroir” do Dão

Rodrigues, P.¹; Gouveia, J.P.¹; Pedroso, V.²; Martins, S.²; Lopes, C.³; Alves, I.³.

¹ Escola Superior Agrária de Viseu, Quinta da Alagoa, Viseu
prodrigues@pres.ipv.pt

² Centro de Estudos Vitivinícolas do Dão, Quinta da Cale, Nelas

³ Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, Lisboa

ABSTRACT

Com base em medições dos perfis de humidade efectuadas regularmente até à vindima, em duas parcelas de vinha da casta Touriga Nacional na região do Dão, são caracterizados os padrões de extracção de água do solo em plantas não regadas, com rega deficitária e rega plena realizada com um sistema de rega gota-a-gota. Embora globalmente, em plantas não regadas, as várias camadas do solo, até à profundidade de 200 cm, contribuam de forma sensivelmente igual para a satisfação das necessidades hídricas, o padrão de extracção revela uma grande dinâmica sazonal. Na vinha regada com sistema de rega gota-a-gota, durante o período de rega, a extracção de água do perfil concentra-se à superfície, junto ao gotejador. Após a rega, à medida que o teor de água na zona humedecida diminui, as plantas estendem progressivamente a extracção as camadas mais profundas e à entrelinha.

Palavras-chave: Perfis de humidade do solo, videira, sistema radicular, extracção de água do solo, Touriga-Nacional.

INTRODUÇÃO

O padrão de extracção de água pelas plantas é determinado pela distribuição e disponibilidade da água no solo e pela distribuição do seu sistema radicular, e conseqüentemente, por todos os factores que as determinam, nomeadamente o tipo e características de solo, o porta-enxerto, o tipo de cobertura do solo e o método de rega. Singleton e Maudsley (1996) verificaram que o padrão de extracção de água é similar ao padrão de distribuição radicular sendo este último determinado pelo tipo de solo. Morlat e Jacquet (2003) concluíram que as técnicas de manutenção do solo influenciam não só as características do solo como o padrão de distribuição do sistema radicular. Monteiro e Lopes (2007) constataram que o coberto vegetal do solo contribui para uma redução efectiva do teor de humidade durante a primavera. Araújo *et al.* (1995) verificaram que as diferenças na distribuição da água no solo inerentes aos métodos de rega usados resultavam no desenvolvimento de regiões localizadas com elevada densidade de raízes perto da superfície junto ao gotejador, bem diferente da grande expansão lateral e vertical do sistema radicular das plantas regadas por sulcos. Besso *et al.* (2003) referem que videiras para uva de mesa (cv. Itália, enxertada em IAC-313) regadas por microaspersão apresentaram maior presença de raízes com o aumento da distância ao tronco, enquanto que as videiras regadas com rega gota-a-gota concentraram o seu sistema radicular junto ao tronco. Resultado semelhante foi apresentado por Stevens e Douglas (1994) que concluem ainda que, contrariamente a vinha regada por microaspersão, na vinha regada com gota-a-gota não é possível seleccionar um perfil onde a densidade radicular seja representativa de todo o volume explorado pelo sistema radicular.

O objectivo deste trabalho foi, com base nos perfis de humidade registados até à vindima, caracterizar os padrões de extracção de água do solo em plantas não regadas, com rega deficitária e rega plena recorrendo a um sistema de rega gota-a-gota.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho experimental foi realizado no Centro de Estudos Vitivinícolas do Dão, em Nelas, Portugal, com a casta Touriga Nacional, na região do Dão (latitude 40° 31' N, longitude 7° 51' W e altitude 440 m). Nos anos 2004 e 2005 o ensaio foi conduzido na parcela 1-A. Nos anos 2006 e 2007 o ensaio realizou-se na parcela 5-A. As características de cada parcela são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Características das parcelas de vinha

Ano	Parcela	Textura do solo	Ano de plantação	Porta-enxerto	Densidade de plantação (vid/ha)	Sistema de condução	Sistema de poda	Altura do tronco (m)	Altura da sebe (m)
2004 e 2005	1-A	Franco-Arenoso	1989	SO4	3636	Monoplano vertical ascendente	Guyot duplo	0,6	1,3
2006 e 2007	5-A	Franco-Arenoso	2000	110 R	4545	Monoplano vertical ascendente	Cordão Royat bilateral	0,6	1,2

A oportunidade de rega foi definida com base na reserva de água no solo disponível para as plantas, até 60 cm de profundidade, expressa em percentagem da reserva utilizável (*FTSW60*). Para cada modalidade, a dotação de cada rega foi determinada pela percentagem dos valores acumulados da Evapotranspiração cultural diária (*ETc*) estimados pelo método descrito em Allen *et al.* (1998). Na modalidade de rega plena (FI) a dotação de cada rega correspondeu a 100% da *ETc* acumulada, enquanto que nas duas modalidades de rega deficitária as dotações das regas corresponderam a 50% (DI50) e 30% (DI30) da *ETc*. A medição dos perfis de humidade foi efectuada com recurso a sondas capacitivas. Para o efeito, em cada unidade experimental foram instalados dois tubos de acesso, um na linha (perfil 2), entre duas plantas, junto ao gotejador (a 5 cm), e o outro na entre linha, a meia distância entre duas linhas de videiras (perfil 1). Numa das repetições da modalidade não regada (NR) foi instalado um sistema de monitorização (Enviroscan – Sentek Pty Ltd), composto por duas sondas com sensores espaçados de 20 cm, permitindo o registo contínuo do teor de humidade até á profundidade de 190 cm. Nas restantes unidades experimentais as medições foram efectuadas com uma sonda móvel (Diviner 2000 – Sentek Pty Ltd), permitindo registos de 10 em 10 cm até á profundidade de 160 cm.

A aplicação do principio de conservação da massa, ao prisma de solo explorado pelo sistema radicular permite concluir que em períodos de tempo em que não se verifique precipitação ou rega, depois de cessarem todos os movimentos gravitacionais, nas situações em não exista contribuição do nível freático ou outro fluxo de água na fronteira inferior do volume considerado, a variação de armazenamento verificada é apenas resultante da extracção radicular (videira + coberto vegetal) e da evaporação à superfície do solo. Em conjunto estas duas componentes correspondem à extracção de água do solo. Assim sendo, a análise da variação do armazenamento obtida em alguns perfis deste prisma irá permitir avaliar a contribuição das diferentes zonas para estes componentes do balanço de volume. Para a situação em estudo e no caso das modalidades regadas, a variação do armazenamento obtida a partir dos perfis de humidade registados no tubo de acesso colocado na linha (perfil 2), junto ao gotejador (ΔW_2), é representativo da coluna de solo onde se verificam as maiores variações do teor de humidade em resultado da rega. Em contrapartida, a variação de

armazenamento obtida a partir dos perfis de humidade registados no tubo de acesso colocado na entre linha (ΔW_1) é representativa do volume de solo exterior ao bolbo humedecido pela rega. A relação entre ΔW_1 e ΔW_2 indica a proporção com que cada um destes volumes de solo contribuem para a extracção radicular e evaporação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a globalidade do período em análise, conclui-se que o padrão de extracção de água do solo da vinha não regada apresenta alguma variação inter-anual, resultante do regime anual de precipitação. Embora globalmente as várias camadas do solo, até à profundidade de 200 cm, contribuam de forma sensivelmente igual para a satisfação das necessidades hídricas das plantas não regadas, o padrão de extracção revela uma grande dinâmica sazonal. Na fase inicial do ciclo, quando a reserva de água no solo é ainda elevada, a extracção é maior nas camadas superficiais. À medida que estas camadas de solo vão dessecando, as plantas aumentam a extracção em profundidade. Por exemplo, entre 11/4 e 15/4 de 2005, cerca de 70% da variação de armazenamento ocorreu até 75 cm de profundidade (figura 1a). No início de Julho (figura 1b) a extracção até aquela profundidade é já muito diminuta. Neste período, cerca de 80% da variação de armazenamento verificou-se entre 100 e 200 cm. Comparando a variação de armazenamento até 200 cm com a taxa média de transpiração estimada a partir dos registos de temperatura da sebe (1,64 mm/dia) conclui-se que já nesta fase uma parte da extracção ocorreu abaixo de 200 cm de profundidade. No início de Setembro (figura 1c) a variação de armazenamento até 200 cm de profundidade é significativamente mais baixa (0,41 mm/dia). Tendo em conta que para o período em causa (1 a 4/9) a taxa de transpiração estimada foi em média de 1,38 mm/dia, conclui-se que cerca de 70% da extracção radicular ocorreu nesta fase a profundidades superiores a 200 cm. Este padrão sazonal de extracção de água do solo em vinha não regada pode contudo ser significativamente alterado em consequência da ocorrência de precipitação, como se verificou no ano de 2004 (dados não apresentados).

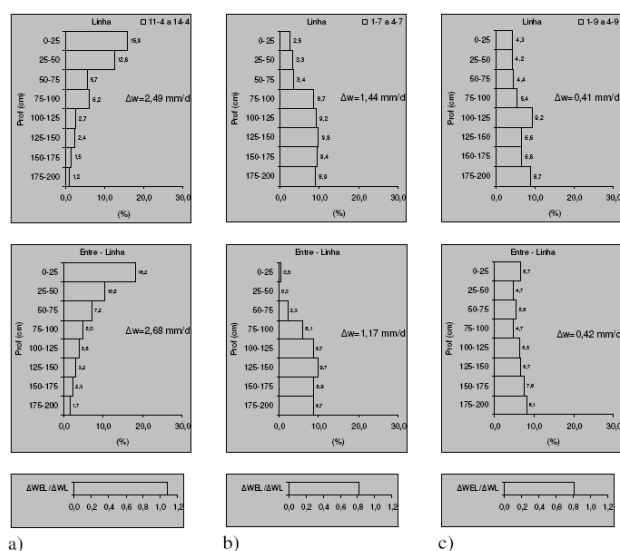


Figura 1 - Perfis de percentagem da variação do armazenamento água no solo na modalidade NR, nos períodos de 11/4 a 15/4 (a), de 1/7 a 4/7 (b) e de 4/9 a 4/9 (c) no ano 2005.

Antes de se iniciar a rega o perfil de extracção de água na coluna de solo junto ao gotejador é similar ao da

Nas modalidades com rega, considerando os quatro anos de ensaio determinou-se que globalmente entre 76 a 89% da extracção de água ocorreu nas camadas de solo até 100 cm de profundidade, dos quais, em média, entre 51 a 62% no perfil junto ao gotejador (dados não apresentados). Estes resultados vêm confirmar as conclusões de vários autores de que numa vinha regada por rega gota-a-gota as videiras extraem maioritariamente água nas camadas de solo mais próximas da superfície e junto às linhas de gotejadores. Também na vinha regada o padrão de extracção de água no solo sofre alterações ao longo do

coluna de solo na entrelinha ($\Delta W_{EL} / \Delta W_L \approx 1$) (Figura 2a) Durante o período de rega a extracção aumenta significativamente nas zonas humedecidas à superfície junto ao gotejador e decresce bastante nas camadas não humedecidas (camadas mais profundas no perfil junto ao gotejador e em todo o perfil da entrelinha) (Figura 2b). Terminadas as regas a extracção estende-se progressivamente às camadas mais profundas e à entrelinha (Figura 2c).

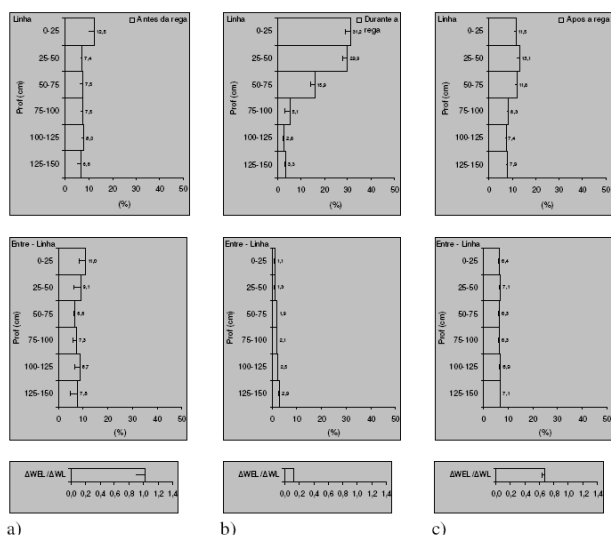


Figura 2 - Perfis de percentagem da variação do armazenamento água no solo na modalidade DI50, antes da rega (a), durante o período de rega (b) após o período de rega (c) no ano 2005.

humedecido. Após cada rega, à medida que a zona humedecida vai dessecando, verifica-se um incremento progressivo da extracção nas zonas do solo exteriores ao bolbo molhado.

AGRADECIMENTOS

Estes estudos foram realizados no âmbito do Projecto POCTI/AGG/38506/2001, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia e enquadram-se no trabalho de doutoramento de um dos seus autores apoiado pelo Instituto Politécnico de Viseu.

BIBLIOGRAFIA

- 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.
- Araújo, F., Williams, L. E.; Grimes, D.; Matthews, M. (1995) – A comparative study of young “Thompson Seedless” grapevines under drip and furrow irrigation. I. Root and soil water distributions. *Scientia Horticulturae* 60: 235-249.
- Bassoi, L. H., Hopmans, J. W., Castro Jorge, L. A., Alencar, C. M., Moura e Silva, J.A. 2003. Grapevines Root Distribution im Drip and Microsprinkler Irrigation. *Scientia Agrícola* 60 (2): 377-387.
- Monteiro, A. & Lopes, C. M. 2007. Influence of Cover Crop on Water Use and Performance of Vineyard in Mediterranean Portugal. *Agriculture, Ecosystems and Enviroment* 121: 336-342.
- Morlat, R. & Jacquet, A. 2003. Grapevine Root System and Soil Characteristics in a Vineyard Maintained Long-term with or without Interrow Sward. *Am. J. Enol. Vitic* 54 (1): 1-7.
- Singleton, P. & Maudsley, D. (1996) – Pattern of water extraction by grapevines on two soils in the Waikato. New Zealand. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 24: 415-424.
- Stevens, R. M. & Douglas, T. 1994. Distribution of Grapevine Root and Salt under Drip and Full-ground Cover Microjet Irrigation Systems. *Irrigation Science* 15: 147-152.

CONCLUSÕES

Na vinha não regada, quando a disponibilidade em água é elevada, a extracção da água do solo ocorre predominantemente à superfície, estendendo-se progressivamente às camadas mais profundas à medida que a camada superficial vai dessecando. Contudo, na sequência de precipitação, dependendo da quantidade e da época em que ocorra, poder-se-á verificar a inversão do perfil de extracção.

Em vinha regada com sistema gota-a-gota, durante o período de rega, a extracção de água ocorre predominantemente no volume de solo

Obtención de una pauta de riego eficiente para el cultivo del caqui (*Diospyros kaki*) empleando indicadores del continuo suelo-planta-atmósfera

Bonet, L.¹, Buesa, I.¹, Ferrer, P.J.¹, Intrigliolo, D.S.²

¹Servicio de Tecnología del Riego. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Apartado oficial 46113. Moncada, España.

bonet_lui@gva.es

²Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Apartado oficial 46113. Moncada, España

ABSTRACT

El cultivo del caqui (*Diospyros kaki*) ha cobrado una gran importancia en determinadas zonas agrícolas de la Comunidad Valenciana, donde además la escasez de recursos hídricos es una realidad. En la actualidad no se dispone de información acerca de las necesidades de agua idóneas para la explotación comercial de esta especie, en consecuencia, el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias está llevando a cabo una experiencia con el fin de obtener una pauta para el manejo óptimo del riego del caqui, empleando para ello indicadores del estado hídrico del suelo, de la planta y la demanda evaporativa de la atmósfera. Combinando toda esta información se generan informes-recomendaciones de riego que son directamente transferidos al agricultor para su puesta en práctica en la explotación comercial en la que se ubica la experiencia

INTRODUCCIÓN

Desde hace unos años el cultivo del caqui cv. 'Rojo Brillante' ha sufrido una importante expansión en la Comunidad Valenciana, concentrándose su explotación en zonas muy concretas donde se ha revelado como una alternativa rentable frente al cultivo de cítricos y frutales de hueso. A pesar de su expansión, no hay constancia de estudios que proporcionen a los agricultores una pauta adecuada de riego, siendo norma común la aplicación a esta especie frutal de dosis y frecuencias de riego propias de los cítricos. Sin embargo, son evidentes las diferencias entre ambos cultivos por lo que cabe pensar que el manejo del riego pueda y deba ser distinto.

El Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias lleva desarrollando desde 2009 una experiencia que tiene como objetivo general definir una pauta de riego eficiente para el cultivo del caqui, para lo cual la programación de riego se realiza tomando como referencia los datos obtenidos de la monitorización de la demanda evaporativa de la atmósfera, del estado hídrico de la planta y del suelo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Parcela experimental: Parcela comercial de caqui (*Diospyros Kaki* L.f., 'Rojo Brillante' sobre patrón 'Diospiros Lotus') con 229 árboles de 8 años de edad a un marco de 5.5*4 m. El área sombreada media se sitúa en un 39%. La parcela se encuentra situada a 6 Km. al oeste de la ciudad de Valencia, en Manises (39° 30' N, 0° 24' E, a 44 msnm). El sistema de riego es

localizado por goteo, con 8 emisores compensantes por árbol, de 4.0 L h^{-1} de caudal nominal. El suelo es de textura franco arenosa a franca, con una profundidad media de 0.8 m.

Monitorización de la atmósfera: Estación meteorológica compuesta por sensores de precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento Thies Clima (Adolf Thies GmbH & Co. KG, Göttingen) y piranómetro Kipp & Zonen CM3 (Kipp & Zonen B.V., Delft), conectados a datalogger Campbell CR1000 (Campbell Scientific Ltd., Logan). Con los datos se realiza el cálculo diario de la Evapotranspiración de Referencia (ET_o) según la metodología de Penman-Monteith (Allen et al. 1998). La estación se encuentra incluida en el Sistema de Información Agroclimática para el Regadío

Monitorización de la planta: Potencial de tallo medido a mediodía (Ψ_{tallo}) (McCutchan and Shackel, 1992) con cámara de presión (Soil Moisture Equip. Corp. mod. 5100A), en 8 hojas maduras de la cara norte de 6 árboles. Las hojas se embolsaron en bolsas plásticas aluminizadas al menos 2 h antes de la medida. Las medidas se realizaron entre las 12:00 y las 13:00 hora solar con una frecuencia semanal.

Monitorización del suelo: El contenido de humedad del suelo se midió mediante 3 sondas capacitivas multisensor Enviroscan Plus (Sentek Pty Ltd., South Australia) cada una con 4 sensores situados a 0.1, 0.3, 0.5 y 0.7 m de profundidad. Las sondas se colocaron, a través de tubos de acceso de PVC, a una distancia de 0.10-0.15 m. del gotero. Se registró la humedad volumétrica cada 30 minutos cuyos valores se visualizaron mediante la utilidad informática del fabricante Irrimax 8.

Durante 2009, como punto de partida y en ausencia de una pauta específica para el caqui, la programación de riego aplicada fue la propia y habitual del agricultor, si bien mediante la información proporcionada por las sondas capacitivas, se le dieron las orientaciones pertinentes al objeto de mantener un contenido de humedad, en los primeros 0.6 m de suelo, entre capacidad de campo y un teórico punto de relleno, fijado en el 85% de la capacidad de campo. Paralelamente se efectuaron medidas semanales de Ψ_{tallo} al mediodía, en orden a conocer cuál era el estado de hidratación de las plantas con la pauta de riego utilizada.

En 2010 se instaló la estación meteorológica en la parcela, permitiendo calcular la ET_o diaria en las condiciones específicas de la explotación. Por otra parte, con las aportaciones de agua realizadas durante el año anterior, se obtuvo una aproximación de un coeficiente de cultivo experimental, para disponer de una referencia inicial sobre la que realizar un balance de agua y llevar a cabo una recomendación semanal, en base a la ET_o y la precipitación acumuladas de la semana inmediatamente anterior. A partir de ese punto, el ajuste de la dosis y frecuencia de riego a las condiciones concretas del suelo y del cultivo se efectúan a partir de la información proporcionada por las sondas capacitivas, por una parte, y a las medidas de potencial de tallo, por otra. Todo ello se recoge en un informe-recomendación que se suministra al agricultor para su conocimiento y aplicación en la parcela.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante 2009, la cantidad total de agua de riego aplicada fue de 487 mm. En lo referente al estado hídrico de los árboles, el Ψ_{tallo} osciló desde -0.4 MPa a principio de campaña hasta -0.75 MPa a mediados de verano. La información procedente de las sondas (Figura 1) indicó

que, en términos generales, la programación de riego fue apropiada, si bien a finales de primavera el contenido de agua en el suelo se mantuvo cercano al punto de recarga, mientras que en la parte final del verano las aportaciones resultaron excesivas, dado que la humedad se mantuvo por encima de capacidad de campo, al tiempo que, consecuentemente, comenzó el drenaje de agua por debajo de la profundidad radicular.

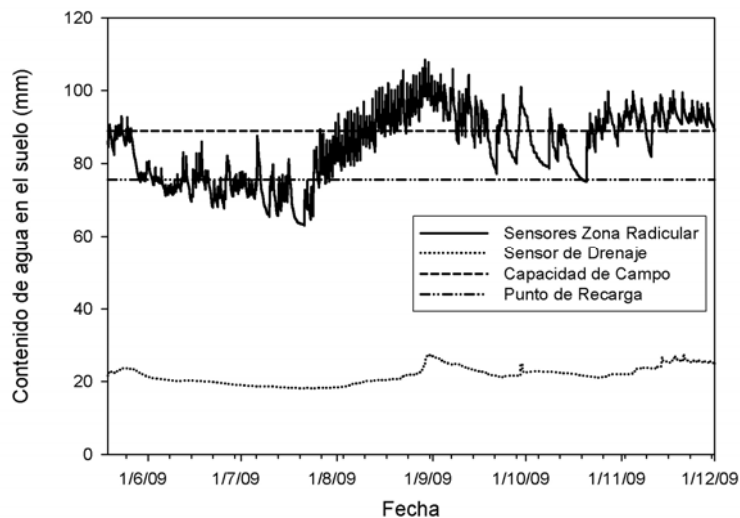


Figura 1: Variación del contenido de humedad en el suelo determinado por las sondas capacitivas durante 2009. Los valores corresponden a la media de las 3 sondas instaladas

Durante 2010, desde el 1 de abril hasta el 31 de julio, la cantidad total de agua de riego aportada fue de 233.4 mm, cifra 18.7 mm inferior a la del año anterior entre las mismas fechas. La ETo acumulada en el periodo considerado alcanzó 525.7 mm, inferior en 9.2 mm a la correspondiente de 2009, mientras que los valores de precipitación fueron de 96.9 mm y 53.8 mm respectivamente. Los valores de potencial de tallo en 2010 se situaron entre -0.35 MPa a finales de la primavera y -0.67 MPa a mediados de julio, valores superiores al rango registrado durante 2009. La figura 2 muestra la comparativa de los parámetros referidos para los dos años de estudio.

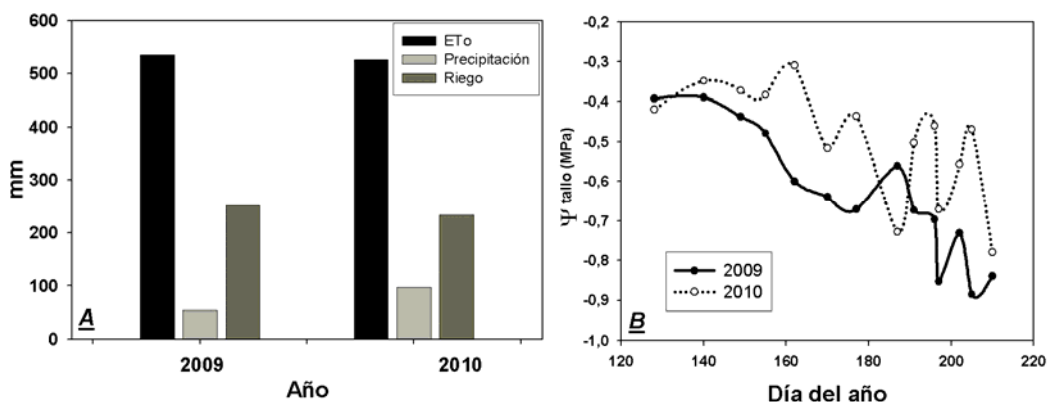


Figura 2: A) Evapotranspiración de Referencia según Penman-Monteith, precipitación total y riego aplicado entre el 1 de abril y el 31 de julio. B) Variación del potencial de tallo a mediodía.

El registro de la humedad del suelo (figura 3) muestra que el contenido de humedad se ha mantenido prácticamente en todo momento entre capacidad de campo y punto de recarga, con

completa ausencia de drenaje, incluso el contenido de humedad en profundidad presenta una tendencia descendente. Todo ello indica que la pauta de riego proporcionada al agricultor puede, en principio, considerarse como adecuada.

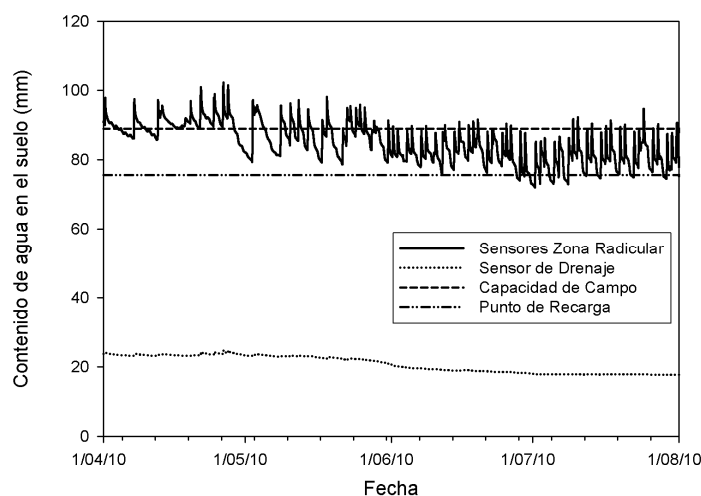


Figura 3: Variación del contenido de humedad en el suelo determinado por las sondas capacitivas durante 2010. Los valores corresponden a la media de las 3 sondas instaladas

CONCLUSIONES

Mediante la combinación de la información de la demanda evaporativa de la atmósfera, el estado hídrico de la planta y la evolución del contenido de humedad del suelo es posible desarrollar una programación del riego con un elevado grado de eficiencia. Sin embargo, a fin de que esta información sea correctamente empleada por el agricultor es importante transferirla de manera sencilla y práctica al usuario final. Asimismo, en el caso de cultivos como el caqui, cuyas necesidades hídricas no son conocidas, la metodología seguida permitirá la elaboración de una primera pauta general de riego que podrá hacerse extensiva al conjunto de productores de esta especie frutal.

AGRADECIMIENTOS

La realización de experiencia es posible gracias a la financiación del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias y la "Denominación de origen Caqui Ribera del Xúquer" a través del "Proyecto Integral Caqui". Agradecer, asimismo, a J. Puchades por la cesión de su parcela, a E. Badal y D. Guerra por su trabajo de campo

BIBLIOGRAFÍA.

ALLEN, R.G., PEREIRA, R.S., RAES, D., SMITH, M., 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage 56, FAO, Roma, pp. 56.

McCUTCHAN, H., SHACKEL K.A., 1992. Stem water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). J. Am. Soc. Hort. Sci. 117, 607-611.

STARR J.L., PALTINEANU I.C. 1998a. Soil water dynamics using multisensor capacitance probes in nontraffic interrows of corn. Soil Sci. Soc. Am. J. 62: 114-122.

STARR J.L., PALTINEANU I.C. 1998b. Real-time soil water dynamics over large areas using multisensor capacitance probes and monitoring system. Soil Tillage Res. 47: 43-49.

VERA J., MOUNZER O., RUIZ-SÁNCHEZ M.C., ABRISQUETA I., TAPIA L.M., ABRISQUETA, J.M. 2009. Soil water balance trial involving capacitance and neutron probe measurements. Agric. Water Manage. 96: 905-911.

Riego con aguas regeneradas en una especie halofita (*Atriplex halimus* L.). Efecto de las sales en la planta y suelo.

Castillo, M.¹, Pedrero, F.¹, Rodríguez, P.², Broetto, F.³, Álvarez, S.¹, Sánchez-Blanco, M.J.¹

¹ Dpto. de Riego. CEBAS (CSIC). P.O. Box 164, E-30100, Murcia, Spain.

² Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Gaveta Postal N° 1, San José de Las Lajas. A.P 32700. La Habana. (Cuba).

³ Instituto de Biociencias UNESP-Botucatu-SP (Brasil).

quechu@cebas.csic.es

ABSTRACT

Field trials were conducted in Murcia to evaluate the effect of irrigation with reclaimed wastewater (CE=4 dS m⁻¹) compared with well water (Tajo-Segura, CE=1.3 dS m⁻¹) during one year in a halophyte forage shrub, *Atriplex halimus*. The soil was sampled to 20 cm and 60 cm depth and salinity was monitored. The soil samples from reclaimed wastewater accumulated more solutes. In both soil depths there was a similar accumulation of salt for each treatment. The plants irrigated with reclaimed wastewater did not show reduction in dry matter and quality. Leaf and stem water potential values of plants reflected the osmotic effect, as a consequence of salinity. Leaves contained the most Na⁺ and Cl⁻ ions and the root the most Na⁺. Boron accumulation in the plants was not significant. *A. halimus* is a good candidate for use of reclaimed wastewater with high salinity, but special attention is necessary for the soil.

INTRODUCCIÓN

El uso de las aguas residuales tratadas en la agricultura está en un proceso de expansión, dada la creciente necesidad de aprovechar los recursos hídricos. Los problemas de salinidad asociados al uso de aguas residuales no son distintos a los causados por la salinidad o elementos traza en las aguas procedentes de otras fuentes y pueden ser importantes si generan restricciones para su uso (Pedrero et al., 2010), lo cual está asociado con el manejo del riego y con la tolerancia a la salinidad de las plantas (Wu y Dodge, 2005). *Atriplex halimus* es una especie que presenta vesículas en las células del mesófilo como mecanismo de inclusión de sales para tolerar los efectos adversos de las mismas (Wong y Jäger, 1978). Tales mecanismos son cruciales para secuestrar iones salinos, evitando posibles daños en los tejidos (Silveira et al., 2009). A pesar de ello, en distintas especies de *Atriplex* se ha visto que, en general, niveles bajos de salinidad no parecen tener efectos negativos en el crecimiento e incluso pueden estimularlo, sin embargo, niveles altos de sal pueden causar una reducción en el crecimiento total de la planta. El objetivo del trabajo fue estudiar las diferencias producidas en la biomasa, color, nivel de clorofila y estado hídrico en las plantas de *A. halimus* regadas con agua del trasvase Tajo-Segura (1.3 dS m⁻¹) y con aguas residuales depuradas (4 dS m⁻¹). También, la acumulación de iones en la planta y en el suelo ha sido estudiada.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las plantas de *Atriplex halimus* fueron trasplantadas el 6 de junio de 2008 en una finca experimental en Campotéjar (Murcia) en un suelo franco-arcilloso. Se emplearon 50 plantas por tratamiento y se colocaron en 2 hileras, regándose cada hilera con agua de distinta procedencia; Trasvase Tajo-Segura, AT (CE=1.3 dS m⁻¹, Na=376 mg l⁻¹, Cloruros=420 mg l⁻¹, B=0.21 mg l⁻¹, Sulfatos=529 mg l⁻¹) y agua residual depurada, ARD (CE=4 dS m⁻¹, Na=362 mg l⁻¹, Cloruros=862 mg l⁻¹, B=0.55 mg l⁻¹, Sulfatos= 1044 mg l⁻¹). El riego se aplicaba a través de

un sistema por goteo de 2 a 3 veces por semana y variando el tiempo de aplicación según el periodo estacional. El ensayo finalizó el 13 de agosto de 2009. En esta fecha se determinó el peso seco de las plantas, las coordenadas de color de las mismas (coordenadas CIELAB) y el contenido en clorofila (Minolta SPAD-502). El contenido de solutos inorgánicos se determinó, sobre material seco, en 5 plantas por tratamiento. El ión Cl^- se determinó sobre un extracto acuoso mediante un analizador automático (Model 926 Chloride Analyser, Sherwood Scientific Ltd.) y el contenido de minerales mediante el analizador ICP-OES IRIS INTREPID II XDL. Se realizaron análisis minerales del suelo a distintas profundidades (20 y 60 cm), según Richards, 1954.

También se midió el potencial hídrico de las hojas a mediodía (Ψ_h) y el del tallo (Ψ_x), en 5 repeticiones por tratamiento, usando una cámara de presión (Soil Moisture, mod. 3000) de acuerdo con Scholander et al., (1965).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al final del ensayo no hubo diferencias en la biomasa de las plantas por efecto de los tratamientos de riego (Figura 1). Tampoco se observaron cambios en el color de las hojas como consecuencia de las sales disueltas (Figura 2). Sin embargo, el contenido de clorofila aumentó ligeramente en las hojas de las plantas regadas con aguas regeneradas, quizás los mayores niveles de solutos disueltos en este tipo de agua pudieron inducir este aumento.

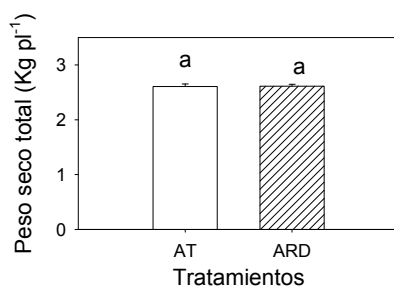


Figura 1. Peso seco total (Kg pl^{-1}) en plantas de *A. halimus* regadas con agua de trasvase (AT) y agua residual depurada (ARD) al final del ensayo.

El estrés osmótico inducido por las sales en el sistema radical se reflejó en el potencial hídrico foliar y del tallo, presentando las plantas regadas con ARD valores más negativos (-3.0 MPa y -2.5 MPa, respectivamente) (Figura 3). Las diferencias encontradas en los valores de Ψ_h entre ambos tratamientos se mantuvieron al considerar los valores de Ψ_x . Este comportamiento indica, que aunque no se han producido daños por efecto de la acumulación de iones en las plantas, si se produce un descenso del potencial hídrico para generar un gradiente entre las raíces y la parte aérea para mantener un flujo de agua hacia la planta. Este comportamiento es típico de plantas halófitas (Silveira et al., 2009).

La concentración de cloruros aumentó solo en las hojas de las plantas regadas con ARD (Tabla 1). En cuanto a los valores de Na^+ , dichas diferencias también se producen en el sistema radical. Este comportamiento es similar si atendemos al ión K. El resto de los elementos minerales determinados en las plantas no presentan diferencias significativas entre ambos tratamientos, a excepción del fósforo que incrementa en las raíces de las plantas regadas con ARD. Aumentos en el contenido de N, P, y K en plantas regadas con ARD se han observado frecuentemente, aunque dependen de la especie estudiada (Gori et al. 2000). La acumulación de boro en las plantas por efecto de las aguas empleadas no parece significativa (Tabla 1), aunque hay una mayor acumulación en las hojas que en las raíces en las plantas de ambos tratamientos. Aunque la concentración de boro puede ser un problema asociado al uso

de aguas residuales tratadas en la Región de Murcia, no parece provocar daños en estas plantas (Wu y Dodge, 2005).

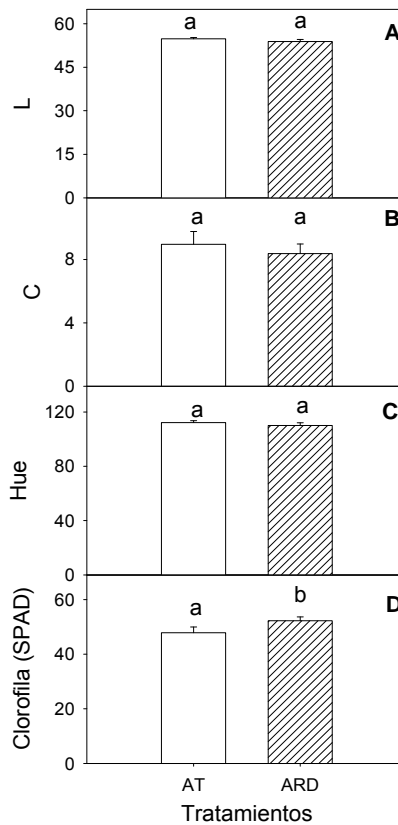


Figura 2. Color: Luminosidad (L; A), Cromo (C; B) y ángulo hue (Hue; C) y clorofila (D) en plantas de *A. halimus* regadas con agua de trasvase (AT) y agua depurada (ARD) al final del ensayo.

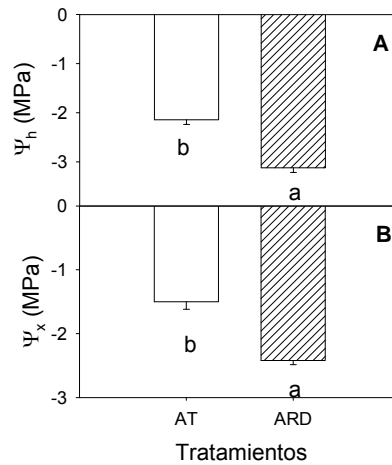


Figura 3. Potencial hídrico (Ψ_h , A) y potencial de tallo (Ψ_x , B) en plantas de *A. halimus* regadas con agua de trasvase (AT) y agua depurada (ARD) al final del ensayo.

Tabla 1. Concentración de iones en hojas, tallos y raíces en plantas de *A. halimus* regadas con agua de trasvase (AT) y agua depurada (ARD).

Iones (ppm)	Hojas		Tallo		Raíz	
	AT	ARD	AT	ARD	AT	ARD
Boro	101 a	105 a	45 a	44 a	40 a	35 a
Calcio	19876 a	20116 a	7740 a	7820 a	15920 a	12590 a
Cobre	8,6 a	9,0 a	8,5 a	8,5 a	9,5 a	10,4 a
Hierro	299 a	341 a	81 a	85 a	871 a	511 a
Potasio	43510 a	55066 b	26103 a	27395 a	11135 a	15460 b
Magnesio	13908 a	12508 a	3334 a	3774 a	4055 a	4468 a
Manganeso	84 a	102 a	21 a	25 a	46 a	35 a
Sodio	57850 a	62683 b	11023 a	12123 a	2387 a	4360 b
Fósforo	1739 a	2231 a	1013 a	1029 a	1107 a	2470 b
Azufre	8991 a	7480 a	3184 a	2647 a	1464 a	2694 b
Zinc	13,8 a	17,5 a	10,7 a	11,0 a	16,4 a	14,7 a
Cloruros	40373a	31200a	15147a	12480a	6667a	6613 ^a

El análisis de suelo al final del ensayo (Tabla 2) indica que hay un aumento de la salinidad por efecto del tratamiento ARD en el suelo y que dicho aumento se da en las dos profundidades ensayadas. Si bien, la acumulación de Cl⁻, Na⁺ y la CE es similar para cada tratamiento a 20 y 60 cm. Es decir la distribución de las sales en profundidad es más o menos homogénea, independientemente del nivel de sales acumuladas. Podemos concluir que las plantas tolerantes a la salinidad como *Atriplex halimus* son buenas candidatas para que sean regadas con aguas residuales regeneradas con altos niveles de salinidad (4 dS m⁻¹). Si bien hay que prestar una especial atención al suelo por los posibles efectos que las sales pueden tener a largo plazo sobre la calidad y estructura del mismo.

Tabla 2. Análisis de suelo regado con agua de trasvase (AT) y agua depurada (ARD) a dos niveles de profundidad.

Profundidad (cm)	Tipo de agua	Ca (mg l ⁻¹)	CE (dS m ⁻¹)	Cloruros (mg l ⁻¹)	Mg (mg l ⁻¹)	Na (mg l ⁻¹)
20	AT	320,2a	3,74 a	480 a	162,3 a	307,0 b
	ARD	524,2a	8,44b	2150 b	371,7 b	1639,9 a
60	AT	222,6a	2,77 a	360 a	123,1 a	226,4 b
	ARD	556,1b	8,70 b	2190 b	427,0 b	1633,4 a

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha financiado por los proyectos CICYT (CICYT AGL2008-05258-CO2-1-AGR y CICYT AGL2008-05258-CO2-2-AGR) y por el Convenio con la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia (UPCT-CEBAS-IMIDA 2008).

BIBLIOGRAFÍA

- Gori, R., Ferrini, F., Nicese, F.P., Lubello C. 2000. Journal of Environmental Horticulture, 18, 108-114.
- Silveira, J.A.G., Araújo, S. A.M., Lima, J.P.M.S., Viegás, R.A. 2009. Environ. Exp. Bot., 66,1-8.
- Pedrero, F., Alarcón, J.J., Asano, T. 2010. Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua, 241-254.
- Richards, L.A. (Ed.) 1954. US Department of Agriculture Handbook 60. California, USA.
- Scholander, P.F., Hammel, H.T., Bradstreet, E.D., Hemingsen, E.A. 1965. Science, 148, 339-346.
- Wu, L., Dodge, L. 2005. Slosson Research Endowment for Ornamental Horticulture.
- Wong, C.H., Jäger, H.J. 1978. Plant Science Letters, 12, 63-68.

Germinación y crecimiento de dos variedades de *Medicago sativa* en condiciones de estrés hídrico y salino.

Pedranzani H., Castro Luna A., Ruiz O., Quiroga M.

Laboratorio de Fisiología Vegetal. PROICO 50107. S.C.y T. FICES. Universidad Nacional de San Luís. Argentina.
hpedra@fices.unsl.edu.ar

ABSTRACT.

La sequía y la salinidad pueden afectar significativamente el rendimiento de las plantas en regiones áridas y semiáridas. *Medicago sativa* es una especie ampliamente difundida en Argentina considerada como de gran importancia forrajera. El objetivo de este trabajo fue estudiar la respuesta de dos variedades de alfalfa: Verdor y Salina en aspectos fisiológicos como germinación y crecimiento, frente al estrés salino e hídrico. Semillas de dos genotipos de alfalfa fueron sembradas en una mezcla de tierra: perlita, 80:20 en condiciones óptimas de luz y temperatura y cuando tenían 10 cm, comenzaron los riegos con soluciones de NaCl, 50, 100 y 200 mM de NaCl para inducir estrés salino y PEG 6000 logrando sequía con presiones osmóticas de -0,5, 1 y 1,5 Mpa. Se midió Germinación en los parámetros Energía Germinativa (EG) Poder Germinativo (PG) y crecimiento mediante peso fresco, (PF) peso seco (PS) y longitud (L) Los resultados muestran menor tolerancia a la salinidad y al estrés hídrico de la var. Verdor y mayor tolerancia de la var. Salina, a la salinidad, pero no así a la sequia.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones de estrés abi tico causa cuantiosas pérdidas en la producción agrícola en todo el mundo (Bray, 2004) La salinización de los suelos es un importante problema ambiental a nivel mundial, especialmente en zonas áridas y semiáridas. El análisis de la salinización de los suelos ha jugado un papel crucial e importante en las ciencias ambientales. La salinidad puede influenciar negativamente sobre la calidad del suelo y la agricultura sustentable, y puede afectar la biodiversidad, infraestructura rural y urbana, calidad de agua y producción agrícola (Masoud and Koike 2006). A escala mundial, se estima que 20% de las tierras irrigadas est  afectada por salinidad, cerca del 50% de las tierras irrigadas en zonas áridas y semiáridas tiene algún grado de problemas de salinización, y cerca de 10 millones de has de tierras irrigadas est n abandonadas todos los años a causa de la salinización y la alcalinización (O'Hara, 1997). En San Luís, Argentina, actualmente se estiman 70.000 hectáreas implantadas con *Medicago sativa*, debido al desplazamiento de áreas ganaderas a la zona semiárida (Funes, 2005). Estudios previos informaron sobre comportamiento de var DK166, de alfalfa en cuanto a su rendimiento frente a estrés hídrico y salino (Castro Luna, et al., 2010) El objetivo de este trabajo es estudiar la germinación y crecimiento de dos variedades de alfalfa en condiciones de estrés abi tico (hídrico y salino), con la finalidad de dar respuesta a los productores que buscan germoplasmas que se

adapten a condiciones ambientales extremas, superando el desafío de mantener el equilibrio entre productividad agrícola y sustentabilidad de los sistemas agrarios.

MATERIALES Y METODOS

Semillas de *Medicago sativa* "Alfalfa": var. Verdor y Salina, se sembraron en terrinas (bandejas plásticas) conteniendo tierra negra y perlita en una proporción 80:20. Cuando las plantas tuvieron aproximadamente 10 cm de altura, se regaron cada 3 días con 100 ml de soluciones osmóticamente activas de PEG 600 (0,5MPa, -1 Mpa, -1,5 Mpa) para simular estrés hídrico y con soluciones de NaCl para promover estrés salino (50 mM, 100 mM y 200 mM). Se extrajeron muestras por triplicado para realizar los estudios de biomasa, peso fresco (PF) y peso seco (PS) al 3er, 7mo y 15 días. Los controles se regaron con agua destilada. Todas las plantas crecieron en cámara de siembra a 21-22 °C de temperatura; con un fotoperíodo de 16: 8.

RESULTADOS Y DISICUSION

En presencia de NaCl, la var. Verdor disminuyó en forma significativa su EG a 100 mM (36%) y 200 mM (97%) y el PG a 200 mM (97%) y frente a estrés hídrico simulado la EG disminuyó a -1 Mpa (54%) y -1,5 Mpa (94%) y el PG disminuyó a -1,5 Mpa (86%) (Tabla 1). La var Salina en presencia de NaCl, tanto la EG (65%) como el PG (62%) disminuyeron significativamente en concentraciones de 200mM. En presencia de presiones osmóticas, la EG disminuyó en los potenciales osmóticos de -1Mpa (23%) y -1,5 Mpa (83%) y el PG a (-1,5Mpa) en un 68% (Tabla 1).

Tabla 1: Valores promedio de EG y PG de *Medicago sativa*, vars. Verdor y Salina en condiciones de estrés hídrico y salino. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas (Statsgraphics para $p \leq 0,05$).

<i>Medicago sativa</i> "alfalfa"	Tratamientos	Energía Germinativa	Poder Germinativo	
Var. Verdor	NaCl	Control	76 <i>a</i>	70 <i>a</i>
		50mM	71 <i>a</i>	77 <i>a</i>
		100 mM	28 <i>b</i>	52 <i>a</i>
		200 mM	2 <i>c</i>	2 <i>b</i>
	PEG	Control	74 <i>a</i>	78 <i>a</i>
		(-)0,5 Mpa	67 <i>a</i>	79 <i>a</i>
		(-)1 Mpa	33 <i>b</i>	66 <i>a</i>
		(-)1,5 MPa	4 <i>c</i>	11 <i>b</i>
Var. Salina	NaCl	Control	77 <i>a</i>	83 <i>a</i>
		50mM	73 <i>a</i>	80 <i>a</i>
		100 mM	77 <i>a</i>	79 <i>a</i>
		200 mM	27 <i>b</i>	40 <i>b</i>
	PEG	Control	79 <i>a</i>	84 <i>a</i>
		(-)0,5 Mpa	83 <i>a</i>	86 <i>a</i>
		(-)1 Mpa	61 <i>b</i>	76 <i>a</i>
		(-)1,5 MPa	13 <i>c</i>	27 <i>b</i>

Crecimiento de las variedades Verdor y Salina en condiciones de estrés salino y por sequía.

En la **var. Verdor**, los datos que figuran en la Tabla 2 corresponden a los 7 días de tratamiento con NaCl, ya que a partir de esa fecha, hay pérdida de material vegetal con síntomas de plasmólisis o necrosis a causa de exceso de sales. El PF de la fracción aérea aumentó a 100 mM y 200 mM de NaCl, mientras la fracción radical disminuyó a esas concentraciones. El PS de la parte aérea aumentó a 100mM y en la fracción radical se observó un incremento con 50 mM y es despreciable para 100 y 200 mM. La longitud de la parte aérea aumentó en las concentraciones de 100 y 200 mM de NaCl y la fracción radical disminuyó su tamaño en un 17, 32 y 44% para 50, 100 y 200 mM respectivamente (Tabla 2)

La var. Salina tolera más la salinidad y llega viva hasta el tercer recuento a los 15 días El PF de la fracción aérea se vio incrementada en todas las concentraciones de sal y en la fracción radical se observó a 50 y 100 mM de NaCl. El PS no presentó diferencias estadísticamente significativas para ninguno de las fracciones estudiadas, demostrando la estabilidad de esta variedad ante la salinidad. La longitud de las raíces se incrementó en presencia de 50 mM de NaCl, y fueron 1,8 veces mayores que el control, el follaje por su parte no fue afectado bajo ningún tratamiento con NaCl (Tabla 2).

Tabla 2: Valores promedio de PF, PS y Longitud de parte aérea y radical de *Medicago sativa*, vars. Verdor y Salina en condiciones de estrés salino. Las letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre las muestras analizadas (Statsgraphics para un $p \leq 0,05$).

Medicago sativa "Alfalfa"	Tratamientos		Peso Fresco		Peso Seco		Longitud	
			Aéreo	Raíz	Aéreo	Raíz	Aéreo	Raíz
Var. Verdor	NaCl 7 d	Control	0,13 c	0,05 a	0,004 b	0,006 b	2,16 a	4,13 a
		50mM	0,14 c	0,05 a	0,003 b	0,010 a	2,40 a	3,4 b
		100 mM	0,23 a	0,03 b	0,02 a	-----	5,03 b	2,8 b
		200 mM	0,17 b	0,02 b	0,006 b	-----	4,06 b	2,3 b
Var. Salina	NaCl 15 d.	Control	0,27 b	0,05 b	0,04 a	0,01 a	5,8 a	3,6 a
		50mM	0,45 a	0,09 a	0,05 a	0,04 a	5,9 a	6,8 b
		100 mM	0,39 a	0,10 a	0,04 a	0,02 a	5,8 a	4,8 a
		200 mM	0,43 a	0,06 b	0,05 a	0,03 a	5,2 a	5,2 ab

La **var. Verdor** tolera hasta los 7 días de tratamiento con PEG 6000, fecha en la cual se tomaron los datos que figuran en la Tabla 3, presentando después de esta fecha síntomas de plasmólisis y necrosis. A presiones de -0,5 y -1 Mpa el PF disminuyó en la fracción aérea, la fracción radical se mantuvo indiferente; y el PS aéreo y radical incrementaron significativamente respecto al control (evidenciando acumulación de solutos) y el crecimiento de las plantas (follaje y raíces) no mostró diferencias significativas. A potenciales de -1,5 Mpa se observó el follaje marchito, con escaso a nulo crecimiento y síntomas de necrosis general en toda la planta (Tabla 3).

La **var. Salina**. Toleró 7 días de tratamiento con PEG 6000, fecha en la cual se tomaron los datos que figuran en la Tabla 3. Esta variedad vio afectada el PF follaje frente a estrés hídrico, que disminuyó -0,5 Mpa(47%); -1Mpa (58%) y -1,5 Mpa (63%), sin embargo el PF de las raíces no mostró diferencias estadísticamente significativas (Tabla 3). El PS del follaje no mostró cambios con la falta de agua y las raíces aumentaron significativamente 4 y 7 veces para -0,5 y -1Mpa

X Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas

respectivamente. El follaje disminuyó su crecimiento en todos los tratamientos en un 54, 48 y 56 % para -0,5, -1 y -1,5Mpa respectivamente. Las raíces por el contrario tuvieron un incremento y en el tratamiento con -1,5Mpa fue significativo con un aumento 1,3 veces superior al control (Tabla 3).

Tabla 3: Valores promedio de PF, PS y Longitud de parte aérea y radical de *Medicago sativa*, vars. Verdor y Salina en condiciones de estrés hídrico. Las letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre las muestras analizadas (Statsgraphics para un $p \leq 0,05$).

Medicago sativa "Alfalfa"	Tratamientos		Peso Fresco		Peso Seco		Longitud	
			Aéreo	Raíz	Aéreo	Raíz	Aéreo	Raíz
Var. Verdor	PEG 6000 7 d.	Control	0,30 a	0,06 a	0,03 b	0,01 b	5,23 a	4,66 a
		(-)0,5 Mpa	0,09 b	0,07 a	0,05 a	0,05 a	3,68 a	4,26 a
		(-)1 Mpa	0,11 b	0,08 a	0,05 a	0,04 a	4,16 a	4,4 a
		(-)1,5 MPa	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Var. Salina	PEG 6000 7 d.	Control	0,36 a	0,07 a	0,03 b	0,01 c	5,8 a	3,6 b
		(-)0,5 Mpa	0,19 b	0,06 a	0,06 b	0,04 b	2,7 b	4,7 b
		(-)1 Mpa	0,15 b	0,09 a	0,03 b	0,07 a	3,0 b	3,8 b
		(-)1,5 MPa	0,12 b	0,07 a	-----	-----	2,5 b	5,0 a

La var. Verdor, fue muy susceptible a escasas de agua, con excepción de la germinación, no pudieron medirse otros parámetros a potenciales mayores a -1 Mpa, ni a tiempos mayores a 7 días. El PS de la parte aérea se mantuvo invariable frente a estrés hídrico, pero la fracción radicular se incrementó bajo los dos tratamientos, esto confirmaría los datos medidos en el PF, indicando un probable mecanismo de escape frente a falta de humedad disponible, con incrementos de concentración de solutos. Se puede considerar sensible a la salinidad y sequía, ya que ven deteriorados todos los parámetros de crecimiento mostrando síntomas de intoxicación por la sal y muerte por falta de agua, en condiciones extremas.

La var. Salina mostró mayor tolerancia a la salinidad y sequía, dado que solo 200 mM de Na Cl afectó la EG y el PG y las plantas crecieron manteniendo o incrementando el PF, PS y longitud. El incremento de la raíces indicaría tolerancia frente a condiciones de salinidad. Sin embargo, frente al estrés hídrico, el PF del follaje disminuyó mientras que en las raíces se mantuvo inalterado frente a todas las restricciones hídricas, esto indicaría que la especie activa sus mecanismos de adaptación ante la falta de agua, y el incremento de PS radical, probablemente se deba a la acumulación de osmolitos y por crecimiento compensatorio de la raíz. Lo llamativo fue que esta especie tolerante a la sal, resultó como la Var. Verdor, muy susceptible a la sequía. La longitud aérea disminuyó en todos los tratamientos, mientras que la raíz se mantuvo sin cambios ante restricciones moderadas y altas, y se incrementó su largo bajo condiciones de suelo seco, lo que probablemente mostraría un mecanismo de escape al estrés a través de la elongación radical en busca de mayor humedad disponible en profundidad.

BIBLIOGRAFIA

- Masoud A. and Koike, K. 2006. Journal of arid of environments, Vol. 66 (1), 151-167
 Bray E.A. 2004. Journal of Experimental Botany vol. 55, 407, p. 2331-2341
 Castro Luna, A., Ruiz, O., Quiroga, M., Pedranzani, H. 2010. Biocell, (34) 1, 2010.
 Funes, M. 2005. Informe Técnico 77. 1-69. INTA. Argentina
 O'hara, S.L., 1997. J. Arid Environ. 37, pp. 165-179.

Riego del pistachero con dosis mínimas; influencia del portainjerto.

Guerrero, J.¹; Pérez-López, D.¹; Couceiro, J.F.¹; Rivero, A.M.¹; Gijón, M.C.¹

¹ CA "El Chaparrillo", Consejería de Agricultura y Desarrollo Rural de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, 13071-Ciudad Real. España.
jguerrero@jccm.es

ABSTRACT

Pistachio cultivation has become an alternative to a growing interest in Castilla la Mancha in recent years. It is a profitable crop in drought, but with clear improvements in nut yield and quality in irrigation conditions. Due to the scarcity of water for agriculture, increasingly pronounced in this region, this work was made using regulated deficit irrigation (RDI) techniques, which consist in restrict irrigation in less sensitive crop stages to water stress. Different rootstocks and irrigation treatments were compared (in terms of water potential measurements and phenological stages of the fruit), applying a maximum dose of 75 mm in deficit irrigation treatments. Significant differences in water potential between irrigation treatments and rootstocks were found, but no differences in production, both in terms of rootstock and irrigation treatments. *P. terebinthus* was the most resistant to water stress. The maximum water amount imposed (75 mm) was found to be inadequate for the cultivation conditions in Castilla la Mancha, because of the water potential reached by the control treatment was not recovered in deficit irrigation treatments.

INTRODUCCIÓN

El pistachero se ha establecido como un interesante cultivo alternativo a otras especies leñosas en la zona de La Mancha (Guerrero et al., 2005). Aunque su rentabilidad esta suficientemente demostrada en secano, el riego mejora su producción tanto cuantitativa como cualitativamente (Goldhamer and Beede, 2004). En la actualidad la dotación de riego que se concede para este cultivo por parte de la Confederación Hidrográfica del Guadiana (Alto Guadiana) es de 750 m³/ha/año. Esta dosis es muy inferior al consumo del cultivo, que en función del marco de plantación y del tamaño de los árboles puede llegar a unos 10000 m³/año (Goldhamer, 1985). Para optimizar el riego con estas dosis tan restrictivas, debemos utilizar la técnica del Riego Deficitario Controlado (RDC). Esta técnica consiste en restringir el riego en las fases del cultivo menos sensibles al estrés hídrico. En el pistachero, podemos dividir el desarrollo carpológico en tres fases, las cuales nos permiten distribuir la campaña de riego (Goldhamer et al., 1987; Phene et al., 1987; Crane et al., 1971): la primera se inicia con el final de floración (inicio de la campaña de riego) y se prolonga hasta que el fruto casi alcanza su tamaño definitivo. Durante la segunda ocurre el endurecimiento del endocarpio, y la tercera comienza con el crecimiento de la semilla del fruto. Según estas fases, la menos sensible al estrés hídrico es la segunda.

Dentro del genero *Pistacia* encontramos un importante número de especies con características agronómicas que puede resultar interesantes como posible portainjertos. *P. atlantica* Desf. *P. terebinthus* L., *P. palestina* Boiss , *P. integerrima* Stewartson, *P. khinjuk* Stocks, que junto con diferentes híbridos interespecificos (PGII y UCB1) son los más utilizados. Ferguson et al (2005) comprobó que *P. terebinthus* L. era el más resistente a la sequía y al frío, mientras que *Pistacia integerrima* era susceptible al frío pero tolerante a verticillium. *P. atlantica* En EEUU comenzó a utilizarse pero se abandonó debido a su extrema sensibilidad a la

Verticilosis. *P. vera* es el patrón franco obtenido de la propia semilla de pistacho; se utiliza en Irán, Asia central, etc., requiere terrenos fértiles y es susceptible a nemátodos.

En este trabajo se ha intentado evaluar la influencia de riegos muy deficitarios utilizando los portainjertos *P. terebinthus*, *P. atlantica* y *P. integerrima*.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en 2008 en la finca “La Entresierra” perteneciente a la Consejería de Agricultura y Desarrollo Rural de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, situada en las proximidades de Ciudad Real (3° 56' W, 39° N, 640 m de altitud). El suelo tiene un profundidad de 50 cm, donde se encuentra un horizonte petrocálcico discontinuo, se clasifica como Alfisol, Xeralf Petrocalcic Palexeralfs.

Las parcelas experimentales estaban formadas por dos árboles control rodeados de una fila con el mismo tratamiento de riego. Se utilizó un diseño factorial con dos variables, la primera el tratamiento de riego y la segunda el portainjerto. Los árboles se injertaron en el año 2000 sobre terebinthus (*P. terebinthus*), atlantica (*P. atlantica*) e integerrima (*P. integerrima*).

En relación al riego, se utilizaron tres tratamientos; el primero, denominado “control” se le regó según el balance de FAO, determinando la ETc como el producto de la ETo por la Kc. La ETo se obtuvo de los datos climatológicos de una estación agroclimática situada en el centro de una pradera de superficie 1,5 ha y a una distancia de 500 m del campo de ensayo. Se tomaron las Kc quincenales del Pistachio Production Manual (Goldhamer, 2005). También se utilizó un coeficiente reductor en función del tamaño del volumen de copa y el marco de plantación (Feres *et al.*, 1981)

Tabla 1: Datos de ETc, Precipitación efectiva y dosis de riego en los tres tratamientos estudiados por meses.

	ETc (mm)	Pe (mm)	RIEGO (mm)		
			Control	T1	T2
Enero		8.19			
Febrero		24.92			
Marzo		5.25			
Abril	5.86	72.80			
Mayo	22.88	58.94	4.48		
Junio	54.54	10.29	34.23		
Julio	82.72	1.61	93.04		29.72
Agosto	75.06		88.64		44.94
Septiembre	35.03	22.33	35.27		
Octubre	14.49	73.57	14.07		
Noviembre	1.98	9.31			
Diciembre		15.40			
TOTAL	292.57	302.61	269.74	0.00	74.66

Los otros dos tratamientos de riego se realizaron siguiendo tres premisas. A) La dosis de riego diaria sería igual a la calculada con la metodología FAO. B) La dosis máxima de riego para la campaña será de 75 mm, que es la dotación que la confederación Geografica del Guadiana da para plantaciones de pistacho. C) Se estableció un umbral de potencial hídrico para cada fase de la campaña de riego a partir del cual se iniciaría el riego. Para T1, los umbrales son -1 MPa, -1.5 MPa y -1.5 MPa y para el tratamiento T2 los umbrales fueron -1.5

MPa, -2.5 MPa y -1 MPa. Esto se tradujo en un aporte de 75 mm en el tratamiento T2 durante la tercera fase (Tabla 1) en el año de estudio y en la no necesidad de riego en el tratamiento T1.

Se realizaron medidas semanales de potencial hídrico de tronco al mediodía con una cámara de presión del tipo Schölander para estimar el estado hídrico de la planta en función del tratamiento de riego aplicado y cada portainjerto. Para ello se cubría una hoja con papel de aluminio al menos una hora antes de la determinación. Se realizaron medidas de la producción de cada árbol control, mediante el peso fresco, porcentaje de frutos llenos y vacíos y frutos llenos y cerrados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se muestran los resultados del potencial hídrico del tronco. Hubo diferencias significativas entre el tratamiento control y los otros dos de forma prácticamente continuada desde el día 162.

Como se observa, la aportación de 75 mm en la fase III consiguió cierta recuperación de los potenciales hídricos del tratamiento T2, que se situaron en una posición intermedia entre los potenciales de T1 y los de control. Sin embargo esto no fue suficiente para recuperar los árboles hasta una situación similar a los de control.

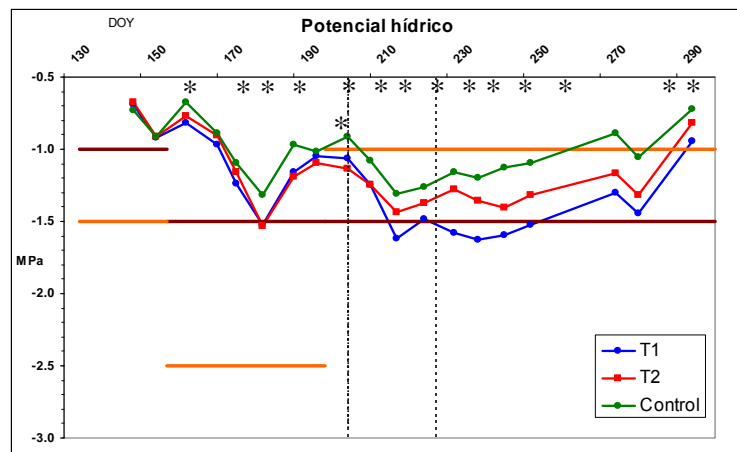


Figura 1: Potencial hídrico de tronco al mediodía según tratamientos de riego. Las rayas horizontales son los umbrales que nos marcamos para iniciar el riego en los tratamientos T1 y T2. Las rayas verticales indican el período durante el cual el tratamiento T2 se regó. Los asteriscos indican las fechas con diferencias significativas para $p < 0.05$.

Con respecto a los portainjertos (Figura 2) hubo diferencias significativas entre integerrima y atlantica en el día 162, entre integerrima y terebinthus el 170 y entre integerrima y las otras dos los días 190 y 191. Esta mayor sensibilidad al estrés hídrico del portainjerto integerrima al inicio de campaña puede ser debido a la mayor sensibilidad al frío de este portainjerto y que por tanto inicia la campaña con el sistema radicular dañado debido al frío invernal.

También hubo diferencias significativas entre terebinthus e integerrima el día 238, entre terebinthus y las otras dos el día 274 y entre terebinthus y atlantica los días 280 y 294. Este mejor estado del portainjerto terebinthus indica su mejor resistencia a condiciones de estrés hídrico, en concordancia con los resultados de Ferguson et al (2005). En las condiciones de Castilla-La Mancha no se han encontrado diferencias significativas en la producción de árboles injertados sobre atlantica y terebinthus en seco (Guerrero et al., 2008; Guerrero et al., 2006),

siendo inferior la producción de los injertados sobre integerrima (Guerrero et al., 2005). En este ensayo no se encontraron diferencias en la producción, ni en cantidad ni en calidad entre tratamientos de riego ni portainjertos (datos no mostrados).

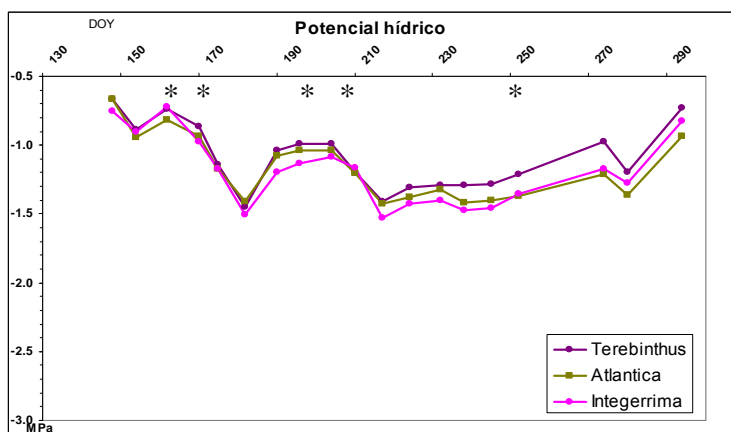


Figura 2: Potencial hídrico del tronco según portainjertos.

CONCLUSIONES

Aunque un año es un corto período para obtener conclusiones en un ensayo de riego, parece que el riego de 75 mm, se podría considerar como un riego auxiliar más que un Riego Deficitario Controlado, y que para poder considerar una plantación de pistacheros en riego, sería necesario una dosis ligeramente superior.

En cuanto al portainjerto se acentúan los resultados obtenidos a nivel de producción en seco, descartando para la región de Castilla-La Mancha el portainjerto integerrima y siendo preferible la utilización de terebinthus frente a atlantica.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha mediante el proyecto de investigación PAI09-0005-3128. Hay que agradecer el trabajo realizado por Dña Ana Rivero Rincón.

BIBLIOGRAFÍA

- Crane JC, Bradley MV, Nelson MM. J Am Soc Hort Sci. 1971. 96:80.
- Fereres, E., Pruitt, W. O., Beutel, J.A., Henderson, D. W., Holzapfel, E., Shulbach, H., Uriu, K., 1981. ET and drip irrigation scheduling. In: Fereres, E. (Ed.) Drip Irrigation Management. University of California. Div. of Agric. Sci. Nº 21259. 8-13.
- Ferguson, L., Beede R.H., Freeman M.W., Haviland D.R., Holtz B.A. and Kallsen C.E.. 2005. Pistachio production manual, 4th Edn. Fruit and Nut Research and Information Center, University of California, Davis, CA, 256 p.
- Goldhamer DA, Kjellgren RK, Williams L, Beede R. 1985. American Society of Agricultural Engineers. 216p. 223.
- Goldhamer, D.A., Phene B.C., Beede, R., Sherlin, L., Mahan S. and Rose D. 1987. Effects of sustained deficit irrigation on pistachio tree performance. In Annual Report, Crop Year 1986–1987. California Pistachio Industry, Fresno, CA, pp 61–66.
- Goldhamer, D.A. and R.H. Beede. 2004. J. Hort. Sci. Biol. 79:538–545.
- Goldhamer, DA, 2005. Tree water requirements & regulated deficit irrigation. In: Pistachio production manual, 4th Edn. Fruit and Nut Research and Information Center, University of California, Davis, CA, 256 p.
- Guerrero, J.; Moriana, A.; Couceiro, J.F.; Mendiola, MA.; Gijón, M.C. 2005. Fruticultura Profesional, 150: 5-24.
- Guerrero, J.; Gijón, M.C.; Moriana, A.; Couceiro, J.F.; 2006.. Nucis, 13: 41-45.
- Guerrero, J.; Gijón, M.C.; Moriana, A.; Rivero A.; Couceiro, J.F. 2008. Fruticultura Profesional, 173: 36-45.
- Phene, B.C., Goldhamer D.A., Menezes J., Beede, R., Weinberger G. and Z. Cervantes. 1987. Response of pistachio trees to three consecutive years of irrigation cut-off. In Annual Report, Crop Year 1986–1987. California Pistachio Industry, Fresno, CA, pp 67–70.

Influencia del estado hídrico del suelo y la planta en la dinámica de nutrientes en hojas de melocotonero

Quezada R.¹, Munguía, J.¹, Abrisqueta, I.², Vera, J.^{2,3}, Ruiz-Sánchez, M.C.^{2,3}, Abrisqueta, J.M.^{2,3}

² Centro de Investigación en Química Aplicada.(CONACYT) Blvd. Enrique Reyna Herosillo 140 C.P. 25100, Saltillo, Coah. México.

¹ Dpto. Riego, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC) P.O. Box 164 E-30100 Espinardo, Murcia

jmabrisq@cebas.csic.es

³Unidad Asociada al CSIC de Horticultura Sostenible en Zonas Áridas (UPCT-CEBAS)

ABSTRACT

The effect of soil moisture content on the dynamics of nutrients in peach leaves was studied during one growing season. Trees were submitted to different irrigation treatments: control (> 100% ETc), continuous deficit irrigation (50% ETc), partial root drying (50% ETc), regulated deficit irrigation (25 -100% ETc), and automatic irrigation based on the water content status, as measured with capacitance probes. The dynamics of nutrients was similar in all treatments, but some differences were found in the amount of nutrients in the leaves. Elements that most influenced were N Ca, K. Plants in control treatment showed the higher water status in soil and plant, which induced the lower nitrogen in the leaves, but the higher content in calcium, potassium and phosphorus. Magnesium and sulfur were not affected. The relationship between the elements was also amended by the availability of water to the plant.

INTRODUCCIÓN

La escasez de agua en las zonas áridas y semiáridas requiere que se haga un uso más eficiente del agua y se utilicen técnicas de producción que permitan la reducción del agua sin que se vea afectada la productividad del cultivo. Sin embargo, el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas es muy sensible a una reducción en la disponibilidad de agua en el suelo (Davies y Hartung, 2004). El déficit de riego, total (DI) o Parcial (PRD) además de provocar cambios en la rizosfera (Dodd, 2009), también afecta la distribución y disponibilidad de los nutrientes para las plantas, un tema que ha recibido poca atención pero que puede ser de gran relevancia para hacer un manejo adecuado de la nutrición de los cultivos expuestos a condiciones de riego deficitario, tanto para evitar deficiencias o toxicidades nutricionales como para hacer un uso más eficiente de los fertilizantes.

El objetivo del trabajo fue estudiar la dinámica de nutrientes en hojas de melocotonero bajo diferentes tratamientos de riego deficitario frente al riego sin limitación hídrica y su relación con la disponibilidad de agua en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron durante 2009 en una parcela de 0.8 ha, de la finca experimental del CEBAS-CSIC, situada en el campo de la Matanza, Santomera-Murcia (38° 06' N, 1° 02' O), con melocotoneros (*Prunus persica* (L.) Batsch) cv. "Flordastar", injertados sobre patrón GF-677, de 7 años, a un marco de 5 x 5 m. El suelo es pedregoso y posee una textura franco-arcillosa (Lithic xeric haploxeroll) y el clima semi-árido Mediterráneo. El sistema de riego consistió en un lateral por fila de árboles, con 8 goteros autocompensantes por árbol, ubicados cada 0.5 m a cada lado del tronco y con un caudal nominal de 2 L h⁻¹. Los tratamientos de riego, distribuidos en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones, fueron: T1 (control): riego diario sin limitación hídrica al 120-140% de la evapotranspiración del cultivo (ET_c), calculada según Penman-Monteith (Allen et al., 1998) y los coeficientes de cultivo propuestos por FAO; T2 (RDS): riego deficitario sostenido al 50% de la ET_c durante todo el año; T3 (RPR): riego parcial de raíces, regando alternativamente un lado u otro del árbol; T4 (RDC): riego deficitario controlado, con riego al 100 % de la ET_c sólo en la fase III de crecimiento del fruto y el resto del año regado al 25 % ET_c; y T5 (CAS), control automático del riego basado en el mantenimiento del contenido de agua en el suelo en el perfil 0-50 cm dentro del rango de agua fácilmente disponible para la planta, en función de las lecturas de sondas de capacitancia (tipo FDR). Todos los tratamientos recibieron la misma fertilización con un equilibrio de 180-110-195 en UF (kg ha⁻¹) para N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente.

El contenido de nutrientes se determinó en muestras foliares tomadas cada 30-40 días (80 hojas adultas de la parte media de la copa del árbol por tratamiento y repetición). Las hojas, lavadas y secas a 60° C, se trituraron y tamizaron (0.5 mm). El nitrógeno total se determinó mediante el método de Kjeldahl (analizador elemental de C/N) y los demás elementos mediante digestión ácida de la muestra y medida en ICP-OES (plasma de acoplamiento inductivo-óptico). Los registros de humedad en el suelo se llevaron a cabo mediante sonda de neutrones (TROXLER, mod. 4300) instalando, junto al segundo gotero del árbol, 1 tubo de acceso por repetición y tratamiento, realizando medidas desde 0.2 hasta 0.8 m de profundidad, a intervalos de 0.1 m. En la profundidad 0.10 m se utilizó un equipo TDR (Tektronix, modelo 1502B). Se realizaron medidas cada 7-10 días. Se realizaron medidas periódicas del potencial hídrico del tallo con cámara de presión (Soil Moisture, mod. 3000), en dos hojas por árbol y repetición. Las hojas, cercanas al tronco, eran envueltas en papel de aluminio durante al menos dos horas antes de la medida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La dinámica estacional de los macroelementos (N, P, K, Mg, Ca y S) en hoja, junto a los valores de potencial hídrico de tallo y contenido de agua en el suelo en los distintos tratamientos de riego, se muestran en la figura 1. Aunque existen diferencias entre los tratamientos de riego para casi todos los macroelementos, las más importantes se encuentran para nitrógeno, calcio y potasio, así se observaron diferencias estadísticamente significativas para nitrógeno en todas las

fases desarrollo, para fósforo durante la fase III de crecimiento del fruto y en poscosecha, para potasio sólo en el período poscosecha, mientras que para el calcio en cosecha y poscosecha.

Los niveles de nitrógeno, fósforo y azufre fueron altos y muy similares en las primeras fases, disminuyendo al final de la estación de crecimiento, por el contrario el calcio y magnesio muestra bajas concentraciones al inicio, con una brusca subida antes de cosecha (Figura 1). Esta dinámica similar es común a los frutales caducifolios (Pérez-Pastor, 2001; Jasso et al., 1999).

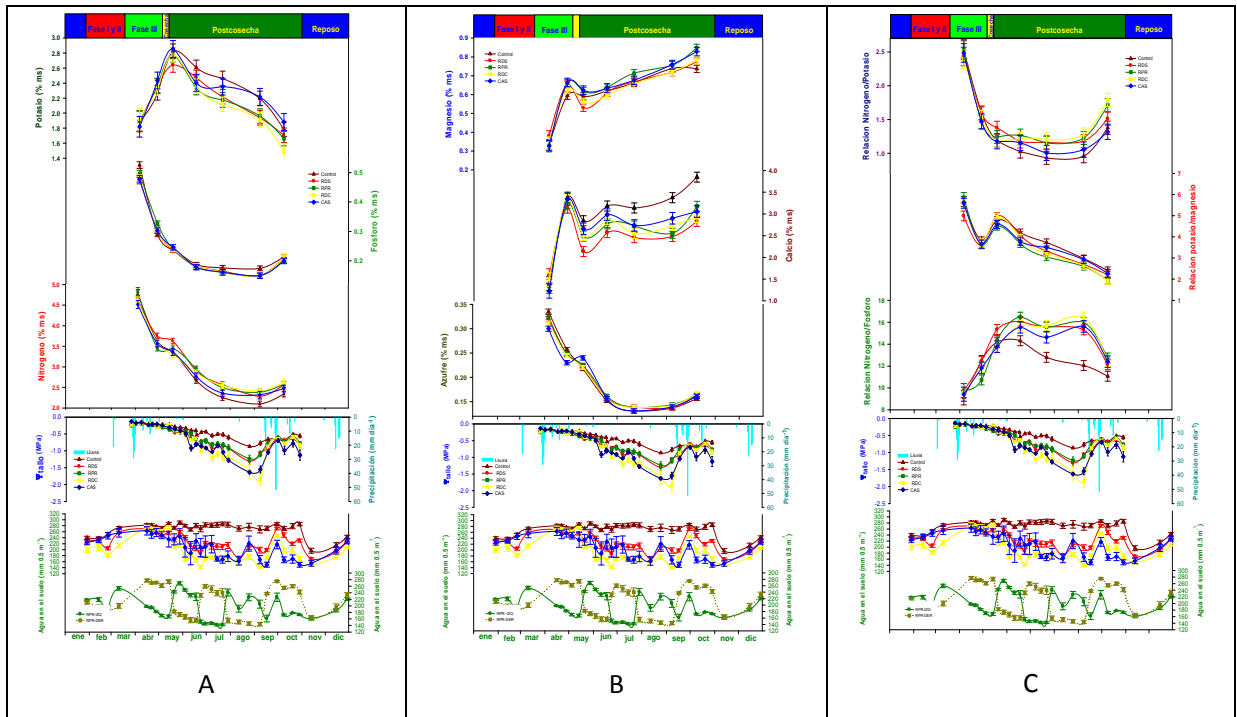


Figura 1. Parte superior: Dinámica estacional de la concentración foliar de macronutrientes: **A)** nitrógeno, fósforo y potasio; **B)** magnesio, calcio y azufre; **C)** relaciones N/K, K/Mg y N/P. Parte inferior: Potencial hídrico del tallo (\square tallo) y contenido de humedad en el suelo ($\text{mm } 0.5 \text{ m}^{-1}$) en melocotoneros Flordastar bajo distintos tratamientos de riego: control (%), RDS (#), RPR (!), RDC (X) y CAS (∇). Los puntos corresponden a la media de 4 repeticiones. Las barras en los puntos son \pm error estándar. Las barras verticales azules corresponden a la precipitación.

El nitrógeno y el calcio son nutrientes claves en la fisiología de las plantas, el primero es muy móvil en el floema, mientras el segundo una vez llega a las hojas se inmoviliza. La disminución en el contenido de nitrógeno en las hojas se puede atribuir a varias causas: translocación, menor disponibilidad de N en el suelo y déficit hídrico. En cuanto al calcio, antes de la cosecha los niveles fueron mayores en el tratamiento control ya que dispuso de mayor cantidad de agua. En los demás tratamientos sus niveles pueden estar limitados por el mayor déficit hídrico del suelo.

La mayor disminución en el contenido de nitrógeno en las hojas del tratamiento control durante la estación de crecimiento puede venir dado por la mayor biomasa de los árboles de este tratamiento respecto a la de los demás tratamientos deficitarios, tal y como demuestra el mayor diámetro de tronco y volumen de copa (Datos no mostrados), por lo que es también mayor la

demanda de N, diluyéndose así su concentración en las hojas (Jasso et al., 1999). Otra posible causa es la lixiviación de este elemento debido a la mayor aportación de agua (Jing et al., 2009), dado que el tratamiento control recibió agua en exceso de la ETC.

La disminución de la transpiración en plantas sometidas a déficit hídrico induce una disminución del calcio (Dodd, 2009), lo que puede provocar desórdenes en el desarrollo de la planta. En este mismo sentido, los mayores niveles de potasio en las hojas del tratamiento control pueden estar relacionados con la mayor transpiración (Nakajima et al., 2004). Reducciones en el contenido foliar de potasio se han observado en hojas de almendro (Ruiz-Sánchez et al., 1987) y peral (Brun et al., 1985) bajo condiciones de riego deficitario.

La relación entre los nutrientes mostró cambios a lo largo de la estación de crecimiento (Figura 1) con ligeras diferencias entre los tratamientos de riego, correspondiendo al tratamiento control la relación N/P más baja en casi toda la estación de crecimiento. La relación N/K fue también mayor en los tratamientos deficitarios, aunque estas diferencias sólo fueron significativas al final de la estación de crecimiento (postcosecha final).

Los niveles foliares de la generalidad de los elementos nutritivos se mantuvieron dentro del rango de normalidad para el periodo de estabilidad, lo que según el análisis de la varianza realizado, coincide con la fase de postcosecha inicial (junio-julio).

CONCLUSIONES

La disponibilidad de agua en el suelo influye en la absorción de nutrientes por las plantas de forma que, aunque la dinámica en la absorción no se modifica por efecto del déficit hídrico, la cantidad que es absorbida y/o translocada resulta ligeramente modificada. A mayor cantidad de agua de riego aplicada menor contenido foliar de nitrógeno, pero mayor de calcio, potasio y fósforo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado con los proyectos del MICINN (AGL2009-14861) y de la Fundación Séneca (08847/PI/08). I Abrisqueta es becaria I3P-CSIC.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.G., Pereira, R.S., Raes, D., Smith, M. 1998. *Irrigation and Drainage 56* (FAO, Ed.).
- Brun, C.A., Raese, J.T., Stahly, A. 1985. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110: 830-834.
- Davies, D., Hartung, H. 2004. *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress* pp 1-14
- Dodd, I. 2009. *J. Exp. Bot.* 60: 2454-2459
- Hartung, W., Wilkinson, S. 2009. *J. Exp. Bot.* 60: 1885-1891
- Jasso, C, Vera, J., Nuñez R. 1999. *Fruticultura Profesional* 101: 43-58
- Nakajima, H., Behboudian, M.H., Greven, M., Zegbe-Dominguez, J.A. 2004. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 167: 91-92
- Pérez-Pastor, A. 2001. Tesis Doctoral, Univ. Politécnica de Cartagena, España
- Ruiz-Sánchez, M.C., Torrecillas, A., Del Amor, F. León, A. 1987. *Adv. Hort. Sci.* 1: 95-97.
- Suarez, N. 2010. *J. Exp. Bot.* 61: 843-855.

RESPUESTA AL RIEGO CON AGUA SALINA DE PLANTAS DE *Lilium* sp `Matrix`

Salazar, G.¹, Valdez, L.², Tello, J.¹, Quezada R², Munguía, J.², Abrisqueta I.³, Ruiz-Sánchez, M.C.³.

¹Departamento de Producción Vegetal, Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería. La cañada s/n, 04120 Almería, España. ²Depto. de Plásticos en Agricultura, Centro de Investigación en Química Aplicada. Blvd. Enrique Reyna 140, Saltillo, Coah. México. ³ Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), P.O. Box 4195, E-30080 Murcia, España
glosalor@yahoo.com.mx.

ABSTRACT

Lilium is one the flowers most listed on the international market, is within 10 species most sold, and in Mexico, only exceeded by chrysanthemum, gladioli, carnation, rose and gerbera. The commercial positioning of this flower in the market makes necessary to search or improvement alternatives of production. One of the most limiting factors is the quality of the water available for the agriculture. The objective of this work was evaluating the effect of different salinity concentrations of *Lilium* sp `Matrix` in pot plants. The experiment was established under greenhouse tunnel type. *Lilium* bulbs of 14-16 cm was planted in 12.5 cm diameter pots. 10 treatments were assessed in an experimental design at random within factorial (2x5), factor A included fertigation with continuous salinity concentration which was interrupted just before anthesis; and factor B included 5 levels of salt concentration: 0, 10, 20, 50 y 100 mM NaCl. The fertigation was applied with nutritive solution Hoagland more salinity concentrations with average EC: 2.22, 3.10, 4.10, 7.18 and 11.95 dS m⁻¹, respectively. The best results were obtained with the EC 2.22 dS m⁻¹ solution, although it was feasible to obtain acceptable quality with EC up to 4.1 dS m⁻¹. For these reasons *Lilium* sp `Matrix` could be considered a crop moderately tolerant to salinity.

INTRODUCCIÓN

La horticultura ornamental ha alcanzado gran importancia en el sector agrícola en México. El Estado de México, principal productor de ornamentales a nivel nacional, en 2007 situó al *Lilium* como uno de los cinco cultivos de mayor demanda, superado solamente por crisantemo, gladiolo, clavel, rosa y gerbera. La superficie cultivada con esta especie ha sido una de las que más se ha incrementado en los últimos años, no sólo a nivel nacional, sino también internacional (Rubí et al., 2009).

Con el establecimiento de esta planta en el mercado y bajo el esquema de producción intensiva, es necesario buscar alternativas que coadyuven a la mejora de la producción, aprovechando los beneficios ambientales como el clima de la zona, propicio para el cultivo, y utilizando de una manera sostenible los recursos hídricos. Es conocido que en algunas empresas florícolas la calidad del agua disponible para riego está por debajo de los parámetros óptimos para un buen desarrollo de la planta, siendo la concentración salina uno de los factores a los que la planta debe adaptarse. A pesar de que *Lilium* está clasificada como un cultivo

poco tolerante a la salinidad (2.0 dS m^{-1}), hay pocos estudios de tolerancia a este estrés (Kotubi et al., 2000).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de *Lilium* sp `Matrix` cultivado en maceta con diferentes niveles de salinidad en el agua de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en los meses de Junio y Julio de 2009 bajo condiciones de invernadero tipo túnel de 100 m^2 y 3,2 m de altura máxima, orientación (E-O), ubicado en el Centro de Investigación de Química Aplicada (CIQA), en Saltillo (Coahuila, México), con estructura metálica, y cobertura con película plástica antigoteo. La temperatura ambiente promedio fue $29/15,6 \text{ }^\circ\text{C}$ día/noche y media de $20 \text{ }^\circ\text{C}$, y una humedad ambiental mínima de 50 %, máxima de 90 % y media de 79 %.

Los bulbos vernalizados de un calibre 14/16, de *Lilium* sp `Matrix`, del grupo de los asiáticos, fueron previamente lavados y sometidos a un tratamiento fungicida preventivo y se plantaron en macetas de 12.5 cm de diámetro que contenían sphagnum peat como sustrato. El bulbo se colocó a una profundidad de 10 cm de la superficie y se cubrió con el sustrato mencionado. El fertirriego se aplicó desde la plantación con 300 ml de solución nutritiva Hoagland a la cual se añadió una concentración de 0, 10, 20, 50 y 100 mM de NaCl, con lo cual se obtuvieron unas soluciones con una conductividad eléctrica (CE) de 2,22, 3.10, 4.10, 7.18 y 11.95 dS m^{-1} , respectivamente. La CE fue medida con un conductivímetro (HI 98331).

Se evaluaron 10 tratamientos en un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2×5 , con 2 formas de aplicar los 5 niveles de salinidad: A, plantas con fertirriego de manera continua, de tal forma que cada riego incluía el NaCl a las 5 dosis mencionadas y B, plantas con fertirriego de manera similar al A, hasta que las plantas alcanzaron el estado de botón floral visible, momento a partir del cual los riegos se realizaron sólo con la solución de Hoagland, con la intención de recuperar las plantas del estrés salino. Se consideraron 4 repeticiones por tratamiento y cada repetición estuvo integrada por dos plantas.

Las variables evaluadas fueron diámetro de la flor, 35 días después de la plantación (DDP), cuando las plantas tuvieron tres flores abiertas; altura de la planta (desde el primer entrenudo libre de raíces adventicias hasta el ápice floral, registrada a los 35 DDP); peso fresco, para lo cual cada planta fue dividida en tallo, flores, hojas, raíz y bulbo, los cuales fueron lavados y pesados en una balanza OHAUS modelo GT410 de 0,1 g de precisión; área foliar, evaluada con un Licor Li-3100 Area Meter. Además se determinaron los pesos secos de las distintas partes, tras colocar las muestras en una estufa de circulación forzada a 70°C , hasta que alcanzaron peso constante. Los datos obtenidos fueron tratados con el programa estadístico SAS y las medias de los tratamientos fueron comparadas con la prueba de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La comparación entre las dos formas de aplicar la salinidad, de forma continua o sólo hasta el estado de botón floral, muestra que para las variables: altura, área foliar, diámetro de flor, peso seco aéreo y peso seco de bulbo y raíz, no hubo diferencias significativas (Tabla 1), por lo que la interrupción de los riegos con agua salina no provocó un comportamiento distinto en el crecimiento de las plantas. Sin embargo, es de destacar que el peso fresco aéreo y de bulbo y raíz si fueron significativamente mayores en las plantas en las que el estrés salino se

interrumpió en comparación con las plantas irrigadas con agua salina durante todo el ciclo de crecimiento (Tabla 1).

Ramírez et al. (2005), observaron resultados similares en plantas de *Asteriscus maritimus* durante las primeras 8 semanas de suministro de solución salina de hasta 140 mM de NaCl. La ausencia de diferencias significativas entre tratamientos quizá se debe a que el tiempo sin solución salina fue insuficiente para recuperarse del estrés hídrico o de la toxicidad iónica impuesta, lo que confirma que las plantas poco o moderadamente tolerantes a la salinidad disminuyen su crecimiento cuando son fertirrigadas con soluciones salinas, tal y como indica Cassaniti (2009) en varios arbustos ornamentales. Es posible que la reducción en el crecimiento sea el resultado de la disminución de turgencia por la cantidad de sales en la solución de riego (Leidi, 2002).

Tabla 1. Parámetros de crecimiento vegetativo de plantas de *Lilium* sometidas a fertirriego con salinidad de forma continua e interrumpida.

Factor	Altura total (cm)	Área foliar (cm ²)	Diámetro de flor (cm)	Peso fresco (g)			Peso seco (g)	
				Aéreo	Bulbo y raíz	Hojas	aéreo	bulbo y raíz
Salinidad interrumpida	23,63a	310,30 a	16,00 a	49,49 a	35,04a	15,37 a	14,43 a	9,80 a
Salinidad continua	23,15a	279,54 a	15,73 a	44,704 b	31,45 b	13,73 b	14,36 a	9,29 a

Los valores son media de los 5 niveles de salinidad. Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas a $P < 0.05$, según el test de Duncan.

Para los distintos niveles de salinidad aplicados existieron diferencias significativas en los parámetros de altura, área foliar, diámetro de flor y peso fresco aéreo (Tabla 2). En general los mejores resultados, siempre fueron para el tratamiento fertirrigado sin salinidad, seguido de los tratamientos de 10 y 20 mM de NaCl, entre los que no hubo diferencias significativas; a los que sigue la concentración de 50 mM y finalmente 100 mM. La mayor concentración de iones Na^+ y Cl^- produce una interferencia en la absorción de nutrientes (K^+ , Ca^{2+} , NO_3^-), al mismo tiempo que se pueden alcanzar niveles tóxicos para el metabolismo celular (Leidi, 2002). Estos resultados coinciden con lo observado por Rodríguez et al. (2009) con *Asteriscus maritimus* donde a mayor salinidad se produce una reducción del área foliar de hasta el 50 %.

A pesar de que el crecimiento de las plantas fue significativamente disminuido en plantas irrigadas con soluciones conteniendo 10 y 20 mM NaCl, la disminución fue del orden del 3 al 10% en altura de plantas, diámetro de flor, peso fresco de bulbo y raíz, peso seco aéreo, y peso seco de bulbo y raíz, lo que indica que estas plantas aún pueden ser comerciales. Los parámetros más afectados fueron el área foliar y peso fresco aéreo con disminuciones cercanas al 24%.

Plantas de *Hippeastrum Hybridum* y *Ornithogalum. arabicum* cultivadas con agua salina de CE de 6.0 y 11.5 dSm^{-1} mostraron diferencias de peso en raíz y hojas de hasta el 50 % (Shillo et al., 2002), pero en este caso se comprobó que estos resultados no están relacionados con la fuga de electrolitos, o la pérdida de selectividad en las membranas de las células foliares; lo que hace posible que esta disminución de peso se atribuya a desórdenes causados desde la raíz, lo que probablemente sucede en el caso de las plantas estudiadas *Lilium`Matrix`*.

Tabla 2. Parámetros de crecimiento vegetativo de plantas de Liliium 'Matrix' sometidas a fertirriego con agua de distinta concentración salina.

Salinidad (mM NaCl)	Altura	Área foliar	Diámetro de flor	Peso fresco aéreo	Peso Fresco bulbo y raíz	Peso seco aéreo	Peso seco bulbo y raíz
0	26,91 a	422,77 a	17,50 a	65,12 a	35,48 a	14,66 a	9,97 a
10	24,09 b	318,91 b	16,50 b	50,33 b	34,74 a	14,06 a	9,43 a
20	25,00 b	329,55 b	16,55 b	49,15 b	34,43 a	15,16 a	10,40 a
50	21,27 c	229,27 c	15,02 c	39,66 c	29,88 a	13,36 a	8,99 a
100	19,66 d	174,11 d	13,77 d	31,22 d	30,70 a	14,79 a	8,92 a

Los valores son media de las dos formas de aplicación de la salinidad. Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas a $P < 0.05$, según el test de Duncan.

CONCLUSIONES

Si bien se confirma que Liliium es una planta poco tolerante a la salinidad, los resultados nos indican que es posible obtener una producción de calidad aceptable con fertirriego de conductividad eléctrica de 4.10 dS m^{-1} . La interrupción del riego con agua salina en el momento de la aparición del botón floral permitió elevar el peso fresco aéreo y de bulbo y raíz en comparación con plantas irrigadas continuamente con agua salina.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el Centro de Investigación en Química Aplicada, Departamento de Plásticos en la Agricultura (CONACYT). Saltillo, México y la empresa AKIKO. Flores y plantas de calidad, México, D.F. www.akiko.com.mx

BIBLIOGRAFÍA

- Cassaniti, C.; Leonardi, C., Flowers T. 2009. The effects of sodium chloride on ornamental shrubs. *Scientia Horticulturae*.(122): 586-593.
- Kotuby, J.; Koenig, R. and Kitchen, B. 2000. Salinity and Plant Tolerance. Utah State University, Cooperative extension.
- Leidi, E. y Pardo, J., 2002. Tolerancia de los cultivos al stress salino: Que hay de nuevo. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias*. (2):69-90.
- Rodríguez, P., Torrecillas, A., Morales, M.; Ortuño, M., Sánchez-Blanco M.J. (2005). Effects of NaCl salinity and water stress on growth and leaf water relations of *Asteriscus maritimus* plants. *Environmental and Experimental Botany*. (53):113-123.
- Rubi, M.; Olalde, V.; Reyes, B.; González, A., Aguilera, L. 2009. Influencia de *Glomus fasciculatum* en el Crecimiento y Desarrollo de Liliium sp cv Orange Pixie. *Agricultura Técnica en México*. 35(2):201-210
- Shillo, R.; Ding, M., Pasternak, D., Zaccai, M. 2002. Cultivation of cut flower and bulb species with saline water. *Scientia Horticulturae*. (92) 41-54.

Leaf ultrastructural and physiological responses during progressive drought and recovery of *Vitis* genotypes

J Miguel Costa^{1,2}, RC Cerqueira³, T Gomes², A. R. Leandro⁴, O Zarrouk², M Pintó-Marijuan², V Fernández⁵, Sara Amâncio¹, M Chaves^{1,2}

¹CBAA-Instituto Superior de Agronomia, UTL, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal

²Instituto de Tecnologia Química e Biológica, UNL, Av. da República EAN, 2780-157 Oeiras, Portugal

³UNESP-Universidade do Estado de São Paulo, Botucatu-SP, Brazil

⁴IFE-Sertão Pernambucano, Petrolina, Brazil

⁵Estación Experimental de Aula Dei (CSIC), Av. Montañana 1005, 50059-Zaragoza, Spain

ABSTRACT

Vitis vinifera L. is a species characterized by large diversity on drought response among varieties. Our aim is to understand the traits and mechanisms underlying different responses to water stress by different genotypes in order to optimize breeding and irrigation strategies in viticulture. Two varieties relevant for both Portuguese and Brazilian viticulture (Touriga Nacional and Syrah), were characterized in terms of their response to water stress and further recovery after irrigation. Greenhouse experiments were carried out in the summers of 2009 and 2010. Control plants (FI) were continuously irrigated. Treated plants (NI) were subjected to short dry periods (16 days in 2009 and 22 days in 2010) followed by irrigation. Leaf water potential (Ψ_{pd}), leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence, leaf chlorophyll content and abscisic acid (ABA) concentration in the xylem sap were measured. Leaf ultrastructure was analyzed at maximum stress after arresting irrigation. Data are discussed in terms of differences between the two varieties for the ultrastructural and physiological responses during the cycle of water stress-recovery.

INTRODUCTION

Vitis vinifera L. is a species with high genetic variability. This results in large variation among varieties concerning their response to drought which is also an advantage for breeding purposes. Cycles of stress and recovery from stress occur under natural as well as under irrigation conditions. It has been demonstrated that recovery of photoassimilation after stress relief influences plant resilience to drought (Flexas et al., 2009). Here we present greenhouse studies on two *Vitis vinifera* varieties, Syrah and Touriga Nacional which have been previously tested in field conditions. Our aim is to achieve a better understanding of leaf morphological and physiological traits influencing genotype differences in water use and drought resistance and use this knowledge to support breeding and water saving irrigation strategies in viticulture (Costa et al., 2007; Chaves et al., 2010).

MATERIAL AND METHODS

Plant material and location: Three to four year-old plants of the cvs 'Touriga Nacional' (TOU) and 'Syrah' (SYR) grafted on the 1103-P rootstock were grown in pots (40 L) in a greenhouse, (38°41'N; 9°19'W) with semi-controlled ventilation (average air temperature (T_{air}) of 27.5°C and average RH of 45% in 2009; T_{air} = 25°C and RH=60% in 2010). Soil had median texture, slightly acid pH and 3.7% organic matter.

Treatments: 1) continuously irrigated control (FI) and 2) non-irrigated (NI) for the first 16 to 22 days followed by irrigation until day 26 and day 32 in 2009 and 2010 respectively. Re-watering was done when values of ψ_{pd} = [-10 to -12bar].

Measurements: In 2009, we observed plants at Day 0 (no stress - T_0), Day 16 (Maximum stress - MS) and Day 20 (4 days after restarting irrigation - R_1) and Day 26 (8 days after restarting irrigation - R_2). In 2010, observations were done at: Day 0 (no stress - T_0), Day 22 (MS), Day 24 (2 days after restarting irrigation (R_1)) and Day 28 (6 days after restarting irrigation (R_2)). Leaf water potential (Ψ_{pd}) was measured with a Scholander-type pressure chamber. Leaf gas exchange and Chl fluorescence were measured with a portable gas-exchange meter (LI-6400, Li-Cor, USA) at saturating light intensity (PPFD=1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) with T_{block} = 29°C and CO_2 =400ppm. Leaf chlorophyll content was determined by using a Minolta SPAD O2 chlorophyll meter. The concentration of abscisic acid (ABA) in the leaf xylem sap was analyzed in 2010 by HPLC MS/MS with a modification of the methodology described by López- Carbonell et al. (2009). Leaf discs were fixed in paraformaldehyde (4%), and leaf surface was observed with a scanning electron microscope (SEM) (Hitachi S-3400 N and Zeiss DSM 940 A) from leaves harvested at maximum stress. Data was analyzed by using the statistical software SPSS.

RESULTS and DISCUSSION

Leaf water potential decreased shortly after stopping irrigation reaching values of -0.8 to -1.2 Mpa after 16 days (in 2009) and around -1.2 Mpa (in 2010) after 22 days. However, ψ_{pd} values of NI plants recovered fully in both varieties. In 2010, net assimilation was reduced by 99.4% (in SYR) and 97.5% (in TOU) relatively to FI plants at MS. This was largely due to stomatal closure ($g_s < 0.01 \text{ mmolH}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Recovery of g_s reached 75% of FI values, six days after re-watering (See Table 1). Contrary to SYR, there were no differences in g_s between FI and NI plants of TOU six days after re-irrigating (Table 1). The PSII efficiency (Φ_{PSII}) was sensitive to drought/recovery cycle. In 2010 for example, it reached the lowest values at MS and recovered partly (less than 70% of the FI) after irrigation restarts. ABA concentration was highest at MS and there were no differences between varieties along the experiment. Water stress affected morphology of abaxial leaf surface. At MS, control vines seem to have more epicuticular waxes compared to stressed vines (data not shown). Epistomatal waxes appeared degraded in NI plants at maximum stress, which may result of an acceleration of leaf ageing and may "disturb" stomatal functioning of these plants.

CONCLUSIONS

The varieties SYR and TOU showed similar response to short term stress in both years, although in 2009 the Ψ_{pd} decreased faster and more pronouncedly in SYR. No differences were found for leaf gas exchange of SYR and TOU under short term stress. This contrasts with field results in which stress was slowly imposed.

ACKNOWLEDGEMENTS

Miguel Costa (SFRH/BPD/34429/2006), Olfa Zarrouk (SFRH/BPD/34588/2006) and Marta Pintó-Marijuan (SFRH/BPD/66208/2009), are supported by fellowships granted by Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT). RC was supported by CAPES (Brazil)

REFERENCES

- Chaves MM, Zarrouk O, Francisco R, Costa JM, Santos T, Regalado AP, Rodrigues ML, Lopes CM. (2010). Grapevine under deficit irrigation- hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany* 105: 661-676.
- Costa JM, Ortuño MF, Chaves MM. (2007) Deficit irrigation as strategy to save water: physiology and potential application to horticulture. *Journal of Integrative Plant Biology* 2007;49:1421-1434.
- Flexas, J., Barón, M., Bota, J., Ducruet, J.-M., Gallé, A., Galmés, J., Jiménez, M., Pou, A., Ribas-Carbo, M., Sajnani, C., Tomás, M. and Medrano, H. (2009) Photosynthesis limitations during water stress acclimation and recovery in the drought-adapted *Vitis* hybrid Richter-110 (*V. berlandieri* × *V. rupestris*). *Journal of Experimental Botany* 60, 2361–2377.
- López-Carbonell M, Gabasa M, Jáuregui O. (2009). Enhanced determination of abscisic acid (ABA) and abscisic acid glucose ester (ABA-GE) in *Cistus albidus* plants by liquid chromatography–mass spectrometry in tandem mode. *Plant Physiology and Biochemistry* 47: 256-261.

Table 1. Pre-dawn (ψ_{pd} , MPa), light saturated net assimilation (A_{max} , $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) and stomatal conductance to water vapour (g_s , $\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) for the two varieties, Syrah (SYR) and Touriga Nacional (TOU), subjected to two treatments in the summer of 2010: continuously irrigated (FI) and non-irrigated (NI). Observations were done at Day 0 (T_0 - no stress), Day 22 (maximum stress - MS), 2 days after irrigation re-starts (R_1) and 6 days after irrigation re-starts (RS_2). Values are means \pm SE (n=5-10). Asterisks indicate significant differences within the genotype between treatments. Different letters indicate differences among time of observation

	Cv	Treatment	Days of measurements			
			Day 0 (T_0)	Day 22 (MS)	Day 24 (R_1)	Day 28 (R_2)
ψ_{pd}	SYR	FI	-1.9 \pm 0.2 ^a	-1.6 \pm 0.1 ^{* a}	-1.7 \pm 0.1 ^{* a}	-1.6 \pm 0.1 ^{* a}
		NI	-2.4 \pm 0.2 ^a	-12.0 \pm 1.0 ^b	-1.1 \pm 0.0 ^a	-0.9 \pm 0.1 ^a
	TOU	FI	-1.6 \pm 0.1 ^a	-1.2 \pm 0.0 ^{* b}	-1.8 \pm 0.1 ^{* a}	-1.2 \pm 0.1 ^{* b}
		NI	-1.9 \pm 0.1 ^a	-11.4 \pm 0.7 ^b	-1.0 \pm 0.1 ^{ac}	-0.8 \pm 0.1 ^c
An	SYR	FI	10.94 \pm 0.74 ^a	10.07 \pm 0.78 ^{* a}	11.33 \pm 1.01 ^{* a}	11.06 \pm 0.89 ^a
		NI	11.09 \pm 0.77 ^a	0.07 \pm 0.05 ^b	4.59 \pm 0.69 ^c	6.54 \pm 0.98 ^c
	TOU	FI	9.31 \pm 0.68 ^a	9.95 \pm 0.42 ^{* a}	11.33 \pm 1.18 ^{* a}	10.39 \pm 0.81 ^a
		NI	9.53 \pm 0.75 ^a	0.24 \pm 0.13 ^b	5.70 \pm 0.60 ^c	6.21 \pm 0.80 ^c
g_s	SYR	FI	0.280 \pm 0.023 ^a	0.200 \pm 0.004 ^{* b}	0.191 \pm 0.009 ^{* b}	0.211 \pm 0.006 ^{* b}
		NI	0.238 \pm 0.029 ^a	0.009 \pm 0.002 ^b	0.086 \pm 0.012 ^c	0.158 \pm 0.009 ^d
	TOU	FI	0.218 \pm 0.021 ^a	0.184 \pm 0.008 ^{* a}	0.184 \pm 0.015 ^{* a}	0.194 \pm 0.007 ^{* a}
		NI	0.171 \pm 0.018 ^a	0.008 \pm 0.002 ^b	0.079 \pm 0.010 ^c	0.143 \pm 0.013 ^a

($p < 0.05$).

Monitorización del estrés hídrico en viña (cv. tempranillo) con riego basado en dos umbrales de humedad del suelo. (conveni urv-solfranc)

Oncins, J. A.¹, Doix, S.², Lampreave, M.³, Nadal, M.³, Rovira, R.⁴, Poyatos, R.⁵

1-Solfranc Tecnologías SL, c/ Sant Pere, 32, 43480 Vilaseca, Tarragona. tel: +34.977393635, pep.oncins@solfranc.com

2 - Celler Mas Doix Sl, Spain,

3 - Facultat D'enologia-univ Rovira Virgili, Spain,

4 - CERPTA- UAB-INCAVI Vilafranca del Penedès. Pl. Àgora, 2, 08720 Vilafranca del Penedès., roger.rovira@gencat.cat

5 - Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF), Spain.

ABSTRACT

La utilización de parámetros meteorológicos, fisiológicos y de humedad del suelo como indicadores del estado hídrico del cultivo es una práctica cada vez más extendida, debido al potencial de automatización en la gestión del riego que supone este tipo de medidas (Jones 2004). Además, la monitorización de parámetros fisiológicos de la planta permite una mejor evaluación de su estado hídrico, en comparación con las tradicionales estimas indirectas del balance hídrico. Concretamente, las microvariaciones del diámetro del tronco proporcionan una doble información, acerca de la sensibilidad del crecimiento diario (CD) a los déficits hídricos e, indirectamente, del estado hídrico de la planta, mediante el cálculo de la máxima contracción diaria del tronco (MCD). Estos parámetros han sido ampliamente validados frente a medidas estándar del estado hídrico como el potencial hídrico foliar y del tallo en varias especies leñosas, entre ellas la vid (Intrigliolo and Castel 2007; Sellés et al. 2004) . En este trabajo se evaluaron, mediante medidas de potencial hídrico y microvariaciones del diámetro del tronco, dos tratamientos de riego en *Vitis vinifera* variedad Tempranillo, basados en diferentes umbrales de humedad del suelo. Los objetivos del estudio fueron (a) comprobar el funcionamiento del sistema automático de control del riego mediante umbrales de humedad del suelo y (b) evaluar los efectos fisiológicos en las relaciones hídricas en cepas piloto de ambos tratamientos. A priori, las cepas del tratamiento seco deberían presentar potenciales hídricos más negativos, mayores valores de MCD y menor crecimiento diario, debido a los efectos del déficit hídrico.

MATERIAL Y MÉTODOS

Plantas y Condiciones: Se utilizan plantas de 6 años de edad de *Vitis Vinifera* cv. Tempranillo.; plantadas en macetas de (40L). Trabajamos con dos condiciones:

TS → Veinte plantas en tratamiento en seco con un umbral de humedad del 19%.

TH → veinte plantas en tratamiento húmedo, con una humedad del 32%. Esta condición cambió en el mes de agosto cuando pasó a un umbral de 25% de humedad.

Sensor De Crecimiento De Fruto: Los dendrometros de fruto SF-FSP (Solfranc SL) han sido diseñados para monitorizar las variaciones relativas del tallo de la planta a nivel micrométrico. El sensor incluye un transductor LVDT con una pinza especial de fijación que permite instalarlo sobre la planta que se estudia. Cada dendrómetro LVDT se suministra con un acondicionador de señal electrónica para tener una salida de 0-2 V o 4-20 mA.

Sensor De Humedad De Suelo: Se utilizaron sensores capacitivos ECH2O y SF-S10 (Solfranc SL), que miden el contenido volumétrico de agua en el suelo (%), mediante técnicas FDR. Se colocan a unos 10-20 cm bajo el suelo, permiten medidas precisas, sin estar afectadas por la salinidad o la temperatura. Estos sensores puede ser medidos utilizando el logger SF1 (Solfranc SL) o bien el medidor portátil SF-HUM-10 (Solfranc SL).

Camara De Presión SF PRES-35: La cámara de presión tipo Scholander SF Pres-35 (Solfranc SL), permite medidas sencillas para determinar el potencial hídrico de la planta, la cámara consta de un manómetro de indicación digital de alta precisión, mano-regulador reductor de presión externo. Equipo portátil compacto de reducidas dimensiones.

RESULTADOS

Humedad, Microvariaciones De Tronco Y Fruto Y Deficit De Presión De Vapor

El riego controlado por el SF1 LOGGER mantuvo los niveles de humedad del suelo satisfactoriamente, bajo todas las condiciones de demanda evaporativa representada por el déficit de presión de vapor (Fig. 1a, b). Se puede observar también la rápida respuesta de los sensores ECH2O y SF-S10 a los pulsos de riego, en forma de picos sucesivos (Fig.1b). Durante el período de estudio, se manipuló el aporte de agua de riego para detectar la respuesta fisiológica al estrés hídrico en ambos tratamientos. En el tratamiento seco se detuvo el riego a finales de mayo, resultando en un descenso en la humedad volumétrica hasta valores inferiores al 15%, y provocando una reducción en la tasa de crecimiento del tronco (Fig. 1c). A mediados del mes de junio volvió a detenerse el riego en ambos tratamientos; el dendrómetro detectó, en ambos casos, descensos en la tasa de crecimiento (Fig. 1c).

Observando estos últimos datos con más detalle (Fig. 2) vemos como la cepa piloto en el tratamiento húmedo, retoma el ritmo de crecimiento previo a la situación de estrés cuando se restituye el riego (Fig. 2a,b), mientras que la cepa del tratamiento seco no reacciona pese a los nuevos aportes de agua (Fig. 2a, c). Este pequeño periodo sin irrigación tuvo lugar justo antes del envero, durante el cual se produce una notable desaceleración del crecimiento e incluso el decrecimiento del tronco (Oncins et al. 2005; Sellés et al. 2004). En las cepas del tratamiento seco la conjunción del efecto del déficit hídrico y la competencia del fruto por los fotoasimilados (Williams 1997) pudieron causar el decrecimiento irreversible observado. Al final del período de medida, las plantas del TS acumularon 1 mm de crecimiento en grosor mientras que las del TH llegaron a los 3 mm.

Humedad y dendrometría (MCD & CD)

Los valores de MCD del tronco presentan una mayor amplitud en el caso del tratamiento seco (Fig 3a), llegando a valores próximos a 300 micras antes del envero. En el tratamiento húmedo, el valor de MCD fue inferior a las 100 micras. Se considera que los mayores valores de MCD estarían relacionados con un mayor estrés hídrico, lo cual se cumple en nuestras observaciones. No obstante, después del periodo sin irrigación, coincidiendo con el envero, las tendencias se invirtieron y el valor de MCD del tratamiento húmedo superó al del tratamiento seco. Algunos autores atribuyen este comportamiento al hecho que, a partir de un cierto umbral de estrés, el floema deja de ser una fuente de agua para la transpiración. Por otro lado, los valores de CD, mayores en el tratamiento húmedo, se igualan con los del tratamiento seco a partir de mediados de julio (Fig 3b,c), confirmando que el CD es sensible al estrés hídrico.

Potencial Hídrico

Los valores de potencial hídrico no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, al

mediodía, los potenciales hídricos mínimos alcanzados, tanto del tallo como de las hojas resultaron ser inferiores en el tratamiento seco, no obstante, este valor nunca bajó del valor indicativo de estrés severo, -1.6 MPa. La transpiración de la planta hace disminuir el potencial hídrico del tallo durante las horas centrales del día. En el tratamiento seco el potencial hídrico medido al alba se relacionó de la manera esperada con la humedad del suelo.

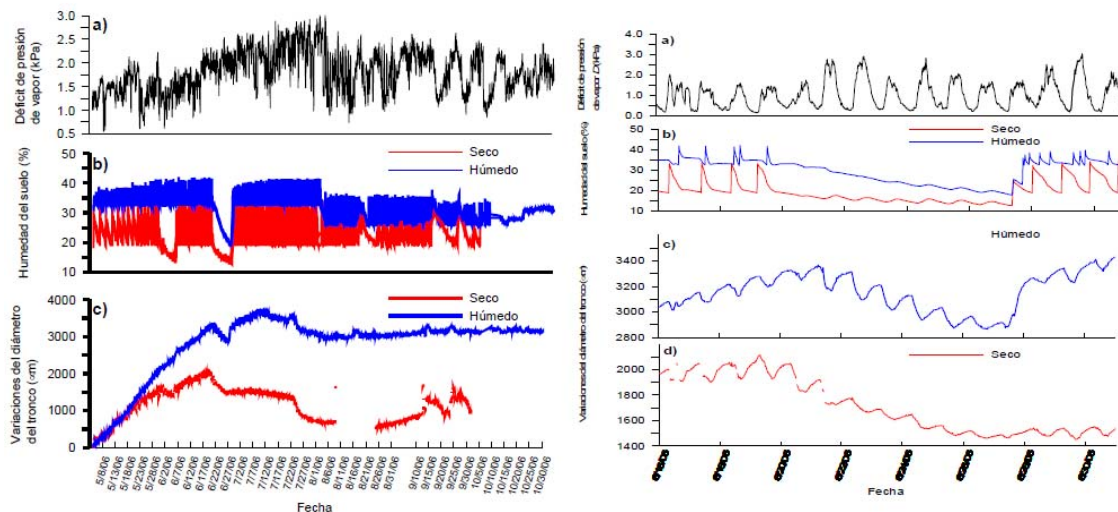


Fig1: Microvariaciones de Tronco y Humedad a lo largo del ciclo vegetativo
Fig2: Ampliación de las Microvariaciones de tronco y la Humedad

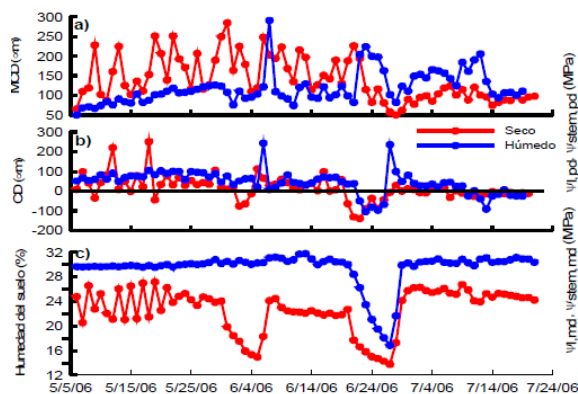


Fig3: Medidas del CD, la MCD y Humedad

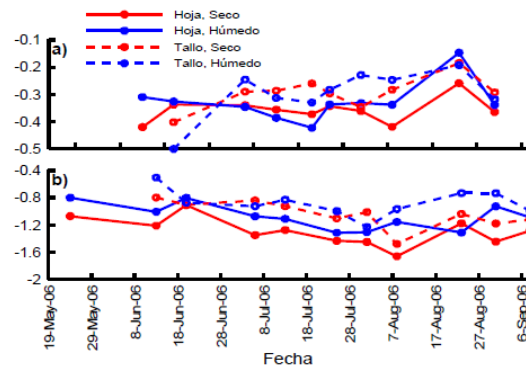


Fig4: Medidas de Potencial

CONCLUSIONES

En el presente estudio se probó con éxito el funcionamiento del sistema de adquisición de datos SF1 LOGGER de Solfranc Tecnologías en el control del riego según umbrales de humedad del suelo. El crecimiento diario demostró ser un indicador más fiable del estado hídrico de la planta que el grado de contracción diario. No obstante, las relaciones entre indicadores dendrométricos y el potencial hídrico variaron según el tratamiento, sugiriendo la necesidad de estudiar en profundidad los mecanismos que regulan estas relaciones para entender mejor cómo aplicar los parámetros fisiológicos de la planta en la gestión del riego.

BBLIOGRAFIA

Baeza P, Lissarrague JR, Miguel PSd (eds) (2007) Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid. Editorial Agrícola Española, Madrid

Intrigliolo D, Castel J (2007) Evaluation of grapevine water status from trunk diameter variations. Irrigation Science 26:49

Jones HG (2004) Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. J. Exp. Bot. 55:2427-2436

Oncins, J.A. et al. "Fito-Monitorização – Estratégias Hídricas na vinha para um vinho de qualidade – o caso do Chardonnay". Actas del IV Congreso Iberoamericano de Ciencias Hortícolas, Porto, 22-27 Mayo de 2005

Sellés G, Ferreira R, Muñoz I, Silva H (2004) Physiological indicators of plant water status as criteria

A combined selection of plant, soil and climate sensors are used to automated monitoring in plants of *vitis vinifera* to model and manage agricultural strategies to achieve a high quality wine.

¹R. Rovira, ²J.A. Oncins, ³L. Giralt, ⁴J.J. Bocero

2, 4 Solfranc Tecnologies SL, Vila-seca, Tarragona, email: solfranc@solfranc.com

1 Centre Especial de Recerca Planta de Tecnologia dels Aliments de la UAB, email: roger.rovira@gencat.cat

3 Institut Català De La Vinya I El Vi (INCAVI) Secció de viticultura i producció experimental, mail: luis.giralt@gencat.cat

ABSTRACT

Crops need to be monitor in real-time in order to not waste expensive inputs, like water and nutrients, and to control the quality and quantity of the product. This is the way to achieve a precision and sustainable agriculture. Water is the most important input for the crops, as with water come the nutrients and the plant maintain its temperature with the transpiration. If the plant is under water stress, then it will reduce transpiration, the leaf temperature will increase, and all the photosynthetic system will stop temporary or permanent. On the other hand high water availability will produce bad berry quality for wine purposes. One of the main strategies in front of the excess wine vineyard crop transpiration is the irrigation, which should be done with conditions that ensure the sustainability of the system It is necessary to know the plant the soil and environment state to adapt cropping strategies to the changing situations. With this purpose, it is needed to combine the plant indicators with the meteorological and soil data to make decisions and adapt the crop strategies in real time.

INTRODUCTION

The main goal of the project is the selection of sensors, combined variables and algorithms to model and improve the management of the crop. We present preliminary results of the monitoring with sensors in *Vitis vinifera* c.tempranillo plants, in the trial fields of the “Escola de Viticultura i Enologia Mercè Rosell i Domènech” in St. Sadurn d’Anoia (Barcelona). Some of the sensors utilized are: leaf contactless temperature sensors, dendrometer - stem diameter variation, dendrometer - fruit diameter variation, capacitive soil moisture sensors. With the sensors output we calculate and model the development and growing of the crop. The performance and reliability of the sensors and the calculated variables and algorithms are also analyzed.

MATERIAL & METHODS

Soil Moisture SF-S10 (Solfranc SL): The Soil Moisture Sensor obtains volumetric water content by measuring the dielectric constant of the media through the utilization of capacitance/frequency domain technology. In addition, the sensors incorporate a high frequency oscillation, which allows the sensor to accurately measure soil moisture in any soil or soilless media with minimal salinity and textural effects

Leaf Temperature Infrared Sensor SF-TH-IR (Solfranc SL): The SF-TH-IR uses an infrared method to make measurements and provides high accuracy, with minimal influence on the thermal conditions of a leaf. Measurement of leaf temperature is an easy and helpful measure to know the temperature ranges and to correlate with the photosynthesis.

Dendrometer Fruit Growth Sensor SF-FSP (Solfranc SL): The sensor enables to monitor growth of fruits diameter variation in sub-millimeter range. Two phenomena affect diurnal behavior of fruit diameter: growth and water balance of a plant. However, some fruits may lose water or decelerate their growth in result of water stress, lack of light or other negative factors. Two features of the daily fruit growth curve are to be noted: a diurnal for a daily maximum trend that is growth rate.

Complex Plant Weight: This phytomonitoring sensor were designed to obtain a series of highly precise measures. sensors for monitoring weight in plants complex (soil, and plant).

Water Potential (Scholander Pressure Chamber)SF-PRES-35 (Solfranc SL): Measurement of water potential is probably the most satisfactory single measurement of plant and soil water status. Changes of water potential involve changes on growth, photosynthesis and protein. The Scholander pressure chamber is an instrument used for the determination of plant water content.

Hand-Held Photosynthesis System → CI-340 (CID Inc.):The CI-340 is a lightweight hand-held photosynthesis system. It contains display, keypad, computer, data memory, CO₂/H₂O gas analyzer and flow control system. It has everything to measure photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, and CO₂ concentration.

Microclimatic Station Usb Datalogger (Lascar inc.): This data logger measures and stores over 32,000 temperature readings. A thermocouple is attached via the thermocouple socket at the base of the unit. The user can easily set up the thermocouple type, logging rate, start-time, logging mode, and download the stored data by plugging the module straight into a PC's USB port

RESULTS

Photosynthesis: In this graph we can see the photosynthesis results. The readings at the point of maximum photosynthesis (10-11h), plants in climatic change conditions have a higher photosynthetic capacity, while the measures at 14-15h show a drop in photosynthetic capacity that equates the two treatments.

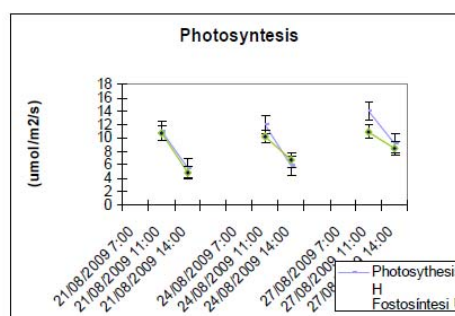


Fig 1 Photosynthesis

Water Potential: We can observe the evolution of the potential of plants under conditions of climate change (H) and in normal conditions (U), data were collected in 3 different days (not continuous). We can see that in the case of plants subjected to climatic change conditions but suffer increased stress as reflected in the potential results are around 0.3 MPa difference.

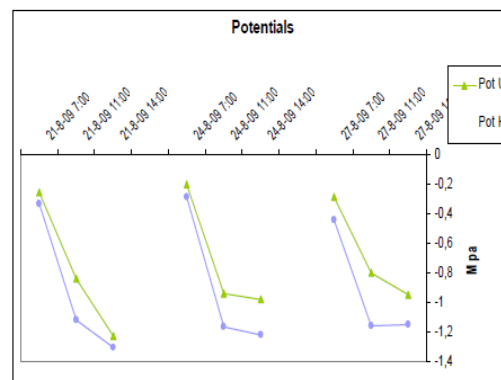


Fig 2: Water potential

Soil Moisture: The sensors detect the irrigations (twice a day in our case), describing a sharp rise of moisture, the plant use this water in a different way depending of the irrigation time, in the morning or in the afternoon. In the morning the plant absorbs water quickly but in the afternoon more slowly.

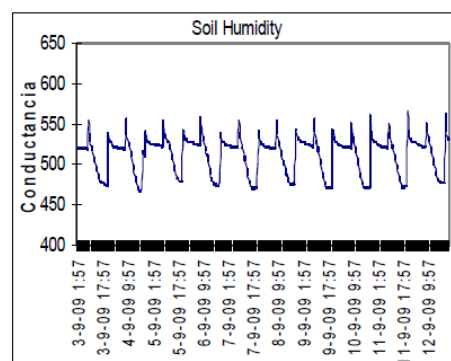


Fig 3: Soil Humidity

Leaf Temperature: The leaf temperature rises significantly in the morning, coinciding with the sunrise, but the afternoon has a softer fall. At noon is the peak temperature, the temperature variation between 20 and 30 ° C. We can also see that the plants in climatic change conditions arrive to higher temperatures (2 or 3°C) especially at noon.

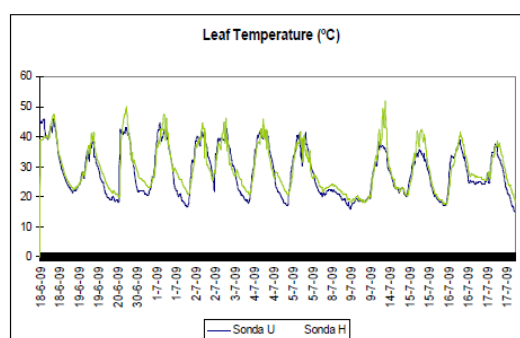


Fig 4: Water potential

Fruit Growth: The fruit growth curve over time with daily variations of this. These data will allow us to calculate the MCD (maximum daily concentration) difference between peak diameter (morning) and minimum (afternoon) and the CD (growth rate) as the difference between peaks reached in two consecutive days (Baeza et al., 2007).

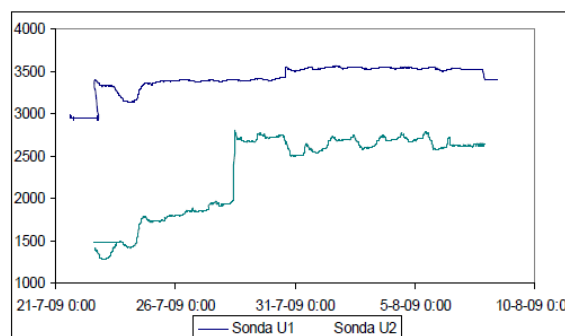


Fig 5: Fruit Dendrometry

Complex Plant Weight : Plant's weight, we can detect the daily weight gains in the periods of vegetative growth and maturation, we can see the trend line that shows the weight gain throughout period and we also see the daily fluctuations. Those measures combined with the moisture help us to decide which are the optimal moments to irrigate.

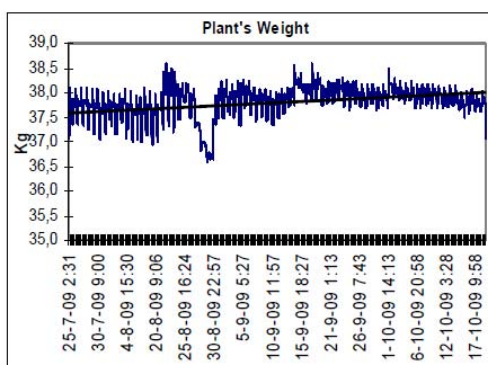


Fig 6: Plants's weight

CONCLUSIONS

The weight on the plant's complex give us some measures that are used to understand the evolution of the vegetative mass, so that we can get daily gains in weight related to photosynthesis.

The Fruit dendrometer help us to understand how the plant distributes the reserves during de maturation process or the vegetative growth. This measures on the berry also tell us about the cinetics of water absorption. These results show us how important are the sensors placement. The soil moisture sensors are a good tool to know the state of soil water reserves and the plant's water consumption. As a result we can identify the times when the water demand is maximum and establish where the irrigation is necessary or not. Leaf temperature is strongly related to the photosynthesis (Champagnol 1984) and it is a good measure to control the thermic stress plants. Therefore, if we measure the plant temperature continuously, we would be monitoring the photosynthesis.

In the coming years we will continue the activities under the project Cenit-Demeter, updating and expanding these activities according to the results here obtained.

REFERENCES

- Champagnol F. (1984) Elements de phisyologie de la vigne et de viticulture en generale. Dehan Montpellier.
- Baeza P, Lissarrague JR, Miguel PSd (eds) (2007) Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid. Editorial Agrícola Española, Madrid
- Oncins, J.A. et al. "Fito-Monitorização – Estratégias Hídricas na vinha para um vinho de qualidade – o caso do Chardonnay". Actas del IV Congreso Iberoamericano de Ciencias Hortícolas, Porto, 22-27 Mayo de 2005

Índice de autores.

Álvarez, S.	243		
Broetto, F.	243		
Gulias, J.	171		
Abdelfatah, A.	55		
Abrisqueta, I.	153	255	259
Abrisqueta, J.M.	153	255	
Acosta, J.R.	107		
Aguirreolea, J.	183		
Alegre, L.	111		
Álvarez, S.	107		
Álvarez-Cansino, L.	89		
Alves, I.	133	235	
Amâncio, S.	263		
Antolín, M.C.	99		
Aphalo, P.J.	85		
Aranda, I.	85	93	203
Aranda, X.	39	55	116
Auzmendi, I.	149		
Ballester, C.	145		
Bañón, S.	103	107	195 199
Biel, C.	39	55	116
Bissey, L.	223		
Bocero, J.J.	271		
Bonet, L.	239		
Botía, P.	187		
Brossa, R.	111		
Buesa, I.	239		
Cabot, O.	223		
Cadorniga, C.	177		
Campbell, C.	223		
Cano-Martín, F.J.	93		
Castel, J.R.	145		
Castillo, M.	107	243	
Castro-Luna, A.	247		
Cerqueira, R.C.	263		
Cervera, M.T.	203		
Chaves, M.M.	19	227	263
Clothier, B.	15		
Cobos, D.	223		
Conejero, W.	31	67	71
Conesa, E.	195		
Conesa, M.R.	75	167	
Corbalán, M.	75	167	
Córdoba, F.	187		
Corell, M.	59		
Correia, O.	89		
Costa, J.M.	19	263	
Couceiro, J.F.	191	251	
Cruz, Z.N.	71		
Cuevas, M.V.	129	161	211
de Andrés, E.F.	177		
de Herralde, F.	39	55	116 121
de la Rosa, J.M.	75	167	
de Miguel, M.	203		

Deurer, M.	15		
Díaz-Barradas, M.C.	89		
Díaz-Espejo, A.	129	161	211
Diego, M.A.	231		
Doix, S.	267		
Domene, M.	223		
Domingo, R.	63	75	167
Duarte, I.	227		
Durán-Zuazo, V.H.	157		
Ehrenberger, W.	161		
Escalona, J.M.	137	171	231
Evans, R.Y.	39		
Feldman, L.J.	111		
Ferchichi, A.	215		
Fernández, J.E.	129	161	211
Fernández, V.	263		
Ferrer, F.	219	223	
Ferrer, P.J.	239		
Flexas, J.	171		
Francisco, R.	19		
Frutos, J.M.	187		
Fuentes, S.	137		
Galindo, A.	67	71	
Gallegos, J.M.	137		
García, M.	63		
García-Oller, M.I.	187		
García-Tejero, I.	157		
Gijón, M.C.	191	251	
Giralt, L.	271		
Girón, I.	59		
Girona, J.	149	173	
Gomes, T.	263		
Gómez-Bellot, M.J.	107		
Gouveia, J.P.	133	235	
Gracia, C.	29		
Green, S.	15		
Guerrero, J.	191	251	
Intrigliolo, D.S.	145	239	
Irigoyen, J.J.	183		
Jiang, K.	111		
Jiménez-Bello, M.A.	145		
Jiménez-Bocanegra, J.A.	157		
Josa, R.	219		
Jubany-Marí, T.	111		
Lachiheb, B.	215		
Lacuesta, M.	207		
Lampreave, M.	121	267	
Leandro, A.R.	263		
Leopoldo, L.L.	227		
Lopes, C.	133	235	
Lopes, C.M.	19		
López, G.	149	173	
Lourenço, E.	227		
Máguas, C.	89		
Marsal, J.	149	173	

Martínez J.A.	199		
Martínez-Sánchez, J.J.	103		
Martín-Palomo, M.J.	161	211	
Martins, S.	133	235	
Martorell, S.	171		
Mas, M.T.	219		
Mata, M.	149		
Medrano, H.	137	171	231
Mellisho, C.D.	31	67	71
Mena-Petite, A.	207		
Miralles, J.	103	195	199
Miranda, C.	125		
Miranda-Apodaca, J.	207		
Montes, F.	81		
Morales, F.	183		
Moreno, F.	59	67	
Moriana, A.	59	67	191
Munguía, J.	153	255	259
Muñoz-Rueda, A.	207		
Muriel-Fernández, J.L.	157		
Muro, I.	99		
Nadal, M.	121	267	
Nicolás, E.	129		
Ochoa, J.	199		
Oncins, J.A.	267	271	
Ortuño, M.F.	31	67	71
Pagán, E.	75	167	
Pardos, J.A.	81		
Pedranzani, H.	247		
Pedrero, F.	243		
Pedroso, V.	133	235	
Pérez-López, D.	191	251	
Pérez-López, U.	207		
Pérez-Martín, A.	129	161	211
Pérez-Pastor, A.	63	75	167
Pérez-Pérez, J.G.	187		
Pintó-Marijuan, M.	263		
Pita, P.	81		
Pou, A.	171		
Poyatos, R.	267		
Puerto, P.	63		
Quezada, R.	255	259	
Quinto, V.	187		
Quiroga, M.	247		
Regalado, A.P.	19		
Rivero, A.M.	251		
Robles, J.M.	187		
Robredo, A.	207		
Robson, T.M.	85		
Rodrigo, G.	219	223	
Rodrigues, M.L.	19		
Rodrigues, P.	133	235	
Rodríguez, P.	71	243	
Rodríguez-Domínguez, C.	129	161	211
Roldán, J.	9		

Rovira, R.	267	271		
Royo, J.B.	125			
Rubio, C.M.	219			
Rüger, S.	161			
Ruiz, O.	247			
Ruiz-Sánchez, M.C.	153	255	259	
Salazar, G.	259			
Salazar-Parra, C.	183			
Salcedo, F.	107			
Sánchez, F.J.	177			
Sánchez-Blanco, M.J.	103	107	195	199 243
Sánchez-Díaz, M.	99	183	203	
Sánchez-Gómez, D.	85			
Sánchez-Ortiz, A.	121			
Santesteban, L.G.	125			
Santos, T.	19			
Savé, R.	39	55	116	121
Simões, N.	227			
Solano, F.J.	63			
Tapia, L.M.	153			
Tello, J.	259			
Tenorio, J.L.	177			
Thameur, A.	215			
Tomàs, M.	171			
Torrecillas, A.	31	67	71	
Torres, R.	63			
Torres-Ruiz, J.M.	129	161	211	
Valdés, R.	103	195		
Valdez, L.	259			
Vera, J.	153	255		
Verdú, A.M.	219			
Viñas, T.	121			
Wang, F.	85			
Warren, C.R.	93			
Zambrana, E.	177			
Zarrouk, O.	19	263		
Zimmermann, U.	161			
Zunzunegui, M.	89			