

# EFFECTO DE DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE ACEITE EN OLIVO (*Olea europaea*) cv. ARBEQUINA

Puertas, C.<sup>1</sup>; E. Trentacoste <sup>1</sup>; J. Morábito <sup>3</sup>; J. Pérez Peña <sup>2</sup>

<sup>1</sup> INTA EEA Junín, <sup>2</sup> INTA EEA Mendoza, <sup>c</sup> INA-FCA.UNCuyo

\*cpuertas@correo.inta.gov.ar

INTA EEA Junín, l. Bousquet s/nº, Junín, Mendoza, Argentina (CC 78 CP 5570).

## RESUMEN

El importante crecimiento del cultivo del olivo en las regiones áridas de la Argentina hace necesario el estudio de técnicas que permitan hacer un uso más eficiente del recurso hídrico. Por otra parte, la disminución de la lámina de riego podría tener efectos positivos sobre la calidad comercial de los aceites obtenidos prolongando su vida útil, siendo aun más importante en aceites de baja estabilidad oxidativa como los obtenidos a partir del cv. Arbequina.

Con el objetivo de estudiar la respuesta del cultivo a diferentes estrategias de riego, en el ciclo 2008-2009 se evaluaron, en un monte de olivos (*Olea europaea*) cv. Arbequina de 11 años de edad, cuatro tratamientos de riego:

**T100**, irrigado con el 100% de la Etc durante todo el ciclo, **T100-66** y **T100-33** irrigados igual que T100 excepto desde endurecimiento de carozo hasta cosecha donde se regaron con 66% y 33% de la dosis aplicada en T100 y por último **T100-0** regado igual que T100 hasta 40 días antes de cosecha y a partir de allí se mantuvo sin riego.

Durante la aplicación del RDC se monitoreó el estado hídrico de las plantas a través del potencial hídrico de tallo a mediodía (PHT). En cosecha se midió el rendimiento de aceitunas por planta, características de fruto (peso, relación pulpa/hueso, contenido de materia grasa, humedad y estado de madurez (IM)). Sobre una submuestra se determinó rendimiento industrial y calidad de aceite (acidez libre, índice de peróxidos, polifenoles totales y estabilidad oxidativa).

La disminución de la lámina de riego no afectó el rendimiento por planta. El contenido de materia grasa y la humedad de fruto fue similar entre tratamientos, coincidente con la similitud observada en el rendimiento industrial de aceite. Todos los tratamientos de restricción presentaron un mayor contenido de polifenoles respecto a T100, siendo la supresión total del riego antes de cosecha (T100-0) el que presentó el mayor valor. Sin embargo, el contenido de polifenoles no presentó una buena relación con la estabilidad oxidativa ( $r = 0,55$ ), siendo esta última similar entre tratamientos de riego.

Los tratamientos restrictivos permitieron un ahorro de agua desde el 8% al 29% respecto al tratamiento control (T100).

**Palabras clave:** Olivo, riego, potencial hídrico de tallo, polifenoles, estabilidad oxidativa

## INTRODUCCIÓN

El importante crecimiento del cultivo del olivo (*Olea europaea* L.) en las regiones áridas de la Argentina hace necesario el estudio de técnicas que permitan hacer un uso más eficiente del recurso hídrico. En este sentido, el riego deficitario controlado ha demostrado ser una estrategia viable para disminuir la cantidad de agua aplicada al cultivo sin una disminución drástica de los rendimientos.

En olivo, el periodo comprendido entre endurecimiento de carozo y comienzo del cambio de color de los frutos (fase II y III de crecimiento de fruto) sería el de menor sensibilidad al estrés hídrico (Goldhamer et al. 1999; Alegre et al. 2002), mientras que la última etapa de crecimiento de fruto o maduración sería un periodo muy sensible al déficit (Pastor Muñoz-Cobo, 2005). Sin embargo, experiencias locales realizadas bajo las mismas condiciones de estudio (Puertas et al. 2009) no mostraron una disminución de los rendimientos cuando la reducción del riego se aplicó desde la fase III de crecimiento de fruto hasta cosecha.

A nivel comercial, existen recomendaciones de suprimir el riego un mes antes de cosecha con el propósito de disminuir la humedad de los frutos (Girona com. pers.). Esta disminución de la humedad de los frutos implicaría una mejora en el rendimiento industrial de aceite dado que evitaría la formación de emulsiones en la etapa de extracción (Girona et al. 2002, Alegre et al. 2002, Grattan et al. 2006), obteniendo una mayor cantidad de aceite aún en frutos con similares contenidos grasos.

Por otra parte, la disminución de la lámina de riego entregada al cultivo y el posible estrés hídrico asociado generaría una mayor producción de compuestos fenólicos a nivel de planta otorgándole al aceite una mayor estabilidad oxidativa (Patumi et al. 1999, Tovar de Dios 2001). Esto sería aún más importante en el cv. Arbequina dadas sus características de bajo contenido de polifenoles y baja-media estabilidad oxidativa (Ravetti et al. 2006, Mattar et al. 2006) afectando su calidad comercial (Uceda 2005).

En este contexto se planteó este ensayo cuyo objetivo fue evaluar el efecto de restricciones hídricas moderadas desde endurecimiento de carozo hasta cosecha y restricción hídrica total 40 días antes de cosecha sobre el rendimiento de fruto, rendimiento y calidad del aceite obtenido.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo fue realizado en un olivar de 11 años de edad ubicado en el departamento de Lavalle (32° 43' S, 68° 36' W, 920 m.s.n.m.), en el noreste de la provincia de Mendoza, Argentina, durante la estación de crecimiento 2008/09.

El suelo predominante en la zona ha sido clasificado como entisol, presentando en la parcela de estudio un estrato superior (0 a 0,3 m de profundidad) de textura franco limosa, un estrato inferior (0,3 a 0,9 m de profundidad) de textura franco arcillosa y por debajo de los 0,9 m de profundidad textura franca.

El cultivo estaba conducido en vaso libre con aproximadamente 1 m de tronco sin ramificaciones. La distancia de plantación era de 6 m entre hileras y 4 m entre plantas. Las plantas bajo ensayo fueron seleccionadas en función del volumen de copa como principal indicador de uniformidad, de su carga frutal y estado sanitario.

La parcela experimental estaba constituida por cuatro plantas contiguas en la hilera, sirviendo las dos plantas centrales como unidades de medición y las dos plantas extremas como bordura.

El método de riego utilizado fue microaspersión, con un emisor por planta de 37 L h<sup>-1</sup>. Los tiempos de riego se calcularon siguiendo la metodología propuesta por Pizarro (1996). La Eto se obtuvo de una estación meteorológica cercana a la zona de estudio. El kc utilizado fue de 0,68 (Girona et al. 2002) constante durante todo el ciclo y el porcentaje de suelo cubierto por el cultivo fue del 60%. La cantidad de agua aportada por lluvia o precipitación efectiva (Ppe) se calculó mediante la ecuación recomendada para zonas áridas (Chambouleyron 2005).

Los tratamientos consistieron en: **T100**, irrigado con el 100% de la Etc durante todo el ciclo, **T100-66** y **T100-33** irrigados igual que T100 excepto desde inicio de endurecimiento de carozo (9 de enero) hasta cosecha (13 de mayo) donde se regaron con 66% y 33% de la dosis aplicada en T100 y por último **T100-0** regado igual que T100 hasta 45 días antes de cosecha y a partir de allí se mantuvo sin riego.

Para conocer el estado hídrico de las plantas se midió el potencial hídrico de tallo (PHT) en forma quincenal. Las mediciones se realizaron en días con cielo totalmente despejado al medio día solar, sobre hojas totalmente expandidas, sanas y ubicadas en brotes cercanos al tronco principal (sombreadas). Las hojas se cubrieron con bolsas impermeables de papel aluminio al menos 1 h antes de la medición (Shackel et al. 2000), la cual se realizó con una cámara de presión (Modelo 4, Bio Control, Argentina).

El rendimiento de aceitunas por planta, se obtuvo como promedio del peso fresco de cosecha de las dos plantas centrales de cada parcela. A partir de una muestra de aproximadamente 1 kg, obtenida en forma aleatoria a partir de las aceitunas cosechadas, se determinó el peso medio de fruto (pesando y contando el número total de frutos de la muestra). Posteriormente, se colocó en estufa a 70° C (ventilación forzada) hasta peso constante para estimar el porcentaje de humedad. Sobre una submuestra de 100 frutos, se determinó la relación pulpa-carozo (peso fresco de pulpa en g / peso fresco de carozo en g) y el índice de madurez (IM).

El contenido de materia grasa (MG) de los frutos se determinó a través del método Soxhlet y el rendimiento industrial de aceite se obtuvo procesando muestras de 9,5 kg de aceitunas en un molino extractor en frío de dos fases.

En laboratorio se determinó las características del aceite obtenido: acidez libre (COI T15/Doc n° 3 - ISO 660-1996), índice de peróxidos (COI T15/Doc n°3 - ISO 3960:2001), polifenoles totales (espectrofotometría UV-VIS, Montedoro et al. 1992) y estabilidad oxidativa (método Rancimat, 120°C).

Los datos fueron estudiados a través de análisis de varianza (software estadístico Statgraphics®Plus, 1999) para un diseño de bloques completamente aleatorizados con cuatro repeticiones. Las medias se compararon a través del test de mínima diferencia significativa (MDS), para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 puede observarse la cantidad de agua recibida en forma de riego para cada uno de los tratamientos de riego. Durante la segunda y tercer semana del mes de abril, la escasa disponibilidad de agua a nivel de predio ocasionó que la lámina de riego entregada fuese menor a la calculada.

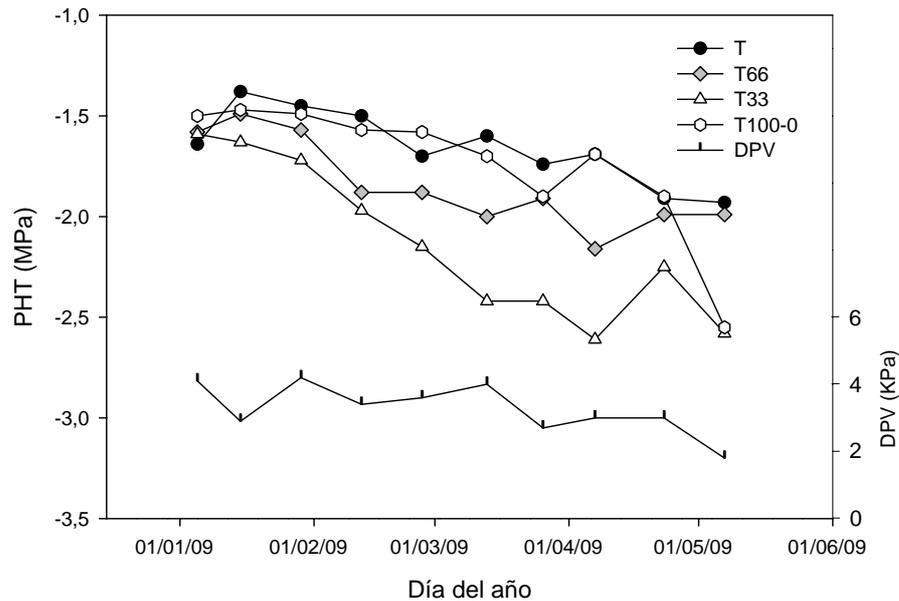
**Tabla 1. Cantidad de agua de riego recibida en el ciclo de crecimiento (septiembre de 2008 a mayo de 2009) para los diferentes tratamientos de riego.**

Tratamiento	Cantidad de agua (mm)			Total	
	1 de septiembre a 9 de enero	9 de enero a 7 de abril	7 de abril a 13 de mayo	Riego	%
	Riego	Riego	Riego	Riego	
<b>T100</b>	411	287	59	757	100
<b>T100-66</b>	411	191	32	635	84
<b>T100-33</b>	411	95	26	533	71
<b>T100-0</b>	411	287	0	698	92

La precipitación en forma de lluvia fue de 46 mm durante todo el ciclo (septiembre-08 a mayo-09) sin embargo la precipitación efectiva (Ppe) sólo aportó 4 mm, significando menos del 1% del total de agua entregada en el ciclo.

Desde el comienzo de la estación de crecimiento (1 de septiembre) hasta el inicio de los tratamientos T100-66 y T100-33 (9 de enero) las parcelas bajo ensayo recibieron un total de 411 mm de riego (Tabla 1). La aplicación de los tratamientos T100-66 y T100-33 tuvieron una duración de la restricción de 124 días para T100-66 y T100-33, generando un ahorro de agua equivalente al 16% y 29% respectivamente. La supresión total del riego antes de cosecha (T100-0), con una duración de 45 días, generó un ahorro de agua equivalente al 8% respecto al tratamiento control (T100).

El estado hídrico de la planta, caracterizado a través del PHT al mediodía, varió desde -1,3 MPa a -2,6 MPa (Fig.1). Al comparar los valores de PHT de los tratamientos, para cada una de las fechas de medición en forma individual, se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos de riego. El tratamiento más restrictivo T100-33 se diferenció del resto de los tratamientos a partir de los 20 días del inicio de la restricción. Estas diferencias se mantuvieron durante el resto del ciclo excepto para el 23 de abril, día en el cual las mediciones presentaron una gran dispersión.



**Fig. 1 Evolución del potencial hídrico de tallo para los distintos tratamientos de riego en el cv. Arbequina.**

El tratamiento intermedio T100-66 se diferenció significativamente de T100 sólo en tres oportunidades, siendo en todos los casos las diferencias encontradas menores a 0,5 MPa.

El tratamiento T100-0 sólo se diferenció del control (T100) 30 días después de suspendido el riego, alcanzando valores similares a los registrados en T100-33 (aprox. -2,6 MPa para la última fecha de medición).

Los PHT para el tratamiento control T variaron desde -1,38 a -1,93 MPa. Experiencias locales mostraron valores comprendidos entre -1,1 y -1,5 MPa para el tratamiento regado con el 100% de la Etc (Puertas 2009). Así también, Moriana et al. (2003) en España, encontraron valores entre -1 y -1,6 MPa para el tratamiento de riego completo. Esto es coincidente con lo observado en esta experiencia, excepto para las dos últimas fechas de medición, debido presumiblemente a la falta de riego la segunda y tercer semana del mes de abril que ocasionó la disminución del PHT en T100. En relación a los tratamientos restrictivos, los valores de PHT observados indicarían que las plantas experimentaron un leve estrés hídrico (Moriana et al. 2003).

El rendimiento por planta no fue afectado por los tratamientos de riego (Tabla 2), con valores medios aproximados de 48 kg planta<sup>-1</sup>. Teniendo en cuenta que la densidad de plantación es de 416 árboles ha<sup>-1</sup>, se esperaría una cosecha aproximada de 20.000 kg ha<sup>-1</sup>. El leve estrés hídrico (según los valores de PHT) provocado por las restricciones de riego, presumiblemente no generó una disminución de la actividad fotosintética no afectando la disponibilidad de asimilados a nivel de planta.

En este tipo de ensayo, donde el déficit hídrico es aplicado en forma posterior al cuaje y caída natural de los frutos, el componente del rendimiento peso de fruto puede verse afectado en mayor medida que el número de frutos. Sólo en los casos de estrés hídricos severos, que llegasen a producir caída de frutos, puede verse afectado el número de frutos a cosecha.

**Tabla 2. Peso de fruto, peso de carozo, relación pulpa/carozo y rendimiento por planta para los diferentes tratamientos de riego**

Tratamiento	Peso de fruto (g)	Peso de carozo (g)	Relación Pulpa/carozo (g/g)	Rendimiento por planta (kg)
T100	1,9 a	0,3	4.4 a	49.6
T100-66	1,6 ab	0,3	3,9 b	47.1
T100-33	1,5 b	0,3	3,5 b	47.4
T100-0	1.6 ab	0,3	3,8 b	49.4
MDS <sub>0,05</sub> *	0,3	ns	0,5	ns

\*Mínima Diferencia Significativa ( $p \leq 0,05$ )

Respecto al peso de fruto, sólo el tratamiento T100 presentó un valor mayor respecto del T100-0, presentando el resto de los tratamientos valores intermedios e indiferentes a ambos (Tabla 2). Por el contrario, el peso de carozo fue similar entre los distintos regímenes de riego, esto es coincidente con lo esperado dado que cerca del 90% del tamaño final del carozo ya se encuentra definido al inicio de la imposición de los tratamientos (i.e. endurecimiento de carozo, Rapoport et al. 2004).

La humedad de fruto, el contenido de materia grasa y el rendimiento industrial de aceite no presentaron diferencias entre los distintos tratamientos de riego (Tabla 3). En base a otras experiencias (Girona et al. 2002; Alegre et al. 2002; Grattan et al. 2006), un menor contenido de humedad en los frutos favorecería la extracción de aceite dado que el agua contenida en los frutos propiciaría la formación de emulsiones de difícil separación durante el proceso de extracción (Pastor Muñoz-Cobo 2005).

**Tabla 3. Humedad, materia grasa por peso seco, y rendimiento industrial para los diferentes tratamientos de riego**

Tratamiento	Humedad (%)	Materia grasa (g grasa % g peso seco)	Rendimiento industrial (g aceite % g aceituna)
T100	55.4	45.3	11.1
T100-66	54.6	41.2	11.0
T100-33	51.3	42.8	11.9
T100-0	53.8	42.5	11.7
MDS <sub>0,05</sub> *	ns	ns	ns

\*Mínima Diferencia Significativa ( $p \leq 0,05$ )

La acidez libre (g de ácido oleico % g de aceite) y el índice de peróxidos (meq O<sub>2</sub> por kg de aceite) no se diferenciaron entre los tratamientos de riego (Tabla 4), siendo ambos valores inferiores a los límites máximos establecidos para la categoría de aceite “extra virgen” (SAGPyA 2008). Estos parámetros no serían afectados por modificaciones en la síntesis de componentes del aceite sino por el estado de los frutos a cosecha y su posterior manipulación hasta la molienda (Tovar de Dios 2001).

Todas las estrategias de restricción presentaron un mayor contenido de polifenoles respecto al tratamiento control, encontrándose el máximo valor para el tratamiento de supresión total de riego antes de cosecha. Esto es coincidente con lo encontrado en trabajos previos (Patumi et al. 1999; Tovar de Dios 2001; Faci et al. 2002; Berenguer et al. 2006) en los cuales los árboles con menores aportes de agua presentaron un mayor contenido de polifenoles en su aceite.

**Tabla 4. Acidez, índice de peróxidos (IP), contenido de polifenoles y estabilidad oxidativa del aceite para los diferentes tratamientos de riego**

Tratamiento	Acidez (g ácido oleico % g aceite)	IP (meq O <sub>2</sub> /Kg aceite)	Polifenoles (ppm ac. cafeico)	Estabilidad (h, 120° C)
T100	0.12	4.9	89 a	6.0
T100-66	0.10	3.5	105 b	6.7
T100-33	0.10	4.1	105 b	6.9
T100-0	0.10	4.0	129 c	7.0
MDS <sub>0,05</sub> *	ns	ns	13	ns

\*Mínima Diferencia Significativa ( $p \leq 0,05$ )

Experiencias en España (Moriana et al. 2007) proponen que el contenido de polifenoles no estaría sólo influenciado por el estado hídrico de la planta en el momento de acumulación del aceite sino por el estado hídrico durante todo el ciclo. De acuerdo a este criterio, para este ensayo los tratamientos con restricciones más prolongadas (T100-66 y T100-33) deberían haber alcanzado un mayor contenido de polifenoles que el tratamiento de supresión total (T100-0) dado el mayor periodo de permanencia con un leve nivel de estrés hídrico. Sin embargo, el tratamiento T100-0 que sólo presentó un leve estrés hídrico 15 días antes de cosecha fue el que mostró los mayores valores de polifenoles totales.

Aunque existieron diferencias en los contenidos de polifenoles totales, estos presentaron una baja correlación ( $r = 0,56$ ) con la estabilidad oxidativa de los aceites, siendo este último parámetro similar entre los tratamientos.

## CONCLUSIONES

Las estrategias de riego deficitario permitieron importantes ahorros de agua sin afectar el rendimiento de frutos por planta. Sin embargo, los posibles beneficios asociados a un mayor rendimiento industrial de aceite no fueron observados.

Todos los tratamientos de restricción mejoraron el contenido de polifenoles totales presentes en el aceite de oliva sin una buena relación con la estabilidad oxidativa de los mismos.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALEGRE, S.; J. MARSA; M. MATA; A. ARBONES; J. GIRONA; M. TOVAR** (2002) Regulated deficit irrigation in olive trees (*Olea europaea* L. cv. Arbequina) for oil production. *Acta Horticulturae*. (ISHS) 586:259-262.
- BERENGUER, M.; P. VOSSEN; S. GRATTAN; J. CONNELL; V. POLITO** (2006) *Tree irrigation level for optimum chemical and sensory properties of olive oil*. *Hortscience* 41(2): 427-432.
- CHAMBOULEYRON, J.** (2005) *Riego y Drenaje*. Técnicas para el desarrollo de una agricultura regadía sustentable. Tomo 1. Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza. 470 p.
- FACI, J.; M. BERENGUER; J. ESPADA; S. GRACIA** (2002) Effect of variable water irrigation supply in olive (*Olea europaea* L.) cv. Arbequina in Aragon (Spain). II. Extra virgin oil quality parameters. *Acta Horticulturae*. (ISHS) 586:649-652.
- GIRONA, J.; M. LUNA; A. ARBONES; M. MATA; J. RUFAT; J. MARSAL** (2002) Young olive trees responses (*Olea europaea* L. cv. Arbequina) to different water supplies. Water function determination. *Acta Horticulturae*. (ISHS) 586: 277-280.
- GOLDHAMER, D.** (1999) *Regulated deficit irrigation for California canning olives*. *Acta Horticulturae*. (ISHS) 474: 369-372.
- GRATTAN, S.; M. BERENGUER; J. CONNELL; V. POLITO; P. VOSSEN** (2006) *Olive oil production as influenced by different quantities of applied water*. *Agric. Water Management* 85: 133-140.
- MATTAR, S.; A. TURCATO** (2006) *Correlaciones entre los parámetros químicos y sensoriales del aceite de oliva virgen de San Juan*. *Aceites y Grasas* 64 (3): 436-443.
- MONTEDORO, G.; M. SERVILLI; M. BALDIOLI; E. MINIATI** (1992) *Simple and hydrolysable phenolic compounds in virgin olive oil. I. Their extraction, separation and quantitative and semiquantitative evaluation by HPLC*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 40: 1571-1576.
- MORIANA, A.; D. PEREZ-LOPEZ; A. GOMEZ-RICO; M. SALVADOR; N. OLMEDILLAN; F. RIBAS; G. FREGAPANE** (2007) *Irrigation scheduling for traditional, low-density olive orchards: Water relations and influence on oil characteristics*. *Agricultural water management* 87: 171-179.
- MORIANA, A.; F. ORGAZ; M. PASTOR; E. FERERES** (2003) *Yield responses of a mature olive orchard to water deficits*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(3): 425-431.
- PASTOR MUÑOZ-COBO, M.; V. MACIAS; J. MOYA; J. GIRONA** (2005) *Influencia del riego sobre la calidad del aceite y sobre el comportamiento de la aceituna en el proceso industrial de extracción*. En: *Cultivo del olivo con riego localizado*. PASTOR MUÑOZ-COBO, M. (ed.). Coedición Junta de Andalucía y Mundi-Prensa, Madrid. p. 165-184.
- PATUMI, M.; R. d' ANDRIA; G. FONTANAZZA; G. MORELLI; P. GIORIO; G. SORRENTINO** (1999) Yield and oil quality of intensively trained trees of three cultivars of olive (*Olea europaea* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 74 (6): 729-737.
- PIZARRO, F.** (1996) *Riegos localizados de alta frecuencia. Goteo, microaspersión y exudación*. 3ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 513 p.

- PUERTAS, C.** (2009) *Efecto del riego deficitario controlado sobre el rendimiento y calidad de aceite en olivo (Olea europaea L.) cv. Arbequina*. (Tesis de la Maestría en Riego y Drenaje). Chacras de Coria, Escuela de Posgrado Facultad de Ciencias Agrarias, UNCUYO. 71 p.
- RAPOPORT, H.; G. COSTAGLI; R. GUCCI.** (2004) *The effect of water deficit during early fruit development on olive fruit morphogenesis*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129 (1): 121-127.
- RAVETTI, L.; A. MATIAS; M. PATUMI; G. FONTANAZZA; P. ROCCHI** (2006) *Caracterización de aceites de oliva vírgenes de Catamarca, Argentina*. Nota II. Características generales. INTA EEA Catamarca 6 p.
- SAGPyA** 2008. Código Alimentario Argentino. [en línea]. [Consulta: 2 de junio de 2008].  
Marco\_Regulatorio/CAA/CAPITULOVII.htm.  
[http://www.alimentosargentinos.gov.ar/programa\\_calidad/](http://www.alimentosargentinos.gov.ar/programa_calidad/)
- SHACKEL, K.; B. LAMPINEN; S. SIBBETT; W. OLSON** (2000) *The relation of midday stem water potential to the growth and physiology of fruit trees under water limited conditions*. Acta Horticulturæ 537: 425-430.
- TOVAR DE DIOS, M.J.** (2001) Estudio del efecto de la aplicación de diferentes estrategias de riego al olivo (*Olea europaea* L.) de la variedad Arbequina sobre la composición del aceite. (Tesis Doctoral). Lleida, Universidad de Lleida, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria, 157 p.