

Efecto del riego en la producción de aceite en sistemas superintensivos de arbequina

Alejandro Benito¹, Amadeu Arbonés², Miquel Pascual³, Blanca Sastre¹, Cristina de Lorenzo¹, Josep M^a Villar⁴, M^a Ángeles Pérez¹, Lluís J. Bonet⁵, Sergio Paz⁵, Ángel Santos⁶, Josep Rufat²

¹ Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario – IMIDRA. Autovía A2, km 38,2, 28800-Alcalá de Henares (Madrid)

² Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries – IRTA. Parc Científic i Tecnològic Agroalimentari de Lleida. Parc de Gardeny - Edifici Fruitcentre. E-25003 Lleida,

³ Universitat de Lleida – UDL- Dpto. Hortofruticultura, Botànica y Jardineria. Av. Rovira Roure, 191. E-25198 Lleida

⁴ Universitat de Lleida – UDL- Dpto. Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Av. Rovira Roure, 191. E-25198 Lleida

⁵ Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias – IVIA. Carretera CV-315, Km. 10,7 - 46113 Moncada (Valencia)

⁶ Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Alimentarias - INTIA. Avda. Serapio Huici 22. 31610 Villava (Navarra)

RESUMEN

La superficie con riego completo o de soporte cubre una parte del olivar español. Una cuestión fundamental en los sistemas de cultivo superintensivos se relaciona con los niveles de estrés hídrico tolerable y el periodo de restricciones más eficiente, tanto para promover un ahorro efectivo de agua como para optimizar la producción de aceite que, particularmente en sistemas intensivos, más sensibles a la reducción del suministro de agua. En los resultados obtenidos en cuatro plantaciones superintensivas con la variedad Arbequina, con el riego deficitario controlado se ha logrado reducir de media un 25% el agua aplicada al cultivo. Los parámetros agronómicos se ven influenciados principalmente por la localidad (clima y suelo) y por la campaña. Estos resultados establecen el riego deficitario controlado como una estrategia de riego interesante para mantener el cultivo en unas condiciones óptimas, sin reducción en la producción a corto plazo del aceite siempre que no se incurra en estrés hídrico severo en las etapas anteriores al período de aplicación de RDC. Los resultados también sugieren la gran influencia de la carga de frutos y del volumen de vegetación de la parcela.

Palabras clave (Keywords): *Riego deficitario controlado; rendimiento, localidad, crecimiento vegetativo*

INTRODUCCIÓN

La superficie con riego completo o de soporte cubre hoy una proporción más que significativa del olivar español, contribuyendo positivamente al incremento de la producción de aceite y la sostenibilidad del olivar en zonas semiáridas. Una cuestión fundamental en estos sistemas de cultivo se relaciona con los niveles de estrés hídrico tolerables, tanto para promover un ahorro efectivo de agua como para optimizar el rendimiento de aceite, particularmente en sistemas intensivos, más

sensibles a la reducción del suministro de agua. El éxito de los sistemas superintensivos depende de la disponibilidad de agua de riego, recurso escaso en muchas áreas. En términos de manejo del olivar, las estrategias de riego deficitario han demostrado su factibilidad para mejorar el rendimiento en áreas áridas y semiáridas (Palese et al., 2010; Gómez del Campo et al., 2014).

El riego deficitario es una técnica que se aplica desde hace años en distintos cultivos, incluido el olivar (Patumi et al., 2002; Iniesta et al., 2009; Fernandes Silva et al., 2013; Rufat et al., 2014; Gucci et al., 2019). El riego deficitario controlado (RDC) consiste en la reducción del aporte de agua en un momento fenológico concreto, manteniendo un riego total el resto del ciclo. Esta estrategia permite reducir el aporte total de agua, tratando de minimizar su efecto sobre la producción y calidad del aceite (Gucci et al., 2019), incrementando la eficiencia en el uso del agua (Moriana et al., 2003; Fernández, 2014). Si bien es claro que el riego modula el estrés hídrico y afecta la maduración de los olivos, así como el rendimiento y la calidad del aceite, su respuesta global es variable, interviniendo numerosos factores de índole ambiental, varietal o del propio sistema de cultivo, que se expresan de manera diferente y compleja (Connor and Fereres, 2005; Díaz de la Guardia et al., 2017; Pereira et al., 2002; Rallo et al., 2018; Santos, 2018).

El objeto de este trabajo es comparar los efectos de un riego completo (R100) con un riego deficitario controlado (RDC40) sobre algunos parámetros agronómicos del cv. Arbequina en sistema superintensivo, en cuatro localidades (Torres de Segre, Cadreita, Villena y Aranjuez) durante dos campañas.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en cuatro plantaciones de olivo cv Arbequina (Villena, Valencia; Aranjuez, Madrid; Cadreita, Navarra y Torres de Segre, Lleida) durante dos años (2015 y 2016). Los suelos presentan una alta variabilidad en sus propiedades físico-químicas, variando también en profundidad y presentando en algunos casos salinidad moderada. El riego se realizó mediante goteros autocompensantes en todas las parcelas, regándose de acuerdo a la ET_c calculada según FAO 56 (Allen et al., 1998). EL periodo de riego deficitario fue impuesto desde julio a mediados de septiembre, aplicando el 40% de las necesidades hídricas en todos los casos. La recolección de la aceituna se realizó en el mes de noviembre, elaborando aceite por cada parcela experimental con el sistema Abencor (MC2 Ingenierías y Sistemas). El índice de madurez se calculó en laboratorio de acuerdo al método de Beltrán et al. (2008). El crecimiento vegetativo de los árboles fue medido mediante el volumen de copa, perímetro de tronco y el peso de la poda. El potencial hídrico del tallo al mediodía fue medido en la fase de pleno crecimiento (finales de junio), a mediados del período de estrés (finales de agosto) y durante el período de recuperación del estado hídrico (octubre).

En Lleida el ensayo se llevó a cabo en una plantación comercial en el término municipal de Torres de Segre con 1.010 olivos·ha⁻¹. En Madrid se realizó el ensayo en una finca experimental perteneciente al IMIDRA en el término municipal de Aranjuez con 1.481 olivos·ha⁻¹. En Navarra, se llevó a cabo en una plantación comercial del término municipal de Cadreita con 1.667 olivos·ha⁻¹. Y finalmente, el ensayo de Alicante se llevó a cabo en una finca particular del término municipal de Villena con 1.667 olivos·ha⁻¹.

Se tomaron datos de los siguientes parámetros agronómicos:

- Rendimiento de aceite por ha (Kg aceite/ha).
- Potencial hídrico (bar) de planta en tres periodos (Pot. Hídrico pre-estrés, Pot. Hídrico estrés y Pot. Hídrico recuperación).
- Contenido de Nitrógeno Kjeldahl (%) en hojas en julio.
- Humedad en fruto (%).
- Rendimiento graso sobre materia seca (%).
- Rendimiento graso sobre masa fresca (%).
- Índice Madurez.
- Crecimiento perímetro de tronco(cm)
- Crecimiento de volumen de copa (m³)

- Peso de poda (Kg/árbol)
- El crecimiento y la poda se han calculado, en sus unidades respectivas, por hectárea de superficie para corregir el efecto densidad

En todas las localidades, el riego completo (R100) consistió en aplicar el 100% de las necesidades hídricas durante todo el año, mientras que en el riego deficitario controlado (RDC40) se aplicó el 40% de las necesidades hídricas desde el endurecimiento masivo del hueso (mediados de julio) hasta finales de agosto. Durante el resto del año se aplicó el total de necesidades hídricas.

Se aplicó la siguiente fórmula para el cálculo del riego: $ET_c = ET_0 \times Kc$; se considera un Kc de 0,7. En la **Tabla 1** se indica el volumen de riego y la ET₀ de cada campaña y localidad.

El diseño experimental igualmente fue el mismo en las cuatro localidades y consistió en bloques al azar con cuatro repeticiones por tratamiento.

El análisis estadístico de los resultados se realizó usando el programa JMP versión 14.2 de SAS Institute Inc., empleando un ANOVA de 3 factores (Localidad, Año y Riego) utilizando la prueba de Tukey (p<0.05) para la separación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los aceites obtenidos de los ensayos en todas las localidades, campañas y en los diferentes tratamientos han sido calificados como Aceite de Oliva Virgen Extra (AOVE) siguiendo los métodos indicados en el Reglamento (CEE) 2568/91 de la Comisión de 11 de julio de 1991.

La **Tabla 2** recoge los resultados de las determinaciones realizadas para los parámetros agronómicos medidos en las distintas localidades, por campaña y riego aplicado. Los resultados en las cuatro localidades estudiadas confirman que los tratamientos de riego deficitarios moderados como es nuestro caso (RDC40) no influyen significativamente en la producción de aceite (**Tabla 3**), al igual que apuntan otros estudios (Gucci et al., 2019; Ahumada-Orellana et al., 2017). Sin embargo, riegos deficitarios severos sí que influyen en la producción de aceite (Gómez del Campo, 2013; Rufat et al., 2014). El rendimiento en aceite se ve influenciado significativamente por la campaña mientras que la localidad no influye en este parámetro, estando estrechamente ligado al estado de madurez en el momento de la cosecha. El año y la localidad tienen un efecto significativo sobre la mayoría de los parámetros estudiados. Estos dos factores parecen relacionados, en este trabajo preliminar, a las características propias de cada plantación, como la densidad de la plantación

(Gomez-del-Campo et al., 2017) y la carga anual de aceitunas.

Los resultados del análisis multivariante en componentes principales muestran las relaciones entre las diferentes variables estudiadas (**Figura 2**). Independientemente de la campaña y del riego, el estrés hídrico durante la entrada del verano, antes del periodo impuesto de riego deficitario, muestra ser un factor esencial en el control del crecimiento (**Figura 3**), sin que pueda ser asociado a la estrategia de riego y al estrés hídrico durante la fase de restricción hídrica impuesta por RDC40.

CONCLUSIONES

En los olivares en superintensivo de cuatro localidades sometidos a riego deficitario controlado (RDC40) frente a los de riego completo (R100) se ha logrado reducir de media un 25% el agua aplicada. Los parámetros agronómicos se ven influenciados principalmente por la localidad (clima y suelo) y por la campaña.

Estos resultados establecen el riego deficitario controlado como una estrategia de riego interesante para mantener el cultivo en unas condiciones óptimas, sin reducción en la producción a corto plazo del aceite siempre que no se incurra en estrés hídrico severo en las etapas anteriores al período de aplicación de RDC. Los resultados también sugieren la gran influencia de la carga de frutos y del volumen de vegetación de la parcela.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto RTA2012-00059 del INIA (Ministerio Español de Economía y Competitividad). Los autores quieren agradecer a Roberto Saiz, Francisco Serrano y los trabajadores de “La Chimenea” por su participación en el trabajo de campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 56 (Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations).
- Ahumada-Orellana L.E., Ortega-Farías S, Searles P, Retamales J.B (2017) Yield and water productivity responses to irrigation cut-off strategies after fruit set using stem water potential thresholds in a super-high-density olive orchard. *Front. Plant Sci.*, p. 8, doi: 10.3389/fpls.2017.01280. article 1280
- Beltrán, G., Uceda, M., Hermoso, M., Frías, L. (2008) Maduración. In: Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L. (Eds.), *El cultivo del olivo*, 6^a ed. Ed. Mundi-Prensa Y Junta de Andalucía, Madrid, Spain, pp. 163–187.
- Connor, D.J., Fereres, E., (2005). The physiology of adaptation and yield expression in olive. *Hortic. Rev. (Am. Soc. Hortic. Sci)*. 31. doi:10.1002/9780470650882.ch4

- Díaz de la Guardia, C., Vázquez, L., García-Mozo, H., Galán, C., Ruiz, L., Domínguez-Vilches, E., (2017). Modeling Olive Crop Yield in Andalusia, Spain. *Agron. J.* 100, 98. doi:10.2134/agronj2006.0345
- Fernández J (2014) Understanding olive adaptation to abiotic stresses as a tool to increase crop performance. *Environmental and Experimental Botany*, 103(0): 158-179. doi: 10.1016/j.envexpbot.2013.12.003.
- Fernandes-Silva, AA, Gouveia JB, Vasconcelos P, Ferreira TC, Villalobos F.J. 2013. Effect of different irrigation regimes on quality attributes of monovarietal virgin olive oil from cv. "Cobrançosa". *Grasas Aceites*, 61, 41-49. <http://dx.doi.org/10.3989/gya.070512>
- Gómez-del-Campo, M. (2013). Summer deficit irrigation in a hedgerow olive orchard cv. Arbequina: relationship between soil and tree water status, and growth and yield components. *Span. J. Agric. Res.* 11 (2), 547–557 <https://doi.org/10.5424/sjar/2013112-3360>.
- Gómez-del-Campo M, Pérez-Expósito M.A., Hammami S.B., Centeno A, Rapoport H.F. (2014) Effect of varied summer deficit irrigation on components of olive fruit growth and development *Agric. Water Manage.*, 137, pp. 84-91
- Gomez-del-Campo, M., Connor, D.J., Trentacoste, E.R., (2017). Long-term Effect of Intra-Row Spacing on Growth and Productivity of Super-High Density Hedgerow Olive Orchards (cv. Arbequina). *Front. Plant Sci.* 8, 1–12. doi:10.3389/fpls.2017.01790
- Gucci R, Caruso G, Gennai C, Esposto S, Urbani S & Servili M (2019) Fruit growth, yield and oil quality changes induced by deficit irrigation at different stages of olive fruit development. *Agricultural Water Management*, 212: 88-98. doi: 10.1016/j.agwat.2018.08.022.
- Iniesta F, Testi L, Orgaz F & Villalobos FJ (2009) The effects of regulated and continuous deficit irrigation on the water use, growth and yield of olive trees. *European Journal of Agronomy*, 30(4): 258-265. doi: 10.1016/j.eja.2008.12.004.
- JMP®, Version 14.2. SAS Institute Inc., Cary, NC, 1989-2019
- Moriana A, Orgaz F, Pastor M & Fereres E (2003) Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(3): 425-431.
- Palese AM, Nuzzo V, Favati F, Pietrafesa A, Celano G, Xiloyannis C (2010) Effects of water deficit on the vegetative response, yield and oil quality of olive trees (*Olea europaea* L., cv Coratina) grown under intensive cultivation *Sci. Hortic.-Amsterdam*, 125 , pp. 222-229
- Patumi M, D'Andria R, Marsilio V, Fontanazza G.; Morelli G, Lanza B. (2002) Olive and olive oil quality after intensive monocone olive growing (*Olea europaea* L., cv. Kalmata) in different irrigation regimes. *Food Chem.* 2002, 77, 27–34.
- Pereira, L.S., Oweis, T., Zairi, A., (2002). Irrigation management under water scarcity. *Agric. Water Manag.* 57, 175–206. doi:10.1016/S0378-3774(02)00075-6
- Rallo L, Diez CM, Morales-Sillero A, Miho H, Priego-Capote F & Rallo P (2018) Quality of olives: A focus on agricultural preharvest factors. *Scientia Horticulturae*, 233: 491-509. doi: 10.1016/j.scienta.2017.12.034.
- Reglamento 2568/91. Reglamento (CEE) 2568/91 de la Comisión de 11 de julio de 1991 relativo a las características de los aceites de oliva y de los aceites de orujo de oliva y sobre sus métodos de análisis.
- Rufat J, Villar JM, Pascual M, Falguera V & Arbonés A (2014) Productive and vegetative response to different irrigation and fertilization strategies of an Arbequina olive orchard grown under super-intensive conditions. *Agricultural Water Management*, 144(0): 33-41. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.05.014>.
- Santos, F., (2018). Assessing Olive Evapotranspiration Partitioning from Soil Water Balance and Radiometric Soil and Canopy Temperatures. *Agronomy* 8, 43. doi:10.3390/agronomy8040043



Figura 1. Localización de las parcelas de ensayo.

Cadreita 42°13'16" N, 1°41'03" W; Villena 38°38'14" N, 0°51'56" W;; Aranjuez 40°01'51" N, 3°36'08" W;
 Torres 41°32'03" N, 0°30'51" E.

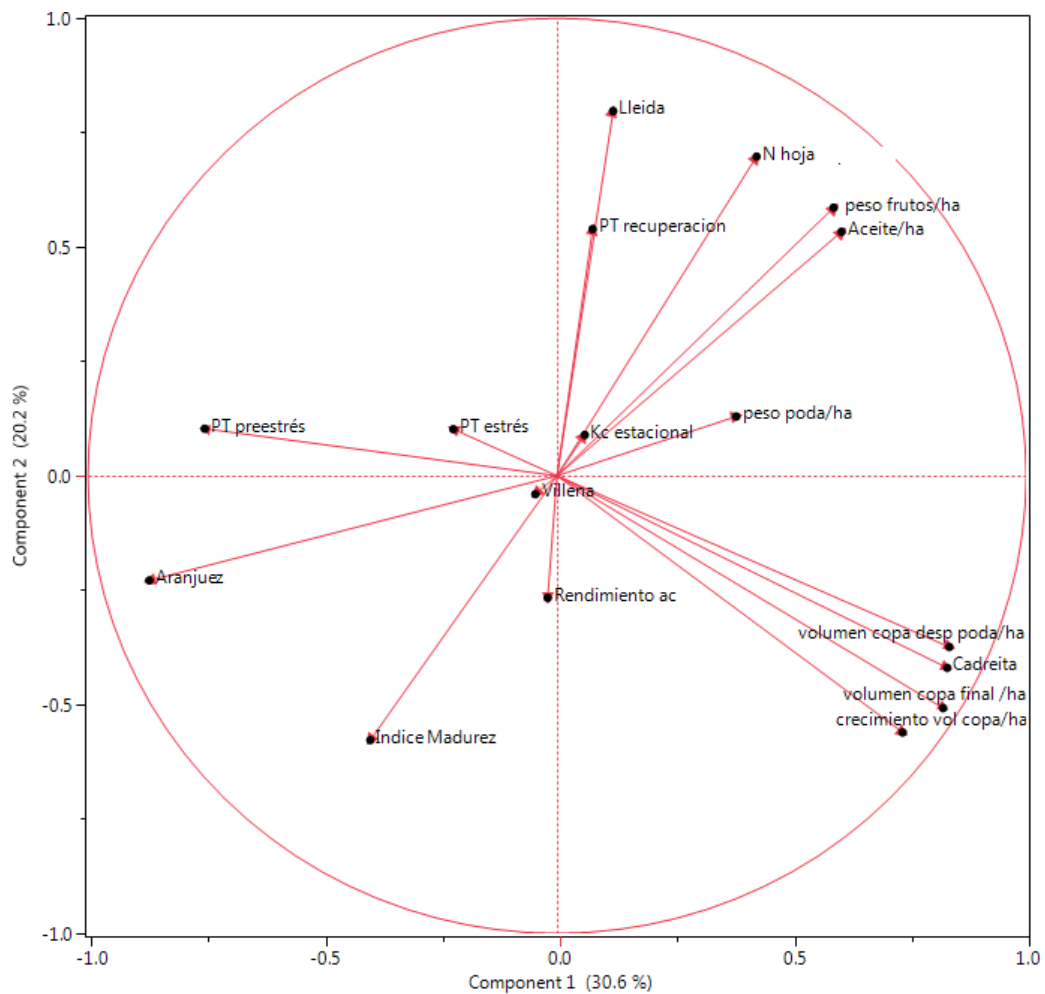


Figura 2. Análisis de componentes principales de las variables medidas en el ensayo

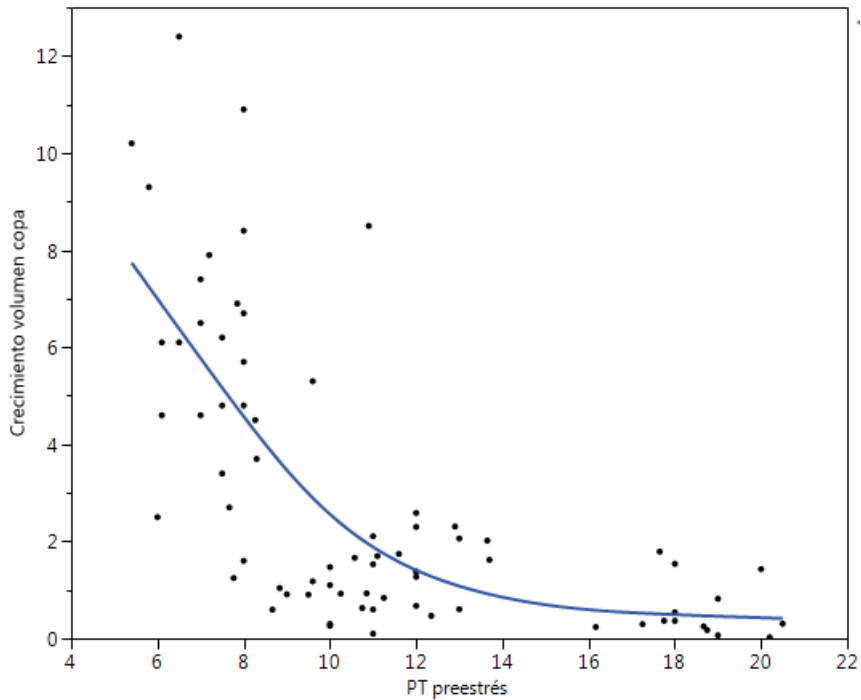


Figura 3. Relación entre potencial hídrico en el período anterior a la aplicación de riego deficitario controlado (RDC40) y el crecimiento vegetativo

Tabla1. Datos de clima (Evapotranspiración Potencial anual-ET₀ y Pluviometría anual) y volumen de riego aportado.

Localidad	2015							2016					
	Volumen de riego (mm)					ET ₀ (mm/año)	Pluviometría (mm/año)	Volumen de riego (mm)				ET ₀ (mm/año)	Pluviometría (mm/año)
		Inicial	Déficit	Recuperación	Total			Inicial	Déficit	Recuperación	Total		
		Abr-Jun	Jul-Ago	Sep-Oct	Año	Abr-Jun	Jul-Ago	Sep-Oct	Año				
Madrid	R100	185,8	191,2	83,3	460,3	1312,0	246,0	245,2	271,2	80,2	596,6	1239,0	450,0
	RDC40	189,6	70,3	75,0	334,9			229,0	108,8	77,1	414,8		
Valencia	R100	199,2	173,0	76,5	448,7	1369,0	277,0	279,5	172,8	5,4	457,7	1346,0	288,0
	RDC40	210,5	72,6	82,0	365,1			287,8	89,6	5,2	382,6		
Navarra	R100	376,1	135,2	78,4	589,7	1321,0	320,0	130,6	98,1	116,7	345,3	1111,0	289,0
	RDC40	367,4	57,9	78,9	504,2			139,5	45,0	122,6	307,1		
Lleida	R100	181,0	151,0	40,0	372,0	1112,0	301,0	157,0	211,0	79,0	447,0	1107,0	312,0
	RDC40	197,0	76,0	42,0	315,0			150,0	94,0	83,0	327,0		

Tabla 2. Media y desviación estándar de los parámetros estudiados

Localidad	Aranjuez				Cadreita				Lleida				Villena			
	2015		2016		2015		2016		2015		2016		2015		2016	
Tratamiento	R100	RDC40	R100	RDC40	R100	RDC40	R100	RDC40	R100	RDC40	R100	RDC40	RC100	RDC40	R100	RDC40
Olivos/ha (n°)	1481±0	1481±0	1481±0	1481±0	1667±0	1667±0	1667±0	1667±0	1010±0	1010±0	1010±0	1010±0	1667±0	1667±0	1481±0	1481±0
Aceite/ha (Kg)	654,51±23 6,21	1060,98±3 18,21	581,9±125, 52	428,79±28 2,55	1771,19±3 33,78	1608,66±2 21,36	1012,9±24 4,55	1105,98±1 66,89	404±0	707±101	1969,5±21 4,25	1969,5±17 4,94	2442,14±1 06,45	2529,89±2 53,21	654,51±23 6,21	654,51±23 6,21
Pot. Hídrico pre-estrés (bar)	18,79±1,28	19,3±1,01	10,87±1,86	11,55±0,74	6,4±0,45	7,98±0,25	7,93±2,18	6,73±1,08	7,35±0,92	8,73±0,72	11,78±0,45	10,5±0,58	17,39±1,3	18,14±0,47	18,79±1,28	18,79±1,28
Pot. Hídrico estrés (bar)	17,41±0,55	26,75±1,27	12,97±0,06	14,05±1,44	12,6±0,49	12,47±0,54	14,48±0,49	17,29±0,47	8,55±0,78	10,35±2,78	13,33±1,35	18,45±1,37	13,42±0,63	27,36±2,91	17,41±0,55	17,41±0,55
Pot. Hídrico recuperación (bar)	15,99±1,07	23,73±0,5	7,52±0,5	7,33±0,46	13,78±0,31	13,75±0,3	12,25±0,21	11,1±0,5	17,9±4,1	13,65±1,15	15,75±2,47	22,4±2,67	10,5±0,9	11,83±1,81	15,99±1,07	15,99±1,07
Humedad aceituna (%)	55,35±0,43	51,1±0,42	59,09±0,21	56,78±0,58	57,87±1,42	57,44±2,44	54,49±0,74	54,9±1,03	58,6±0	59,57±4,96	59,45±0,92	56,88±2,38	60,54±2,08	57,03±1,9	55,35±0,43	55,35±0,43
Rendimiento Mat. Seca (%)	44,29±0,85	42,99±1,3	29,97±1,57	31,74±1,12	45,4±1,53	46,5±0,98	40,74±0,76	42,68±0,88	43,89±0	43,47±2,09	39,18±0,81	40,02±0,88	60,67±0,42	59,49±2,22	44,29±0,85	44,29±0,85
Rendimiento aceite (%)	19,78±0,4	21,02±0,46	12,26±0,69	13,72±0,51	18,18±0,78	18,52±0,87	18,18±0,78	18,52±0,87	18,2±0	17,67±3	15,9±0	17,25±0,99	15,52±0,74	17,43±1,64	19,78±0,4	19,78±0,4
Índice Madurez	3,22±0,15	3,62±0,46	3,12±0,42	3,01±0,42	2,39±0,7	2,68±0,98	3,31±0,15	3,19±0,49	3,9±0	4,36±0,43	1,65±0,35	1,78±0,78	nd	nd	3,22±0,15	3,22±0,15
Crec. perímetro tronco (cm)	0,16±0,15	1,12±0,9	1,67±0,52	1,5±0,5	0,61±0,65	0,66±0,64	1,35±0,33	0,68±1,09	2,5±0	2±0,61	0,9±0,14	0,8±0,33	1,4±0,15	1,2±0,26	0,16±0,15	0,16±0,15
Crec. volumen copa (m ³)	0,93±0,87	0,66±0,61	1,08±0,44	1,22±0,7	4,45±1,48	4,43±1,26	8,4±0,78	10±2,51	6,7±0	3,53±1,86	2±0,42	0,53±0,43	0,24±0,06	0,39±0,14	0,93±0,87	0,93±0,87
Peso poda (Kg árbol ⁻¹)	4,22±2,37	2,96±1,89	3,13±1,13	1,52±0,8	3,3±0,41	2,87±0,44	3,69±1,38	2,63±0,99	10,47±0	5,78±1,19	6,23±0,46	4,6±1,3	1,96±0,14	1,57±0,46	4,22±2,37	4,22±2,37

Tabla 3. Análisis ANOVA de 3 factores (Localidad, Año y Riego) para cada parámetro.

	Aceite/ha	PT pre-estrés	PT estrés	PT recuperación	Humedad aceituna	Rendimiento mat. seca	Rendimiento aceite	Índice Madurez	Crec. perímetro tronco	Crec. volumen copa	Peso poda árbol
Tratamiento	ns	ns	0,005	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Localidad	0,028	0,000	0,038	ns	ns	0,000	ns	ns	0,047	0,000	0,000
Año	0,007	0,004	ns	ns	ns	0	0,012	ns	ns	ns	ns

p-valor de acuerdo con la prueba de Tukey. ns: no significativo