

Déficit de riego y aplicación de hidrogel en la productividad de olivo en regiones desérticas

Rubén Macías Duarte^{1§}
Raúl Leonel Grijalva Contreras¹
Fabián Robles Contreras¹
Arturo López Carvajal¹
Fidel Núñez Ramírez²

¹Campo Experimental Costa de Hermosillo-Sitio Experimental Caborca-INIFAP. Avenida S núm. 8 norte, H. Caborca, Sonora, México. CP. 83600. Tel. 01(55) 38718700, ext. 81105. (grijalva.raul@inifap.gob.mx; robles.fabian@inifap.gob.mx; lopez.arturo@inifap.gob.mx. ²Instituto de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma de Baja California. Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California. (fidel.nunez@uabc.edu.mx).

§Autor para correspondencia: macias.ruben@inifap.gob.mx.

Resumen

La sobre explotación del manto freático y los escasos de agua en la región semidesértica del norte de Sonora, representa un grave problema. Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de un déficit de riego 50% (DR50%) y un hidrogel (H) sobre el rendimiento y calidad del cultivo del olivo cultivar ‘Manzanilla de Sevilla’ en la región semidesértica de Caborca, Sonora, durante el ciclo 2016 a 2017. Los tratamientos evaluados fueron: DR50%, DR50%+H, R100% (testigo) y R100%+H. Los resultados obtenidos indican diferencias estadísticas en el contenido de humedad del suelo entre el DR50% y el testigo, con una reducción de 22.7% (2 880 m³ h⁻¹) en el volumen de agua aplicada con el DR50% en relación al testigo, sin afectar el rendimiento y calidad del fruto. La adición de hidrogel no presentó respuesta en ninguno de los parámetros evaluados. El rendimiento y calidad del fruto fue estadísticamente igual para todos los tratamientos evaluados.

Palabras clave: *Olea europaea*, agua, eficiencia, riego.

Recibido: diciembre de 2018

Aceptado: febrero de 2019

Introducción

El establecimiento y desarrollo de los cultivos en la región semiárida de Caborca, Sonora depende exclusivamente del agua de riego de pozos profundos que se extraen del acuífero, siendo la única fuente de agua para esta zona, la cual se encuentra ubicada en el desierto sonorense, caracterizándose por tener baja recarga de agua y durante los últimos 10 años se ha visto afectada por marcado abatimiento de los mantos acuíferos, aunado las lluvias que se presentan en la región son menores a 200 mm anuales con una evaporación superior a 2 300 mm anuales (Robles., 2001).

La baja disponibilidad de agua, los altos costos de la energía requerida para su extracción, así como el incremento en la demanda de la misma por el sector agrícola, hacen necesario implementar un manejo tecnológico más eficiente en el uso y manejo del agua. Una de las estrategias para contribuir a lo anterior y reducir la sobre explotación de los mantos freáticos, así como incrementar la rentabilidad en la producción de cultivos en regiones con baja disponibilidad de agua como es la zona semidesértica del norte de Sonora, es reduciendo al mínimo necesario los volúmenes aplicados a la producción de cultivos, sin ver afectado la calidad y rendimiento de los mismos.

El déficit de riego (DR) se realiza en una etapa fenológica específica y es comúnmente usada en ciertas especies frutícolas para reducir la cantidad de agua sin afectar el desarrollo productivo (Behboudian, 1997). En el caso de olivo corresponde en la etapa del endurecimiento del hueso y después de realizar la cosecha (Lavee y Woodner, 1991; Moriana *et al.*, 2007). Algunos estudios indican que el DR no afecta el rendimiento ni el peso del fruto (Goldhamer, 1999; Vita *et al.*, 2011). Sin embargo, el DR reduce la floración el año siguiente (Alegre *et al.*, 2002) y acelera la maduración del fruto (Alegre *et al.*, 1999) y la respuesta al DR varía de acuerdo a la variedad de olivo (Patumi *et al.*, 1999).

Otra alternativa para hacer más eficiente el uso del agua en la producción agrícola es con el uso de polímeros hidrófilos (hidrogeles, retenedores de agua) altamente absorbentes e insolubles en agua, que ayudan a reducir la pérdida de agua propiciadas por la evaporación y percolación, reduciendo los costos tanto de insumos (fertilizantes) al disminuir las pérdidas por infiltración; así como, en el consumo de energía eléctrica al aumentar la capacidad de retención de agua en el suelo y en consecuencia reducir la frecuencia de riegos (López *et al.*, 2016). Los hidrogeles, hidrotretenedores o súper absorbentes, son polímeros hidrófilos o absorbentes de agua con estructura tridimensional, constituidos generalmente por moléculas orgánicas de cadena larga y elevado peso molecular unidas mediante enlaces transversales entre las cadenas (Kazanskii y Dubroskii, 1991).

Algunos investigadores indican que el del uso de polímeros hidrófilos mejoran la capacidad de retención de agua en el suelo al aprovechar mejor el agua de lluvia o riego al perderse menor cantidad por percolación, así como disminuir la evaporación de la misma, reducir la lixiviación de nutrientes y mejorar la aireación y drenaje del suelo, lo que permite espaciar la frecuencia de los riegos, favorecer el desarrollo del sistema radicular, el crecimiento de la planta, mejoran la actividad biológica e incrementan la producción (Baasiri *et al.*, 1986; Henderson y Hensley, 1986; Lamont y O'Connell, 1987; Cotthem *et al.*, 1991; Bres y Weston, 1993; Mikkelsen *et al.*, 1993; Orzolek, 1993; Nissen, 1994; Mikkelsen *et al.*, 1995; Ross *et al.*, 2003; Rojas *et al.*, 2004; Sojka *et al.*, 2005; Barón *et al.*, 2007; Orts *et al.*, 2007; Rivera *et al.*, 2007; Sojka *et al.*, 2007). López *et al.* (2016) menciona que el polímero hidrófilo a base de poliacrilamida (PAM), Lluvia sólida[®], es capaz de absorber el equivalente a 268 veces su peso usando agua destilada.

Asimismo, cuando el agua cuenta con presencia de sales, el polímero reduce la capacidad de absorción con agua, siendo menor la capacidad de hidratación a medida que se incrementa el contenido de sales con una reducción en la absorción de agua hasta 116 veces su peso.

El efecto de los polímeros hidrófilos es más evidente en suelos con drenaje alto (Idrobo *et al.*, 2010), de textura arenosa (Baasiri *et al.*, 1986; Orzolek, 1993; Ross *et al.*, 2003), al igual que en climas áridos (Baasiri *et al.*, 1986; Katime, 2003; Rojas *et al.*, 2004; Barón *et al.*, 2007; Albuquerque *et al.*, 2009). Por otro lado, La estabilidad del polímero también se ve afectada por la temperatura, de forma que un incremento en la temperatura reduce la capacidad de retención de agua por el polímero, siendo mayor el efecto a temperaturas superiores a los 60 °C (Baasiri *et al.*, 1986; Katime, 2003), situación la cual también se presenta bajo condiciones de temperatura baja, siendo más notorio alrededor de los 15° C (Fitzpatrick *et al.*, 2004; Sojka *et al.*, 2007).

Los polímeros hidrófilos, una vez aplicados en el suelo sufren una paulatina degradación, influyendo los rayos ultravioletas provenientes del sol en su degradación y el uso de implementos agrícolas en su fraccionamiento (Azzam, 1983; Sojka *et al.*, 2006). El proceso continuo de humedecimiento y secado por el que atraviesa el polímero en el suelo trae consigo cambios significativos en la capacidad de absorción y retención de agua, reduciendo su efectividad (Wang y Gregg, 1990; Choudhary *et al.*, 1998).

En evaluaciones del uso de polímeros hidrófilos en la producción de diferentes cultivos indican que en el cultivo del tomate se observó un efecto positivo sobre la germinación y el crecimiento de las plantas en este cultivo (Rojas *et al.*, 2004); asimismo, se benefició el incremento del peso seco de raíz y el peso seco de frutos, lo cual se vio reflejado en un aumento de la producción (Rivera *et al.*, 2007). En la producción de cilantro, incrementó la eficiencia del uso de agua, el rendimiento de materia verde y seca, al igual que el número de plantas, dependiente del volumen de agua aplicada y la temporada de cultivo (Albuquerque *et al.*, 2009). En el cultivo de rábano, se observó un incremento en la retención de humedad, mostrando asimismo una mejor dosificación de los fertilizantes Idrobo *et al.* (2010).

En la producción de frijol, bajo condiciones de salinidad en clima árido y semi-árido, tiene gran potencial de uso para reducir el estrés salino en la planta (Kant y Turan, 2011) autores como Rodríguez (2017) indica que la combinación de hidrogel con ácido salicílico, favorecieron el crecimiento de las plantas de frijol e incrementaron significativamente la productividad bajo condiciones de invernadero, además las plantas tratadas mostraron una mayor tolerancia a la sequía. López *et al.* (2013) menciona que en el cultivo de chile anaheim (*Capsicum annum* L.) bajo condiciones de invernadero, con el uso de polímeros hidrófilos, se obtuvo una reducción 12% del volumen de agua aplicado en relación al testigo, así como un mayor peso de fruto y un mayor rendimiento por m².

El objetivo del presente estudio consistió en evaluar la factibilidad de producir sin afectar el rendimiento y calidad del olivo, reduciendo en 50% (déficit de riego) en una etapa del cultivo el volumen aplicado por el productor regional en combinación con el uso de un polímero hidrófilo (hidrogel).

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El experimento se realizó en la región olivarera de la costa de Caborca, Sonora, en la Sociedad de Producción Rural ‘Campo Aguilar’ ubicado a los 30° 48’ 49’’ norte y 112° 54’ 18’’ oeste y una altitud de 44 m. El clima es desértico con una temperatura media anual de 22 °C, siendo enero el mes más frío con 4.6 °C y julio el más caliente, con 40.2 C con una precipitación menor a 200 mm anuales (Robles, 2001).

Características del suelo

Las propiedades del suelo de la huerta presentaron una textura arenosa, una conductividad eléctrica de 7.9 dS m⁻¹, 1.4% de materia orgánica y un pH de 7.9, pobre en nitrógeno y mediano en contenido fósforo y potasio.

Manejo agronómico

La evaluación se realizó en el ciclo 2016-2017 en un huerto de olivo de 17 años de edad establecido con el cultivar ‘Manzanilla de Sevilla’, con marco de plantación de 10 x 5 m (200 árboles ha⁻¹). El experimento se estableció bajo riego por goteo, utilizando una manguera regante situada a un lado de la línea de plantación con cinco goteros por árbol, el agua utilizada proviene de pozos profundos que trabajan con electricidad. En general el manejo agronómico fue realizado por el productor cooperante el cual consistió en la aplicación de la dosis de fertilización 80N-40P usando urea (46-00-00) y fosfonitrato (33-03-00) como fuente de nitrógeno y ácido fosfórico (00-52-00) como fuente de fósforo.

Para el control de plagas, en especial para el control de la mosca del olivo, se hicieron dos aplicaciones de insecticidas: Malathión (1 L ha⁻¹) a principio de ciclo sin presencia de fruta y posteriormente Spinosad (0.250 L ha⁻¹) con presencia de fruta. El riego se aplicó en forma general a toda la huerta con un total de 66 riegos durante todo el ciclo.

Tratamientos evaluados

Se evaluaron cuatro tratamientos formados por dos niveles de riego al 100% (R100%) y 50% de humedad (DR 50%), en combinación con la aplicación de 10 kg ha⁻¹ de hidrogel (H), El producto de hidrogel utilizado fue el BountiGel™ G cuyo ingrediente activo es Poliácido de potasio, sal de potasio reticulado (2-ácido propenoico homopolímero). Los tratamientos evaluados fueron: Tratamiento 1. Testigo del productor cooperante (R100%), se aplicaron los riegos durante todo el año con goteros de un gasto de 8 Lh⁻¹, (tecnología tradicional de los productores de olivo de la región). Tratamiento 2. R100% + H, al tratamiento testigo se le adicionaron 10 kg ha⁻¹ de hidrogel (distribuidos en 50 g árbol⁻¹). Tratamiento 3 DR50%, consistió en reducir 50% del volumen de agua aplicado al tratamiento testigo con el uso de goteros de 4 L h⁻¹. Tratamiento 4) R50% + H, al tratamiento DR50% se le adicionaron 10 kg ha⁻¹ de hidrogel distribuidos en 50 g árbol⁻¹.

A todos los tratamientos evaluados se les aplicó un total de 66 riegos durante todo el año. A los tratamientos 3 y 4 (DR50% y DR50% + H), del total de 66 riegos, a 30 de ellos, se les redujo en un 50% el volumen de agua aplicado respecto al testigo (R100%), durante el periodo del 02 de diciembre de 2016 al 19 marzo del 2017. El agua de riego se aplicó por medio de 5 goteros por árbol con una frecuencia promedio de cada seis días entre riegos. El hidrogel se aplicó al suelo abajo de la línea de las mangueras regantes en dosis de 10 kg ha^{-1} (50 g árbol^{-1}) distribuidos en 5 hoyos por árbol a una distancia de 1 m entre ellos y con una profundidad de 30 cm.

Durante el periodo de evaluación, se midió el contenido de humedad del suelo en ambos tratamientos a una profundidad de 40 y 80 cm por medio sensores de humedad del suelo de la marca Watermark los cuales indican los cambios de humedad del suelo mediante valores de tensión expresada en centibars o kilopascal (cb, o kPa). Dichos sensores tienen un rango de medición que va desde cero hasta 200 kPa, en donde las lecturas cercanas a cero corresponden a un suelo completamente saturado de agua y las cercanas a 40 kPa a un suelo que requiere riego (Payan *et al.*, 2013). Los sensores, se colocaron a ambos lados del gotero a una distancia aproximadamente de 35 cm del mismo (Figura 1 y 2).



Figura 1. Lecturas de humedad del suelo a dos profundidades.



Figura 2. Ubicación de sensores de humedad.

Características evaluadas y análisis estadístico

Las variables evaluadas fueron: contenido de humedad en el suelo (kPa) a dos profundidades 40 cm y 80 cm, tomadas diariamente durante el periodo de evaluación, rendimiento (kg árbol⁻¹), peso de fruto (g), diámetro de fruto (cm), longitud del futo (cm) y relación pulpa hueso.

La cosecha se realizó la última semana de julio y el rendimiento se tomó cosechando tres arboles de cada una de las repeticiones y las características del fruto se realizó tomando 100 frutos al azar de cada árbol de diferentes tratamientos al momento de la cosecha. La evaluación se estableció en campo de acuerdo a un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones; sin embargo, el dato del contenido de humedad del suelo se analizó como un factorial 2 x 4 donde el factor A correspondió a dos profundidades de suelo (40 cm y 80 cm) y el factor B a los cuatro tratamientos de riego (R100%, R100%+H, DR50%, DR50%+H). Las variables fueron analizadas estadísticamente usando el programa de diseños experimentales de la FAUANL versión 2.7 (Olivares, 2016). La separación de media se realizó de acuerdo a la diferencia mínima significativa (DMS) al 5%.

Resultados y discusión

Humedad del suelo

La humedad del suelo registrado durante el periodo de evaluación fue muy uniforme en la capa de 0 a 80 cm de profundidad ya que no se observaron diferencias estadísticas entre los contenidos de humedad a 40 cm y a 80 cm de profundidad con valores de 19.5 kPa y 19.2 kPa, respectivamente para ambas profundidades; lo cual indica que la frecuencia de riego y el volumen de agua aplicado en cada uno de ellos, no permitieron que se presentaran diferencias de humedad en la capa de suelo monitoreado (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores de humedad del suelo (kPa) correspondiente a dos profundidades en el cultivo del olivo cultivar ‘Manzanilla de Sevilla’.

Profundidad (cm)	Humedad del suelo (kPa)
40	19.5 a ^z
80	19.2 a

^z= medias con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS 5%).

En relación a la aplicación del déficit de riego y de hidrogel, el análisis estadístico, detectó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos de riego evaluados, separándolos en dos grupos estadísticos. En el primer grupo los tratamientos con DR50% registraron los menores contenidos de humedad en el suelo, con las mayores lecturas de tensión, con valores de 24.4 kPa y 24.3 kPa, respectivamente para los tratamientos DR50% y DR50%+H. En el segundo grupo estadístico se ubicaron los tratamientos donde no se aplicó déficit de riego, con un mayor contenido de humedad y menores valores de tensión, con 14.6 kPa y 14.1 kPa, respectivamente para los tratamientos R100% y R100%+H (Cuadro 2).

Los resultados obtenidos muestran que la aplicación de hidrogel no presentó respuesta positiva con respecto al contenido de humedad en el suelo, lo cual contrasta con lo indicado por (Ross *et al.*, 2003; Rojas *et al.*, 2004). Las diferencias presentadas en el contenido de humedad, se debieron a

la reducción del volumen de agua aplicado (Cuadro 2). Los valores de humedad del suelo correspondientes a la interacción entre la profundidad del suelo y tratamientos de riego muestran la misma respuesta que los resultados anteriores como se observa en el Cuadro 3.

Cuadro 2. Valores de humedad del suelo (kPa) correspondiente a cuatro tratamientos de riego en olivo cultivar ‘Manzanilla de Sevilla’.

Tratamiento	Humedad del suelo (kPa)
DR50%	24.4 a ^z
DR50% + H	24.3 a
R100%	14.6 a
R100% + H	14.1 a

^z= medias con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS 5%).

Cuadro 3. Valores de humedad del suelo (kPa) correspondiente a la interacción profundidad del suelo-tratamientos de riego en olivo cultivar ‘Manzanilla de Sevilla’.

Tratamiento	Humedad del suelo (kPa)
80 cm-DR 50%	25 a ^z
40 cm-DR 50% + H	24.9 a
40 cm-DR 50%	23.9 a
80 cm-DR 50% + H	23.7 a
40 cm-R 100%	14.9 b
40 cm-R 100% + H	14.5 b
80 cm-R 100%	14.4 b
80 cm-R 100% + H	13.7 b

^z= medias con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS 5%).

Cabe hacer la observación que los tratamientos con 100% de humedad, con y sin hidrogel, presentaron un mayor contenido de humedad, sin fluctuaciones y más uniforme durante todo el periodo de evaluación con lecturas alrededor de 15 kPa, mientras que los tratamientos con DR50% con y sin hidrogel presentaron menor contenido de humedad con una mayor fluctuación en los valores de estos, pero todos menores a 40 kPa (Figura 3). Al respecto Payan *et al.* (2013), indican que el valor de 40 kPa es el valor indicado para iniciar la aplicación del riego.

Por otro lado, el instructivo de instalación y operación del medidor de humedad del suelo Watermark (Irrometer) recomienda que, de acuerdo a la textura prevaleciente en la región, el rango normal para aplicar los riegos es de 30 a 60 kPa. De acuerdo a los valores de humedad observados en la Figura 3, se puede desprender que en el tratamiento R100% (tratamiento del productor) con y sin hidrogel, se aplicó agua en exceso durante todo el periodo, aunado a que el olivo, es un cultivo que presenta una alta eficiencia en el uso del agua (Grijalva *et al.*, 2010).

A todos los tratamientos evaluados se les aplicó un total de 66 riegos durante todo el ciclo del cultivo, correspondiendo una lámina total de 126.7 cm (12 760 m³ ha⁻¹) al tratamiento testigo R100% con y sin hidrogel, mientras que a los tratamientos con el uso de DR50% se le aplicó

una lámina total de 97.9 cm ($9\ 790\ m^3\ ha^{-1}$) lo que representa una reducción de 28.7 cm ($2\ 870\ m^3\ ha^{-1}$) con respecto al tratamiento del productor regional, siendo 22.7% menor el volumen de agua aplicado con el déficit de riego. Al respecto, Grijalva *et al.* (2016) menciona que, en una evaluación similar, con la aplicación de un DR50% en olivo, obtuvo una disminución en lámina de riego de 21.6 cm.

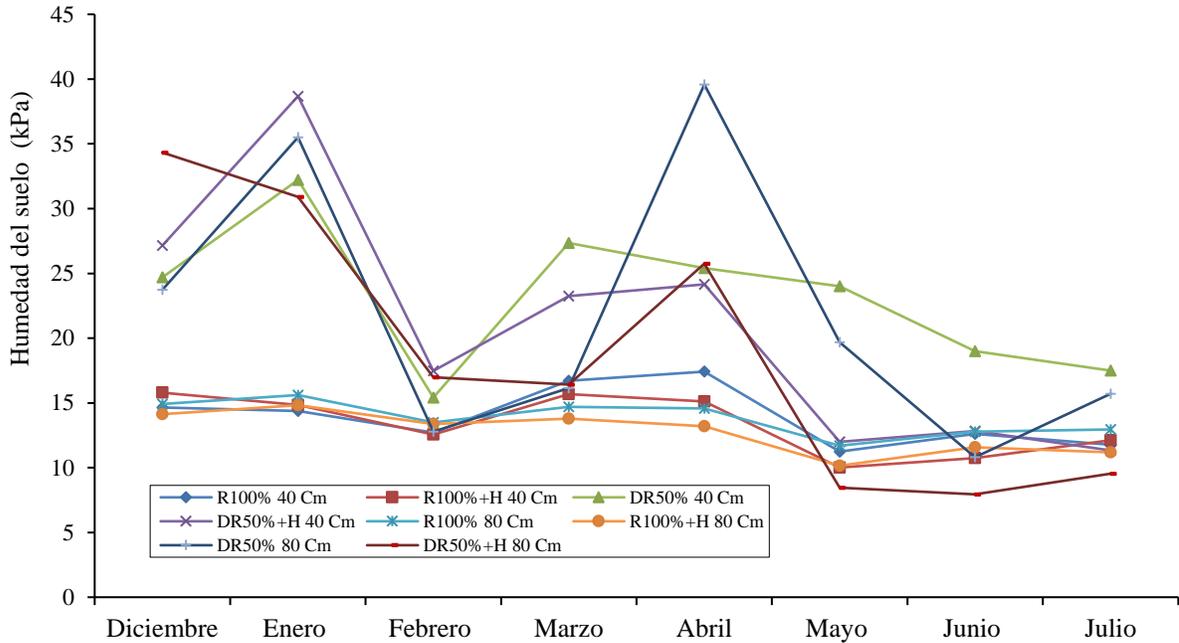


Figura 1. Humedad del suelo mensual de cuatro tratamientos de riego a dos profundidades.

Considerando que en la región se encuentran establecidas 1589 has con el cultivo del olivo (SIAP, 2014), las cuales son regadas con la tecnología tradicional del productor regional. En la producción de olivo en la región, es factible reducir la extracción de agua del acuífero, con el uso de la tecnología evaluada en el presente trabajo, en un volumen aproximado de $4\ 576\ 320\ m^3$ anuales, lo cual representa un importante ahorro de agua considerando las condiciones de escases de este recurso en esta región.

Rendimiento

Con la aplicación del DR50% la reducción de humedad no afectó el rendimiento con respecto al testigo, lo cual concuerda con lo mencionado por (Goldhamer, 1999; Vita *et al.*, 2011). Los rendimientos fueron estadísticamente iguales para todos los tratamientos, con una producción de $72.2\ kg\ ha^{-1}$ para el DR50% contra $74.2\ kg\ ha^{-1}$ para el testigo R100%. Por otro lado, la adición de hidrogel no presentó un efecto positivo en el incremento del rendimiento ya que en ambos niveles de humedad no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos con y sin aplicación de hidrogel (Cuadro 4), lo cual no concuerda con lo indicado por Rivera *et al.* (2007); López *et al.* (2013); Rodríguez (2017) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Rendimiento y peso de fruto correspondiente a cuatro tratamientos en olivo cultivar ‘Manzanilla de Sevilla’.

Tratamiento	Rendimiento (kg árbol ⁻¹)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
R100% + H	92.5 a ^z	18.5 a ^z
R100%	74.2 a	14.8 a
DR50% + H	73.2 a	14.6 a
DR50%	72.2 a	14.4 a

^z= medias con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS 5%).

Calidad

El peso, diámetro, longitud de fruto y la relación pulpa-hueso, no fueron afectados por la aplicación del déficit de riego, el análisis estadístico no detectó diferencias entre los tratamientos evaluados en cada uno de los parámetros medidos, lo cual concuerda con lo mencionado por (Goldhamer, 1999; Vita *et al.*, 2011). Lo mismo sucedió con la aplicación de hidrogel al suelo. La aplicación de este polímero no mejoró los valores de los cuatro parámetros y éstos no presentaron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 5), lo cual no concuerda con lo mencionado por López *et al.* (2013).

Cuadro 5. Peso de fruto, diámetro de fruto, longitud de fruto y relación pulpa hueso correspondiente a cuatro tratamientos de riego en el cultivo del olivo cultivar ‘Manzanilla de Sevilla’.

Tratamiento	Peso de fruto (g)	Diámetro de fruto (cm)	Longitud de fruto (cm)	Relación pulpa/hueso
R100%+H	3.5 a ^z	1.71 a ^z	2.2 a ^z	3.45 a ^z
R100%	3.4 a	1.69 a	2.15 a	3.43 a
DR50%+ H	3.7 a	1.72 a	2.21 a	3.43 a
DR50%	3.4 a	1.7 a	2.14 a	3.4 a

^z= medias con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS 5%).

Conclusiones

El déficit de riego al 50% no afecto el rendimiento y calidad en el cultivo del olivo.

Con la aplicación del déficit de riego es factible reducir 28.8 cm (2 880 m³ ha⁻¹) la lámina aplicada por el productor.

La aplicación de hidrogel no afectó el contenido de humedad en el suelo, tampoco el rendimiento ni la calidad del olivo.

Literatura citada

- Albuquerque, J. A. C.; De Lima, V. L. A.; Menezes, D.; Azevedo, C. A. V.; Dantas, J. and Da Silva, J. G. 2009. Características vegetativas do coentro submetido a doses do polímero hidroabsorvente e lâminas de irrigação. *Rev. Bras. Engenharia Agríc. Amb.* 13(6):671-679.
- Alegre, S.; Girona, J.; Marsal, J.; Arbonés, A.; Mata, M.; Montagut, D.; Teixido, F.; Motilva, M. J. and Romero P. 1999. Regulated deficit irrigation in olive tree. *Acta Hortic.* 474:373-376.
- Alegre, S.; Marsal, J.; Mata, M.; Arbonés, A.; Girona, J. and Tovar, M. J. 2002. Regulated deficit irrigation in olive trees (*Olea europaea* L. Cv. Arbequina) for oil production. *Acta Hortic.* 586:259-262.
- Azzam, R. A. I. 1983. Polymeric conditioner gels for desert soils. *Communication Soil Science Plant* 14:739-760.
- Baasiri, M.; Ryan, J.; Muckeih, M. and Harih, S. N. 1986. Soil application of a hydrophilic conditioner in relation to moisture, irrigation frequency and crop growth. *Soil Sci.* 17:573-589.
- Barón, A.; Barrera, I. X.; Boada, L. F. y Rodríguez, G. Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales. *Rev. Ing. Invest.* 27(3):35-44.
- Behboudian, M. H. 1997. Deficit irrigation in deciduos orchard. *Horticultural Review.* 21:105-131.
- Bres, W. and Weston, L. A. 1993. Influence of gel additives on nitrate, ammonium, and water retention and tomato growth in a soilless medium. *Hortic. Sci.* 28(10):1005-1007.
- Choudhary, M. I.; Al, O. A. M. and Shalaby, A. A. 1998. Physical properties of sandy soil affected by soil conditioner under wetting and drying cycles. *Agric. Sci.* 3(2):69-74.
- Cotthem, V.; Lehtonen, H. S.; Rotter, R. P. and Kahiluoto, M. H. 1991. Hydrogel devices in agriculture. *Soil Technol.* 183-189 pp.
- Fitzpatrick, C. S. B.; Fradin, E. and Gregory, J. 2004. Temperature effects on flocculation, using different coagulants. *Water Sci. Technol.* 50(12):171-175.
- Goldhamer, 1999. Regulated deficit irrigation for California canning olives. 1999. *Acta Hortic.* 474:369-372.
- Grijalva, C. R. L.; Navarro, A. J. A. C. y Fimbres, F. A. 2010. El cultivo del olivo bajo condiciones desérticas del Noroeste de Sonora. SAGARPA-INIFAP-CECH-CECAB. Folleto técnico núm. 41. 100 p.
- Grijalva, C. R. L.; Aguilar, S. J. C.; Macías, D. R.; López, C. A.; Robles, C. F. y Valenzuela, R. M. J. 2016. Efecto del déficit de riego sobre la productividad, calidad y uso del agua en olivo (*Olea europea* L.) bajo ambiente cálido y árido de México. *In: XIX Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas.* Mexicali, BC. 738-742 pp.
- Henderson, J. C. and Hensley, D. L. 1986. Efficacy of a hydrophilic gel as a transplant aid. *Hortic. Sci.* 21(4):991-992.
- Idrobo, H.; Rodríguez, A. M. y Díaz, J. E. 2010. Comportamiento del hidrogel en suelos arenosos. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente.* 9:33-37.
- Kant, A. C. and Turan, M. 2011. Hydrogel substrate alleviates salt stress with increase antioxidant enzymes activity of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress. *Afr. J. Agric. Res.* 6(3):715-724.
- Katime, I. A. 2003. Hidrogeles inteligentes. *Rev. Iberoam. Polímeros.* Bilbao, España. 42 p.
- Kazanskii, K. and Dubroskii, S. 1991. Chemistry and physics of agricultural hidrogels. *Adv. Polym. Sci.* 104:97-133.

- Lamont, G. P. and O'Connell, M. A. 1987. Shelf-life of bedding plants as influenced by potting media and hydrogels. *Sci. Hortic.* 31:141-149.
- Lavee, S. and Woonder, M. 1991. Factor affecting the nature of oil accumulation in fruit of olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *J. Hortic. Sci.* 66:583-591.
- López, E. J.; Huez, L. M. A.; Rueda, P. E. O.; Jiménez, L. J.; Rodríguez, J. C.; Romero, E. L. K. and Dávila, F. X. 2013. Evaluación de un polímero hidrófilo en chile Anaheim (*Capsicum annum* L.) cultivado en invernadero. *Terra Latinoam.* 31(2):115-118.
- López, E. J.; Garza, O. S.; Jiménez, L. J.; Huez, L. M. A. and Garrido, L. O. 2016. Uso de un polímero hidrófilo a base de poli(acrilamida) para mejorar la eficiencia en el uso del agua. *Eur. Sci. J.* 12(15):160-175.
- Mikkelsen, R. L.; Behel, A. D. and Williams, H. M. 1993. Addition of gel-forming hydrophilic polymers to nitrogen fertilizer solutions. *Fertilizer Res.* 36:55-61.
- Mikkelsen, R. L.; Behel, A. D. and Williams, H. M. 1995. Using hydrophilic polymers to improve uptake of manganese fertilizers by soybeans. *Fertilizer Res.* 41:87-92.
- Moriana, A.; Pérez, L. D.; Gómez, R. A.; Salvador, M.; Olmedilla, N.; Ribas, F. and Fregapane G. 2007. Irrigation scheduling for traditional, low density orchard: water relation and influence on oil characteristics. *Agric. Water Management.* 87:171-179.
- Nissen, J. 1994. Uso de hidrogeles en la producción de frambuesas (*Rubus idaeus*) del sur de Chile. *Agro Sur.* 22(2):160-164.
- Olivares, S. E. 2016. Paquete de diseños experimentales FAUANL. Versión 2.7. Facultad de Agronomía UANL. Marín, NL, México.
- Orts, W. J.; Roa, E. A.; Sojka, R. E.; Glenn, G. M.; Iman, S. H.; Erlacher, K. and Pedersen, J. S. 2007. Use of synthetic polymers and biopolymers for soil stabilization in agricultural, construction, and military applications. *J. Materials Civil Eng.* 19(1):58-66.
- Orzolek, M. D. 1993. Use of hydrophylic polymers in horticulture. *HortTechnol.* 3(1):41-44.
- Patumi, M.; Dandria, R.; Fontanazza, G.; Morelli, G.; Giori, P. and Sorentino, G. 1999. Yield and oil quality of intensive trained trees of three cultivars of olive (*Olea europaea* L.) under different irrigation regimens. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 74:729-737.
- Payan, O. S.; Morales, M. A.; Valdez, G. B.; Martín, R. M. H. and Ibarra, F. F. A. 2013. Programa de riego en vid (*Vitis vinifera* L.) de mesa 'Perlette' y 'Sugraone' con sensores de humedad. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 19(2):163-172.
- Rivera, C. A.; Baeza, C. A. y Chavarriaga, W. 2007. Efecto de un retenedor de agua y dosis crecientes de fertilizantes foliares sobre la producción de tomate chonto y larga vida bajo cubierta plástica agroclear. *Agron.* 15(1):103-119.
- Robles, C. F. 2001. Análisis climatológico de la región de Caborca, Sonora. Ciclo P-V 2001-2001. Reporte Técnico. INIFAP-CIRNO-CECAB. Caborca, Sonora, México. 7 p.
- Rodríguez, M. A. G. 2017. Evaluación de un hidrogel y ácido salicílico durante el crecimiento, desarrollo y rendimiento de un cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo invernadero. Tesis Universidad Autónoma Antonio Narro. División de Agronomía. Departamento de botánica. 61 p.
- Rojas, B.; Aguilera, R.; Prin, J. L.; Cequea, H.; Cumana, J.; Rosales, E. y Ramírez, M. 2004. Estudio de la germinación de semillas de tomate en suelos áridos extraídos de la península de Araya (Venezuela) al utilizar polímeros de tipo hidrogeles. *Rev. Iberoam. Polímeros.* 5(1):17-27.
- Ross, C. W.; Sojka, R. E. and Foerster, J. A. 2003. Scanning electron micrographs of polyacrylamide-treated soil in irrigation furrows. *J. Soil Water Conservation.* 58(5):327-331.

- SIAP. 2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola por estado. <http://www.siap.gob.mx>.
- Sojka, R. E.; Entry, J. A. and Fuhrmann, J. J. 2006. The influence of high application rates of polyacrylamide on microbial metabolic potential in an agricultural soil. *Appl. Soil Ecol.* 32(2):243-252.
- Sojka, R. E.; Bjorneberg, D. L.; Entry, J. A.; Lentz, R. D. and Orts, W. J. 2007. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management. *Adv. Agron.* 92:75-162.
- Vita, S. F.; Pacheco, D.; Olguin, A.; Bueno, L.; Carelli, A. and Capraro, F. 2011. Effect of regulated deficit strategies on productivity quality and water use efficiency in a high density 'Arbequina' olive orchard located in an arid region of Argentina. *Acta Hort.* 888:81-88.
- Wang, Y. T. and Gregg, L. L. 1990. Hydrophilic polymers- their response to soil amendments and effect on properties of a soilless potting mix. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115(6):943-948.