

TÉCNICAS EXPERIMENTALES PARA EL CONTROL DE LA OPTIMIZACIÓN DEL RIEGO Y RECURSOS HÍDRICOS EN EL CONTEXTO DEL SUR DE ESPAÑA

JAVIER GONZÁLEZ PÉREZ¹

JOSÉ ANTONIO SILLERO MEDINA¹

JOSÉ JORGE GONZÁLEZ FERNÁNDEZ²

JOSÉ IGNACIO HORMAZA URROZ²

JOSÉ DAMIÁN RUIZ SINOGA¹

¹Instituto de Hábitat, Territorio y Digitalización. Universidad de Málaga. javigonzageo@gmail.com 0000-0001-8536-5129; jasillero@uma.es 0000-0002-7856-3239; sinoga@uma.es 0000-0002-2303-0881.

²Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea "La Mayora", 29750 Algarrobo-Costa, Málaga, jorgegonzalez-fernandez@eelm.csic.es 0000-0002-2120-6126; ji.hormaza@csic.es 0000-0001-5449-7444

Resumen. La escasez de recursos hídricos es uno de los principales problemas a los que se enfrenta la sociedad actual. Este hecho adquiere una mayor relevancia en áreas mediterráneas y en un contexto de cambio climático, donde confluyen actividades muy demandantes como el turismo y, cada vez en mayor medida, la agricultura de regadío. Por ello, existe una necesidad de poner en marcha una serie de mecanismos de adaptación que ayuden a reducir y optimizar dicho gasto, como pueden ser la regeneración de aguas, la desalación una digitalización del agro, un control edáfico del riego, los umbrales hidrológicos del suelo o la monitorización mediante sondas de humedad. En este sentido, el objetivo de este estudio consiste en diseñar un sistema de monitoreo para evaluar las repercusiones agrícolas de la aplicación de diferentes tipos de riego en cultivos subtropicales, implementado en una parcela experimental del Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea "La Mayora" (Málaga). Detalladamente, analiza la dinámica pluviométrica en un ambiente mediterráneo de condiciones climáticas secas-semiáridas y su incidencia en la dinámica hidrológica del suelo.

Palabras clave: subtropicales, mediterráneo, cambio climático, riego, suelos.

EXPERIMENTAL TECHNIQUES FOR THE CONTROL OF THE OPTIMIZATION OF IRRIGATION AND WATER RESOURCES IN THE CONTEXT OF SOUTHERN SPAIN

Abstract. The scarcity of water resources is one of the main problems facing society today. This fact is even more relevant in Mediterranean areas and in a context of climate change, where very demanding activities such as tourism and, to an increasing extent, irrigated agriculture converge. Therefore, there is a need to implement a series of adaptation mechanisms that help to reduce and optimise this expenditure, such as water regeneration, desalination, digitisation of agriculture, soil control of irrigation, hydrological thresholds of the soil or monitoring by means of humidity probes. In this regard, the objective of this study is to design a monitoring system to evaluate the agricultural repercussions of the application of different types of irrigation in subtropical crops, implemented in an experimental plot of the Institute of Subtropical and Mediterranean Horticulture "La Mayora" (Málaga). In detail, it analyzes the rainfall dynamics in a

Mediterranean environment with dry-semiarid climatic conditions and its impact on the soil hydrological dynamics.

Keywords: subtropicals crops, mediterranean, climate change, irrigation, soils.

1. INTRODUCCIÓN

La escasez de recursos hídricos, en un contexto de crisis climática, es uno de los principales problemas a los que se enfrenta la región mediterránea en la actualidad (IPCC, 2021). Las diferentes proyecciones recogidas en el último informe del IPCC establecen diferentes escenarios futuros de cambio climático que señalan al área mediterránea como una de las de mayor fragilidad e incertidumbre bajo el paradigma de Cambio Global (hotspot). No obstante, han sido muchas las investigaciones que ha puesto su foco en este aspecto de gran relevancia, destacando el papel de los eventos climáticos extremos en el entorno del Mar Mediterráneo (Ruiz-Sinoga et al. 2012; Olcina, 2020).

En lo relativo a los indicadores vinculados con el riesgo del agua, se ha descrito un doble patrón (Sillero-Medina et al., 2019, 2021), por un lado, (i) un notable incremento de la recurrencia del número de eventos torrenciales a escala diezminutal y; por otro lado, (ii) un aumento de la intensidad o frecuencia de las sequías, especialmente los veranos xéricos, que actúa como factor limitador para la productividad y los valores ecológicos y económicos de los ambientes mediterráneos analizados (Guillot et al. 2019; Lobo Do Vale et al. 2019). A esta casuística es fundamental añadir que el área mediterránea ha experimentado en las últimas décadas una extraordinaria modificación de su dinámica territorial, con un importantísimo incremento de la presión antrópica (aumento de la población, turismo, desarrollo urbanístico), y un significativo aumento de los espacios agrícolas de regadío (Ibarra Marinas et al, 2017, Sotelo y Sotelo, 2018; Yus-Ramos et al., 2020). Es por ello por lo que hay que entender que la dinámica territorial futura de esta región va a estar totalmente condicionada, además de por las modificaciones vinculadas al cambio climático, por la demanda hídrica de estas actividades antrópicas (Garau et al., 2020).

En esta línea, el sector agroalimentario sería uno de los más perjudicados en el contexto climático (Resco, 2022). El agua es el principal factor limitante que determina la producción y estructura de las comunidades vegetales (Terrada 2001). Así, entender los cambios en el equilibrio hídrico del suelo y, por tanto, la disponibilidad de agua para las plantas es de gran relevancia para los ecosistemas de mayor susceptibilidad, entre los que se incluye el Mediterráneo (Olcina-Cantos 2017). El control de la humedad del suelo y su relación con la disponibilidad de agua para la vegetación se hace totalmente necesario. Este conocimiento resultaría de gran utilidad de cara a generar estrategias vinculadas con la optimización de riego y, en definitiva, para el desarrollo de acciones de gestión que reduzcan las vulnerabilidades económicas y ambientales vinculadas con este sector agrícola (Guo et al. 2019; He et al. 2017).

Por su parte, el cultivo de subtropicales en España y otros países mediterráneos se ha incrementado en los últimos años debido a un aumento exponencial de la demanda. De hecho, la producción de cultivos de frutas subtropicales, como el mango, se ha convertido en uno de los pilares fundamentales de la economía local en las zonas rurales de las provincias de Málaga y Granada, tanto en términos monetarios como laborales (Yus-Ramos et al., 2020). Sin embargo, los crecientes problemas de disponibilidad de agua identificados han generado la necesidad de poner en marcha mecanismos de adaptación en estos entornos, considerando que estas modificaciones en la disponibilidad hídrica podrían poner en peligro la producción y sostenibilidad de numerosos cultivos de regadío.

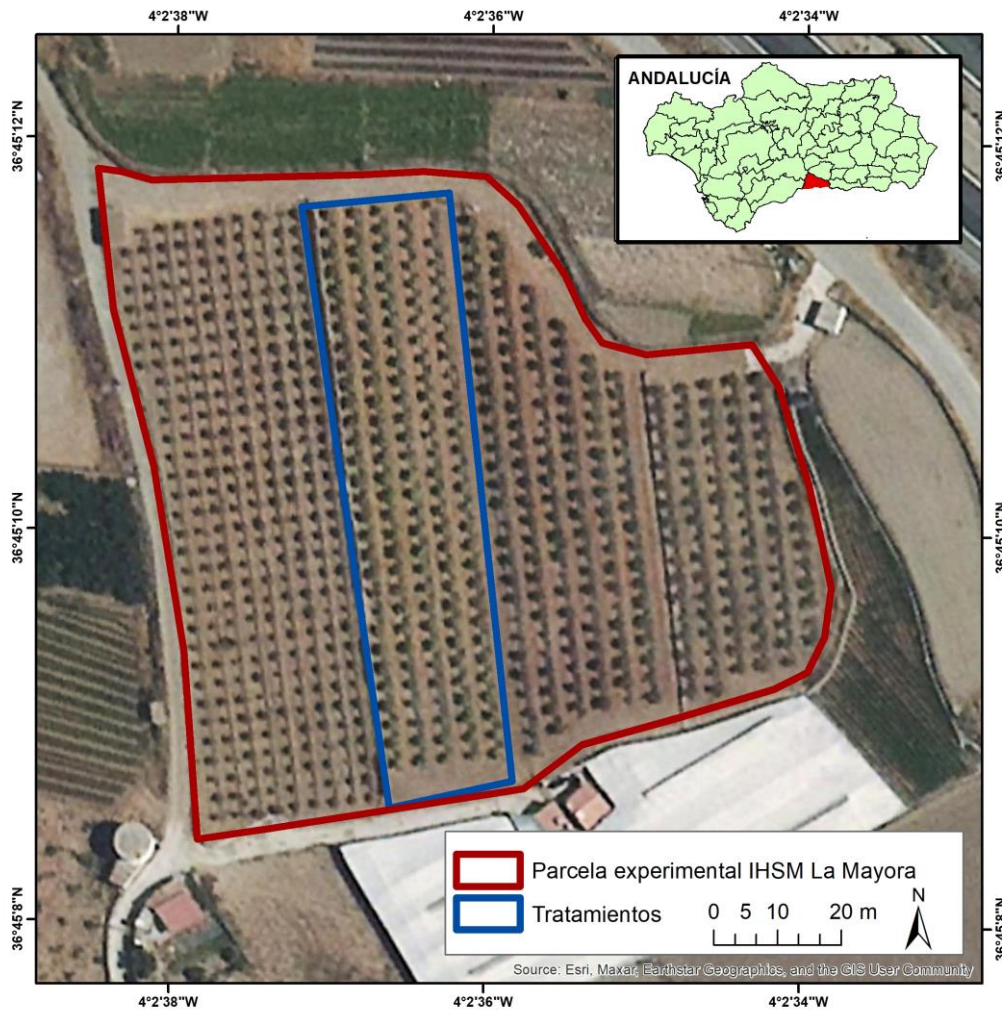
Tras las consideraciones aportadas, el objetivo principal de este trabajo pasa por poner en marcha una estrategia de optimización de recursos hídricos en cultivos de regadío. Para ello, como objetivos específicos, esta investigación (i) analiza la dinámica pluviométrica en un ambiente mediterráneo de condiciones climáticas secas-semiáridas; y, por último, a partir del diseño de tres tratamientos de riego contrastados, (ii) determina la dinámica hidrológica del suelo y su afcción en los niveles de producción del propio cultivo. Su consecución supondría una importante contribución a grandes compromisos globales, como los incluidos en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Agenda 2030) y, además, respondería a prioridades y objetivos a nivel europeo asociados a políticas como el Pacto Verde Europeo.

2. METODOLOGÍA

2.1 Área de Estudio

Para llevar a cabo este estudio, se ha seleccionado una parcela de ensayo (Figura 1) perteneciente a la Estación Experimental del Instituto de Hortofrutícola Subtropical y Mediterránea "La Mayora" (UMA-CSIC), emplazada en el municipio de Algarrobo, en la comarca malagueña de la Axarquía. Esta parcela presenta una superficie total de 0,86 hectáreas y se encuentra cultivada en su totalidad con mangos adultos. Los árboles usados en este ensayo pertenecen a la variedad 'Keitt' injertados sobre 'Gomera 4',

Figura 1. Localización de la parcela experimental en el IHSM La Mayora (Málaga)



Fuente: Elaboración propia

A grandes rasgos, el área en el que se localiza dicha parcela presenta unas condiciones típicas del clima mediterráneo seco-semiárido, con temperatura media anual alrededor de los 17°C y unas precipitaciones anuales de 400-450 mm, caracterizadas por su patrón irregular. Así, desde esta perspectiva climática, este territorio se encuentra catalogado como un punto crítico y de gran sensibilidad en el contexto del cambio global (IPCC, 2021), hecho que ha motivado e incentivado el interés por su investigación.

En este sentido, es fundamental atender la tradición agrícola de la Axarquía, a día de hoy articulada por la fuerte expansión de los cultivos subtropicales de las últimas décadas. Este hecho ha configurado un paisaje único, especialmente alrededor de las cuencas del río Vélez y Algarrobo, que funcionan como ejes vertebradores de los regadíos de la comarca. Atendiendo a su superficie en regadío, ya en el año 2017, según recoge Yus-Ramos et al. (2020), existía una superficie de 12.989,96 hectáreas, de las cuales más

del 75% se correspondía con cultivos subtropicales. Del mismo modo, es destacable (i) el fuerte impacto territorial de esta actividad agrícola, que ha configurado a la agroindustria de los subtropicales como un pilar clave en la economía local de estas zonas rurales-costeras y (ii) la incidencia directa que ha producido en la disponibilidad de recursos hídricos de este territorio en cuestión.

2.2 Dinámica pluviométrica

El análisis de la dinámica pluviométrica se ha realizado a partir de los datos obtenidos de la Red S.A.I.H Hidrosur para un total de 7 estaciones meteorológicas (Santon Pitar, Alcaucín, Viñuela, Colmenar, Alfarnatejo, Benamargosa y Depuradora del Trapiche), todas ellas inmediatas a la comarca de la Axarquía. La serie de datos comprende el periodo de 1997 a 2021, con un nivel de detalle diezminutal.

2.3 Diseño experimental

A nivel de parcela, se ha ejecutado un diseño experimental en el que se han propuesto tres tipos de tratamientos destinados a la optimización del riego. Así, cada tratamiento ha sido desarrollado en una hilera diferente, todas ellas con un total de 30 árboles de las mismas características. Detalladamente, los tres tratamientos han sido:

- Tratamiento 1: Basado en un riego convencional superficial por goteo, sin restricciones, al 100%. Este tratamiento obtiene un total de 58.503 litros anuales.
- Tratamiento 2: Bajo un riego convencional por goteo superficial, con una restricción aproximada de un 35%, es decir, con una reducción hídrica del 65%. De este modo, este tratamiento consume un total de 22.109 litros anuales.
- Tratamiento 3: A partir de riego de goteo subterráneo en profundidad, con una restricción similar al tratamiento 2 (al 35 %). Este tipo de riego presenta un carácter localizado, con un sistema que pretende llevar el riego al interior del área radicular del árbol.

2.4 Monitorización del estado hidrológico del suelo

Para conocer de forma continua la dinámica hidrológica del suelo, se han instalado un total de tres sondas de humedad por capacitancia HOB0, una por cada tratamiento descrito. Además, para tener una visión más completa del perfil del suelo y su estado de humedad, se han introducido tres sensores en cada punto, distinguiendo diferentes profundidades (0-5 cm, 5-10 cm y 15-20 cm). Los datos registrados se emiten de forma inalámbrica, teniendo una periodicidad de los datos de humedad del suelo a escala horaria con una duración desde diciembre 2022 a febrero 2023.

2.5 Producción de cultivo

La evaluación de la producción se ha analizado a partir de la recogida directa de datos de producción de mango de la campaña de cultivo 2022 en la parcela experimental. En el proceso se ha diferenciado cada uno de los tratamientos descritos en el punto 1.3 (riego superficial tradicional al 100 %, riego superficial al 35 % y riego en profundidad al 35 %). Los datos recogidos en el proceso han sido: (i) número total de frutos por árbol (unidades); (ii) número total de frutos abortados en la línea (unidades); (iii) el peso promedio (g); (iv) longitud (cm); (v) anchura (cm), (vi) grosor (cm); (vii) los grados Brix de la pulpa y (viii) la acidez titulable (ml de NaOH).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

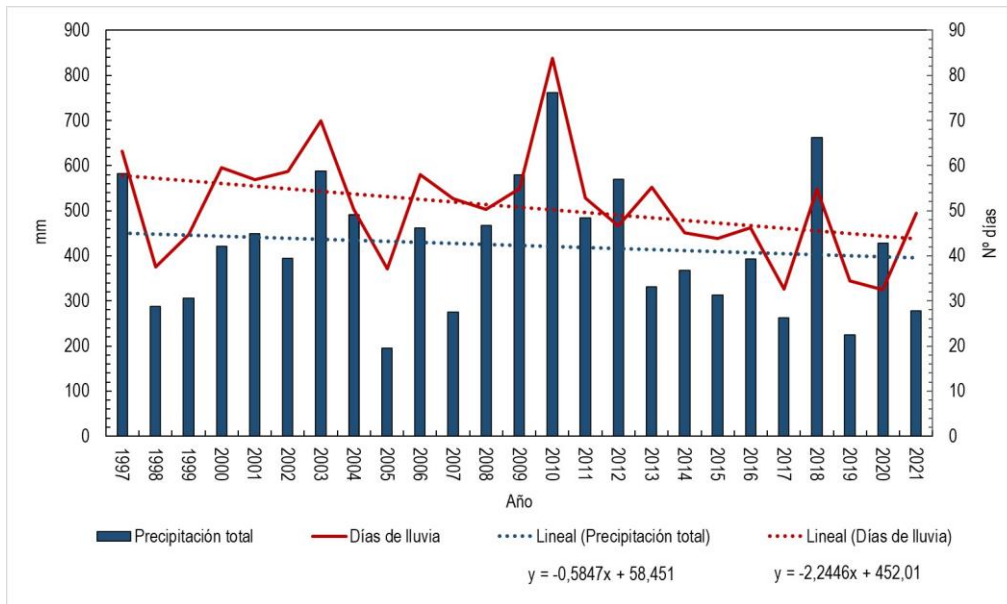
El patrón pluviométrico es una de las variables con mayor incidencia en los procesos eco-geomorfológicos en el área mediterránea (Sillero-Medina et al., 2019). La Figura 2 representa la evolución de precipitaciones anuales para el periodo 1997-2021 en la comarca de la Axarquía, con una gran clara irregularidad interanual, típica de condiciones climáticas mediterráneas.

A esta casuística, cabría añadir la tendencia decreciente tanto en valores de precipitación anual como en los días de lluvia del área seleccionada. La figura 3 muestra la evolución de las precipitaciones anuales,

los valores medios son $422 \pm 53,39$ ($CV > 12,6\%$), los registros son muy variables, en el año inicial 1997 con 581,77 mm, llegando a sus máximos en el año 2010 con 761,96 y mínimos de apenas 195,33 en 2005. Respecto a días de lluvia los valores promedios son $51,65 \pm 6,27$ ($CV > 12,1\%$), con valores máximos en el año 2010 con 83,86 y por último lugar, los mínimos con 32,43 en el año 2020. Esto nos indica que en el contexto del área de estudio se están produciendo cambios hacia una concentración de las precipitaciones en un menor número de días con una mayor variabilidad espaciotemporal. (IPCC, 2021).

Este hecho genera una gran incertidumbre de cara a la disponibilidad de agua, por lo que la planificación y la gestión hídrica debe considerarse como una tarea fundamental en este tipo de condiciones, considerando al agua como factor limitante en la producción y crecimiento de las plantas (Olcina-Cantos, 2017).

Figura 2. Evolución de la dinámica pluviométrica entre 1997-2021 en la comarca de la Axarquía



Fuente: Red S.A.I.H Hidrosur. Elaboración propia.

Tras observar la dinámica pluviométrica del contexto comarcal de la Axarquía, se produce una disminución de precipitaciones y, por consiguiente, reducción de los recursos hídricos disponibles en el territorio. Este suceso contrasta con la tendencia de cambios de usos existente, hacia el constante aumento de cultivos de regadío subtropicales como el aguacate y el mango, demandantes de gran cantidad de agua para su viabilidad. En la Axarquía, se ha reconvertido una gran superficie de secano a regadío, en gran medida por la falta de competitividad con mercados internacionales desde finales del siglo XX, más allá de la superficie regable que se contempla en el Plan Guaro y regulada por el Embalse de la Viñuela. (Yus Ramos et al, 2020). Esto produce una situación compleja, por tanto, es necesario desarrollar una serie de técnicas experimentales hacia la optimización de los recursos hídricos disponibles para gestionarlos de forma sostenible. En el caso de este estudio, se centra mediante tres tipos de riego diferentes en determinar la dinámica hidrológica del suelo y su afección a niveles de producción del cultivo.

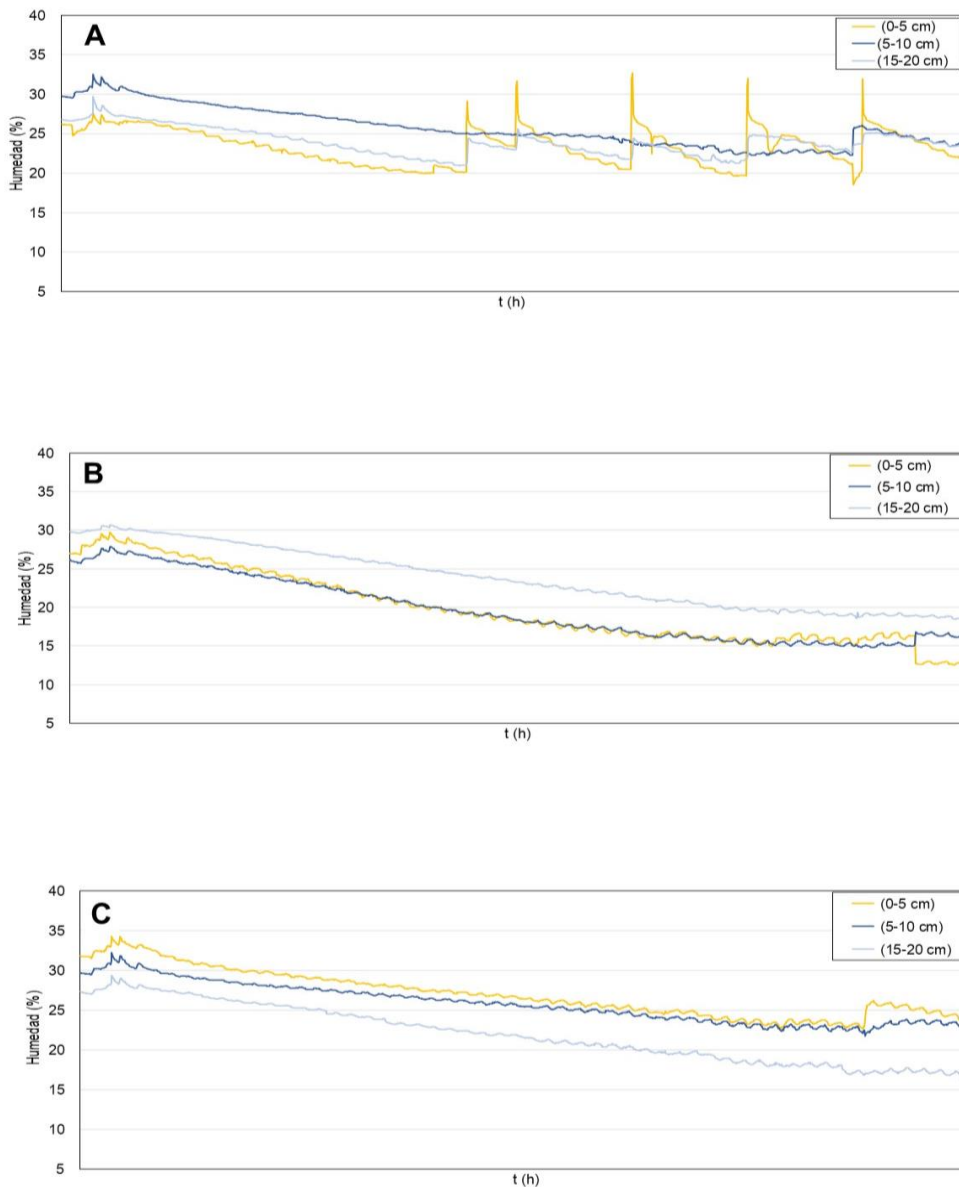
Tabla 1. Características de producción por tipo de riego en cultivo de mango

Tratamiento	Número total de frutos por árbol	Número total de frutos abortados en la línea de cultivo	Peso promedio (g)	Longitud (cm)	Anchura (cm)	Grosor (cm)	Grados Brix	Acidez titulable (ml de NaOH)
1	50,7	45	487,4	11,89	8,83	7,69	17,74	11,3
2	53	120	380,9	12,38	9,29	8,11	18,80	8,3
3	43,1	124	417,5	11,38	8,33	7,55	18,60	8,2

Leyenda: Tratamiento 1 = Superficial 100%, Tratamiento 2 = Superficial 35 % y Tratamiento 3 = Profundidad 35 %.
Fuente: IHSM La Mayora

En la Tabla 1, se puede observar que los tratamientos con riego deficitario sufrieron descensos medios de cosecha por árbol entre el 20 y el 25%, lo que, siendo relevante, ha permitido mantener una producción significativa e indica la aptitud de esta especie para someterse, al menos circunstancialmente, a reducciones drásticas de riego, en línea con que señalan Lipan et al. (2021). Respecto a las modalidades de riego, en ambos casos el factor productivo más afectado fue el tamaño de fruto, aunque en el caso del riego subterráneo también se redujo el número de frutos, por lo que, en este caso, no supuso una ventaja frente al riego superficial, excepto en el control de la flora arvense en la línea de cultivo, lo que podría ser de interés especialmente para la producción ecológica. La restricción del aporte de agua también aumentó el número de frutos abortados, siendo muy similar en las dos modalidades de riego. En cuanto a la calidad de la fruta, el riego deficitario apenas produjo cambios significativos en la forma del fruto, aunque, en ambos casos, aumentó ligeramente el contenido en azúcares, medidos por grados Brix, y disminuyó de forma apreciable la acidez, lo que, en algunos mercados, puede aumentar su precio por el consumidor...

Figura 3. Evolución del estado de humedad del suelo (%) en los tres tratamientos



Leyenda: A = Tratamiento 1, B= Tratamiento 2 y C= Tratamiento 3
Fuente: Elaboración propia

Respecto a la figura 3, en el tratamiento 1 se observa como las sondas a una profundidad de 0-5 y 15-20 cm detectan los puntos de riego y reaccionan en forma de picos sobrepasando el 30 % de humedad mientras que a una profundidad de 5-10 cm se encuentra en cierta medida estabilizada en torno al 25 %. En el caso del tratamiento 2, se destaca la semejanza de las sondas más superficiales (0-5;5-10 cm), donde al principio del periodo de estudio obtienen un valor del 25 % hasta bajar en torno al 15 %. En el último tramo temporal de la gráfica se produce una remarcable diferenciación. Por un lado, la sonda de 0-5 cm aumenta ligeramente, mientras que 5-10 cm baja hasta valores cercanos al 13%. Por su lado, esta sonda, en la mayor profundidad, detecta una dinámica parecida, pero con valores superiores a las dos anteriores mencionadas. El punto máximo supera ligeramente el 30 %, mientras tanto, el mínimo se corresponde al final del periodo con un valor entorno al 19 %. En cuanto al tratamiento 3, las sondas más superficiales identifican una humedad muy similar, donde en el primer tramo temporal muestra valores en el rango de 30-35 % de humedad. En su evolución temporal, estos valores disminuyen hasta llegar en torno al 23 %. Finalmente, la sonda a una profundidad de 15-20 cm detecta una reducción progresiva con máximos al inicio en torno al 30 %, mientras que el mínimo se encuentra sobre el 16 %. Una vez se han detallado los valores para cada tratamiento, se identifica que solo en el tratamiento 1 la sonda de 0-5 cm es capaz de detectar grandes variaciones, posiblemente coincidentes con periodos de riego.

4. CONCLUSIONES

La dinámica pluviométrica en la comarca de la Axarquía identifica una evolución hacia una reducción de las precipitaciones medias anuales y hacia una distribución de estas en un menor número de días, indicativo de una mayor concentración en episodios de mayor intensidad. Ante este paradigma, se prevé una reducción en la disponibilidad de recursos hídricos en este territorio, coincidente con incremento de la agricultura de regadío. Este hecho desemboca en mayor presión sobre este limitado recurso, generando una situación de gran fragilidad, donde la planificación territorial e hídrica se resalta como una tarea fundamental.

A partir de los datos de producción se observa la buena aptitud del mango para aplicar, al menos ocasionalmente, reducciones de riego sin grandes disminuciones de la producción, aunque se afecta al tamaño del fruto, por lo que, en principio, se debería pensar en aplicarlas a variedades con frutos grandes, como la utilizada en este ensayo, 'Keitt'. El uso de riego subterráneo, a priori bien adaptado a esta especie por su sistema radicular profundo, no ha supuesto, en el tratamiento deficitario, una mejora en la producción frente al riego superficial, aunque ha controlado mejor el crecimiento de la flora arvense en la línea de cultivo.

Respecto al estado hidrológico del suelo, las sondas de humedad continúan en proceso de medición para poder abarcar un mayor rango de tiempo y así, obtener con mayor precisión una serie de datos de mayor calibre. En este periodo se ha podido destacar que tan solo reacciona a los momentos de riego la situada en el tratamiento superficial sin restricciones y a la menor profundidad (0-5 cm), en el resto no se perciben grandes cambios.

5. AGRADECIMIENTOS

Este estudio forma parte del trabajo realizado en dos proyectos de investigación. Por un lado, "Adaptation of avocado cultivation to wáter and salinity stresses" incluido en los proyectos de Transición Ecológica y Transición Digital del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2021-2023 del Ministerio de Ciencia e Innovación. Por otro lado, dentro de los resultados del proyecto "Efecto de los cambios de uso del suelo en la dinámica eco-geomorfológica en ambientes mediterráneos, a diferentes escalas, en el contexto del Cambio Global (ECUDES)" (PID2019-104046RB-100), también financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación. Asimismo, parte de esta investigación ha sido posible gracias a la financiación obtenida de la Universidad de Málaga, a través del I Plan Propio de Investigación, Transferencia y Divulgación Científica.

6. REFERENCIAS

- Bermúdez, F. L. (2001). Cambio climático y desertificación, amenazas para la sostenibilidad de las tierras del Arco Mediterráneo: situación y perspectiva. Dialnet.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=236193>
- Garau, E.; Vila-Subirós, J.; Ribas Palom, A. (2020). Agua, turismo y servicios de los ecosistemas: el ciclo hidroturístico en la cuenca mediterránea. En: Escribano J., Peñarrubia M.P., Serrano J., Asins S. (eds): Desafíos y oportunidades de un mundo en transición. Una interpretación desde la Geografía. Tirant lo Blanc.
- Guillot, E., Hinsinger, P., Dufour, L., Roy, J., Bertrand, I. 2019. With or without trees: Resistance and resilience of soil microbial communities to drought and heat stress in a Mediterranean agroforestry system. *Soil Biol. Biochem.* 129:122–135.
- Ibarra Marinas, D., Belmonte Serrato, F., & Rubio Iborra, J. (2017). El impacto territorial del uso agrícola y turístico del litoral: evolución de los cambios de uso del suelo en las cuencas litorales del sur de la Región de Murcia (1956-2013). *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, (73).
<https://doi.org/10.21138/bage.2419>
- Iglesias, A., Estrela, T. & Gallart, F. (2005). Impactos sobre los recursos hídricos. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado 13 de octubre de 2022, de
https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/07_recursos_hidricos_2_tcm30-178498.pdf
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report.* Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. *Climate Change 2021. The Physical Science Basis.* Recuperado de
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf
- Lipan L, Carbonell-Pedro AA, Cárceles Rodríguez B, Durán-Zuazo VH, Franco Tarifa D, García-Tejero IF, Gálvez Ruiz B, Cuadros Tavira S, Muelas R, Sendra E, Carbonell-Barrachina ÁA, ¿Hernández F. Can Sustained Deficit Irrigation Save Water and Meet the Quality Characteristics of Mango? *Agriculture*. 2021; 11(5):448. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050448>
- Lobo Do Vale, R., Besson, C.K., Caldeira, M., Chaves, M.M., Pereira, J.S. 2019. Drought reduces tree growing season length but increases nitrogen resorption efficiency in a Mediterranean ecosystem. *Biogeosciences* 16:1265–1279
- Mateu, J., 2001: El medio físico valenciano. En *La periferia emergente. La Comunidad Valenciana en la Europa de las regiones.* J. Romero, A. Morales, J. Salom y F. Vera Coords. Ariel Geografía. Barcelona, 39-64.
- Olcina-Cantos, J. (2017). Incremento de episodios de inundación por lluvias de intensidad horaria en el sector central del litoral mediterráneo español: análisis de tendencias en Alicante. *Sémata Ciencias Sociais e Humanidades* 29:143–163.
- Olcina, J. (2020). Clima, cambio climático y riesgos climáticos en el litoral mediterráneo. Oportunidades para la geografía. *Documents d'Anàlisi Geogràfic*, 66(1), 159-182. Doi:
<http://dx.doi.org/10.5565/rev/dag.629>
- Resco Sánchez, P. (2022). *Empieza la cuenta atrás: Impactos del cambio climático en la agricultura española.* COAG
- Ruiz Sinoga, J.D., Martínez-Murillo, J.F., Gabarron-Galeote, M., 2012. Analysis of dry periods along a pluviometric gradient in Mediterranean southern Spain. *International Journal of Climatology*, 32, 1558-1571.
- Sillero-Medina, J.A., Hueso-González, P., Ruiz-Sinoga, J.D. (2019). La precipitación geomorfológica como elemento clave en el modelado del paisaje mediterráneo. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 82, 2780, 1-40. Doi: <http://dx.doi.org/10.21138/bage.2780>.
- Sillero-Medina, J.A.; Rodrigo-Comino, J.; Ruiz-Sinoga, J.D. (2021). Factors determining the soil available water during the last two decades (1997–2019) in southern Spain. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1971. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-021-08265-y>
- Sotelo Navalpotro, J. A., Sotelo Pérez, M. (2018). Consumo de agua y «Huella Hídrica» de las ciudades españolas. *Estudios geográficos*, 79(284), 115. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201805>

Yus Ramos, R., O. Carrillo Romero; V. Fernández Camacho & M.A. Torres Delgado (2020). *La burbuja de los cultivos subtropicales y el colapso hídrico en la Axarquía*. Gabinete de Estudios de la Naturaleza de la Axarquía (GENA), Vélez-Málaga.