



B-05

## ESTUDIO DE MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA EL OLIVAR DE RIEGO DE LA PROVINCIA DE JAÉN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS SIG

Pérez-Latorre, F.J. (1), [Peraqón, J.M. \(2\) \(P\)](#), Delgado, A.(3)

<sup>1</sup> Dr. Ingeniero Agrónomo. Área Mecánica de Fluidos. EPS. Campus Científico Tecnológico Universidad de Jaén, [fjperez@ujaen.es](mailto:fjperez@ujaen.es). Cinturón Sur s/n 23700 Linares (Jaén).

<sup>2</sup> Ingeniero Geomática y Topografía, [jpiuarez@ujaen.es](mailto:jpiuarez@ujaen.es). EPS. Campus Científico Tecnológico Universidad de Jaén. Cinturón Sur s/n 23700 Linares (Jaén).

<sup>3</sup> Dr. Ingeniero Agrónomo. Departamento de Ciencias Agroforestales, EUITA, Universidad de Sevilla, [adelgado@us.es](mailto:adelgado@us.es). Ctra. Utrera km 1, 41013 Sevilla.

### Resumen

El objetivo de este trabajo es el estudio, por medio de SIG, de la viabilidad de la utilización conjunta para el riego de olivar de aguas superficiales y subterráneas, para disminuir la salinización de acuíferos y los riesgos de contaminación por retornos de agua en la provincia de Jaén (sur de España). Se procede a evaluar las proporciones óptimas de los dos tipos de agua en función al umbral de salinidad a partir del cual puede afectar a la producción de la cosecha de olivar, y realizar mapas temáticos con el fin de evitar una acumulación excesiva de sal en el suelo. Se consideraron diferentes variables de la evaluación de riesgos, y un mapa temático para cada variable desarrollado por medio de análisis geoestadístico de los datos, utilizando el software de código abierto gvSIG.

La herramienta basada en GIS fue una estrategia capaz de realizar mapas de mezcla de agua superficial y subterránea para disminuir los riesgos de salinización. Con este trabajo se expone la posibilidad de solucionar la afección de las superficies regadas en sus cuencas vertiente, desde las que la escorrentía superficial puede arrastrar sustancias contaminantes hacia áreas permeables a las que recarga, mediante la mezcla de agua de distinta procedencia, minimizando el riesgo de afección y vulnerabilidad de las escorrentías superficiales y aguas subterráneas frente a la contaminación.

### 1) Introducción, objetivos

La calidad del agua de riego, y en particular su concentración de sal, pueden determinar dependiendo de la estrategia de riego, la posible degradación del suelo regado y un mayor consumo de agua. Efectos de la salinidad en el suelo se manifiestan en la pérdida de soporte, la reducción del crecimiento de la planta, reducción de los rendimientos, y en casos graves, pérdida de cosechas. Los problemas derivados de la salinidad, afectan a la productividad de algunos regadíos, siendo un problema incipiente en la provincia de Jaén.

El consumo continuado de agua para el riego en estos últimos años ha generado una disminución de las reservas. De esta manera el riego de la mayoría de las nuevas plantaciones de olivos, principalmente en zonas semiáridas (como en el presente trabajo), se surten de fuentes de baja calidad de agua con una relativa alta salinidad.

En el caso particular del olivo su respuesta frente a la salinidad ha sido estudiada por diversos autores (*Aragues et al, 2005; Bernstein, 1964; Gucci y Tattini, 1997; Maas y*

Hoffman, 1977; Munns, 1993; Wiesman et al., 2004; Fipps, 1996). Para disminuir el contenido de sales y cuando se tiene mala calidad de agua, la principal estrategia es la de evitar la acumulación de sales, provocando drenaje mediante la aplicación de una Fracción de Lavado (FL), que se estima en función de las características del agua y de la sensibilidad del cultivo. Si a la escasez de recursos se une la mala calidad del agua, queda muy limitada la posibilidad de aplicar FL de forma continua.

Los sistemas de información geográfica (SIG) pueden ser herramientas útiles para evaluar la calidad del agua de riego a escala regional y tomar decisiones para su manejo en el riego, como la estima de las proporciones de mezcla idóneas para un manejo más sostenible del agua de riego (Peragón et al., 2015).

El objetivo del presente trabajo es, mediante el empleo de los sistemas de información geográfica, optimizar la mezcla de aguas en el cultivo del olivo, previniendo el exceso de acumulación de sales solubles desde el punto de vista del ahorro de agua.

## 2) Materiales y Métodos

- **Área de estudio**

El estudio se lleva a cabo en la provincia de Jaén (sudeste de España), que cuenta con una extensión total de 1.348.900 has. Respecto a las masas de aguas subterráneas, se distribuyen en unidades hidrogeológicas con una superficie total en la provincia de unas 803.000 has (IGME, 2010).

La disponibilidad de agua de riego en la provincia de Jaén es limitada, siendo el factor limitante de la cosecha. La dotación de riego propuesta por el organismo regulador de la cuenca en el olivar es de 1500 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Pastor et al., 2002), aunque las dosis de riego son frecuentemente inferiores.

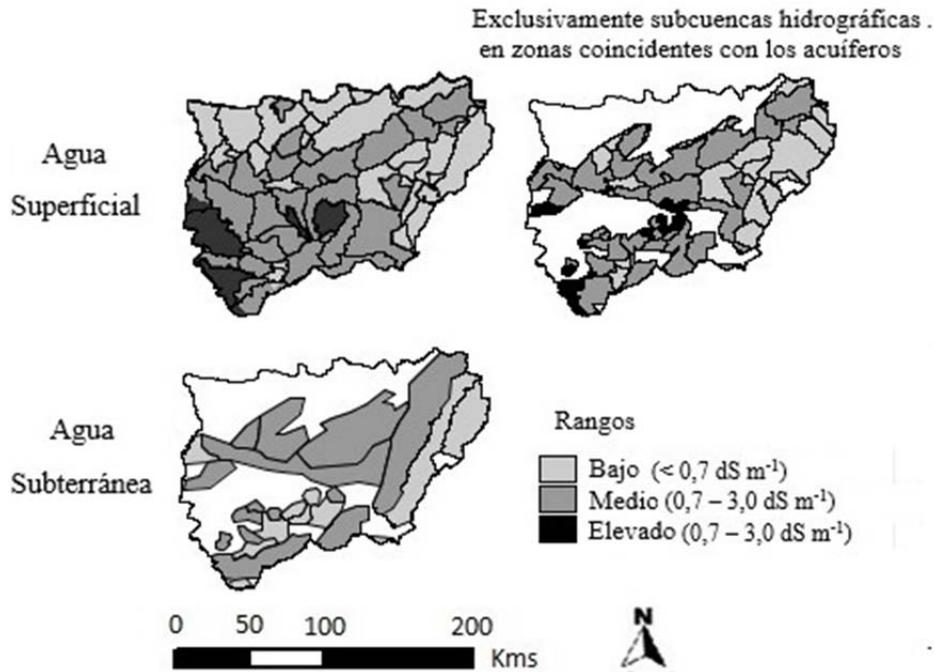
- **Conjunto de datos**

Los datos de conductividad eléctrica del agua de riego (CEa) se obtuvieron tanto para las aguas superficiales como para las aguas subterráneas, así las primeras fueron proporcionadas por la autoridad del agua de la cuenca del Guadalquivir (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, entre los años 1994-2013. Esta información se obtuvo de 66 estaciones. Con respecto a las subterráneas se recogieron de las 136 estaciones que corresponden a 26 unidades hidrogeológicas, facilitadas por el Instituto Nacional de Geología y Minería de España (IGME, 2010).

<http://www.chguadalquivir.es/opencms/portalchg/laDemarcacion/guadalquivir/calidadAguas/>

- **Modelo**

Se ha utilizado un modelo SIG elaborado en estudios previos en Peragón et al., (2015), al que se le podrán incorporar, mediante algoritmos matemáticos, los diferentes datos de conductividad del agua de riego inicial, tanto en aguas superficiales como en subterráneas, asociados a los distintos territorios, siendo posible que este modelo establezca las zonas en las que sería necesaria y posible la mezcla de aguas superficiales y subterráneas para conseguir una conductividad eléctrica menor. Mediante algoritmos matemáticos de rasterización ("rasterizar capa vectorial" y "cortar capas raster con capa de polígonos"), y posterior vectorización ("vectorizar capa raster"), del módulo Sextante del SIG se reduce el mapa temático de CE en aguas superficiales a la región que ocupan las masas de aguas subterráneas, aplicando la mezcla de aguas, con el empleo del algoritmo "calculadora de mapas" del SIG (Figura 1).

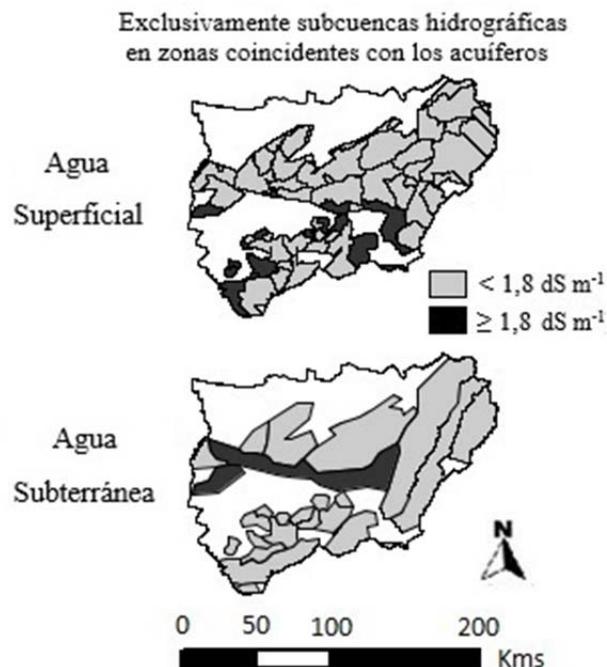


**Figura 1.** Mapas temáticos de salinidad (conductividad eléctrica del agua de riego)

La concentración de sales totales en la mezcla final, expresada en valores de Conductividad Eléctrica, CE, puede estimarse como la media ponderada entre las concentraciones de las aguas mezcladas:

$$C_f = [C_a (Q_a/Q_t)] + [C_b (Q_b/Q_t)] \quad (1),$$

donde  $C_f$  es la conductividad eléctrica final en la mezcla,  $C_a$  y  $C_b$  son respectivamente, las conductividades eléctricas del agua superficial "a" y del agua subterránea, "b" en  $dS m^{-1}$ ,  $Q_a$  y  $Q_b$ , serán las cantidades relativas de agua utilizada en tanto por uno, y  $Q_t$  la cantidad total de agua ( $Q_a + Q_b$ ) en tanto por uno.



**Figura 2.** Mapas temáticos de umbral de salinidad (salinidad de  $1,8 dS m^{-1}$ )

Para el presente estudio se establece una Conductividad Eléctrica umbral de  $1.8 \text{ dS m}^{-1}$ , (Maas y Hoffman, 1977; Fipps, 1996). El modelo SIG permitirá definir la superficie de olivar de riego de Jaén en la cual será posible aplicar la mezcla de aguas, con el requisito que la conductividad final sea igual o inferior al límite establecido (Figura 2). Este límite representa el umbral de la CE del agua de riego a partir del cual podrían verse afectado el olivo en su producción. En la misma se observa una zona donde no es posible aplicar esta metodología al no existir coincidencia geográfica entre la cuenca del acuífero y las subcuencas de aguas superficiales (Figura 3).

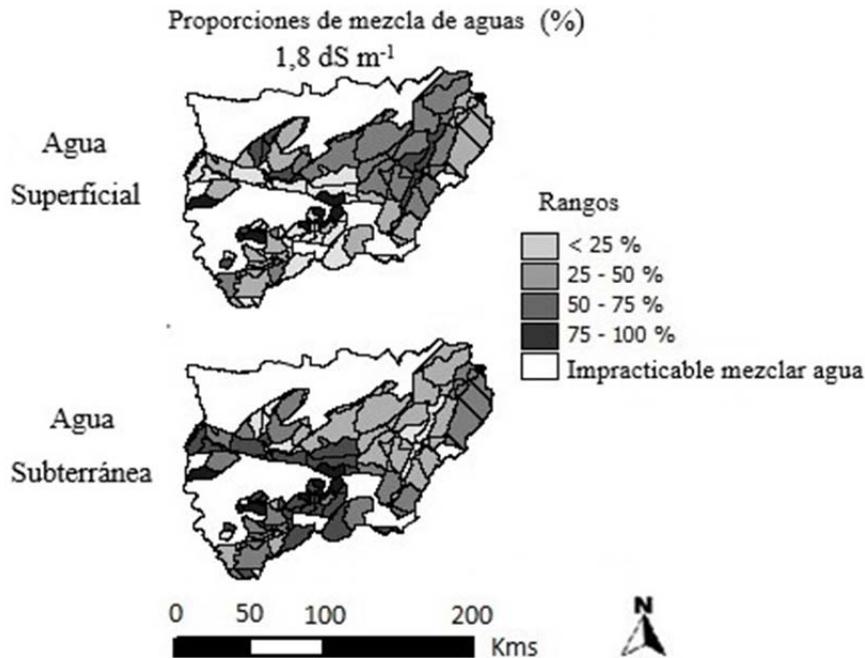


Figura 3. Mapas temáticos de proporciones de mezcla de aguas (salinidad de  $1,8 \text{ dS m}^{-1}$ )

### 3) Resultados y Discusión

- **Hidroquímicos**

Respecto a la conductividad eléctrica, en agua superficial, aproximadamente el 8% de la superficie provincial tiene un elevado riesgo de salinización. Con riesgo intermedio (riesgo potencial de salinización) se encuentra un 57,2%, que en aguas subterráneas es superior al 80% (Tabla 1, Figura 1).

**Tabla 1.** Conductividad eléctrica de las aguas superficiales y subterráneas, superficie y porcentaje afectado en la provincia de Jaén.

Variable	Rangos	Agua superficial		Agua Subterránea	
		Superficie Provincial (km <sup>2</sup> )	% Superficie Provincial	Superficie Provincial (km <sup>2</sup> )	% Superficie Provincial
CEa (dS m <sup>-1</sup> )	> 3.0	1064	7.9	-	-
	0.7 - 3.0	7716	57.2	6473	80.6
	< 0.7	4709	34.9	1557	19.4

CEa, Conductividad eléctrica del agua de riego conforme a Ayers y Westcot (1985);

- **Mezcla de aguas**

En la zona estudiada, (8030 km<sup>2</sup>) las calidades del agua de riego son similares entre ambas fuentes de agua. Así en las masas de agua subterráneas un 85% tiene niveles de CEa inferiores a 1,8 dS m<sup>-1</sup>, mientras que en las aguas superficiales un 86% tiene niveles inferiores a dicho umbral. Se tiene pues valores próximos al 15% de zonas de riego, en la que se están aplicando actualmente riegos con aguas de CEa superiores al límite considerado (Tabla 2, Figura 2).

**Tabla 2.** Niveles de salinidad en función al umbral a aplicar en el agua de riego (1,8 dS m<sup>-1</sup>)

CEa	Agua Superficial		Agua Subterránea	
	Superficie Provincial (km <sup>2</sup> )	% Superficie Provincial	Superficie Provincial (km <sup>2</sup> )	% Superficie Provincial
≥ 1,8 dS/m	1129,1	14,1	1175,8	14,6
< 1,8 dS/m	6900,9	85,9	6854,2	85,4

Una vez aplicado el modelo SIG, los resultados reflejan mapas de zonas en las que se puede realizar la mezcla de aguas, así como los porcentajes de cada uno de los tipos de agua a utilizar. En los mismos se observa que es posible disminuir la superficie regada con aguas de mala calidad hasta un 4%, de este modo, si se aplicaran diferentes porcentajes de mezcla de aguas superficiales y subterráneas (dependiendo de la zona) se podría conseguir que el 96 % de la zona estudiada se regara con calidades de agua cuya CE estuviera por debajo del límite establecido (Tabla 3, Figura 3).

**Tabla 3.** Superficie de la provincia de Jaén donde es posible realizar la mezcla de aguas (salinidad de 1,8 dS m<sup>-1</sup>)

	CEa: 1,8 dS/m	
	Superficie Provincial (km <sup>2</sup> )	% Superficie Provincial
<b>Mezcla de Aguas</b>	7697,3	95,9

Los porcentajes de mezcla varían lógicamente en las más de 180 subcuencas analizadas. A modo de ejemplo, si tomamos como referencia la relación agua superficial – agua subterránea, el 21% de la superficie tendría mezclas en las que el agua subterránea estaría en el intervalo (75%-99%), el 31% en el intervalo (50%-75%), el 38% en el intervalo (25%-50%) y el 8% en el intervalo (1%-25%). Los porcentajes hasta completar la mezcla se aplicarían con agua superficial (Tabla 4, Figura 3).

**Tabla 4.** Porcentajes de mezcla de aguas: superficial y subterránea, en el área de estudio.

Mezcla de aguas	Aguas Superficiales		Aguas Subterráneas	
	Superficie Provincial (km <sup>2</sup> )	% Superficie Provincial	Superficie Provincial (km <sup>2</sup> )	% Superficie Provincial
< 25 %	1627,8	20,3	610,7	7,6
25 - 50 %	2448	30,5	3010,8	37,5
50 - 75 %	3010,8	37,5	2448	30,5
75 - 100 %	610,7	7,6	1627,8	20,3

#### 4) Conclusiones

La herramienta que se propone puede facilitar el análisis y tratamiento de datos, permitiendo visualizar la información geográfica y ofreciendo todas las funcionalidades de manipulación de los datos geográficos, representando espacialmente multitud de datos, que serán utilizados en los procesos de planificación y toma de decisiones. El modelo de gestión de la información propuesto para riego sostenible a escala regional es útil para generar mapas para el cumplimiento de las mejores prácticas de riego en las diversas comarcas de la región estudiada. El sistema de información geográfica puede ser un sistema útil para el manejo de la información climática e hidroquímica destinado a crear mapas de cantidades de agua a aportar utilizando un sistema mixto mediante la mezcla de aguas. El empleo de la mezcla de agua reduce progresivamente la aportación de sales, de tal manera que se contribuye a una gestión más sostenible del riego deficitario en la cuenca del Guadalquivir.

#### 5) Bibliografía

- Aragues R., Puy J., Royo A., Espada J.L., (2005). Three-year field response of young olive trees (*Olea europea* L., cv. Arbequina) to soil salinity: Trunk growth and leaf ion accumulation. *Plant Soil* 271:265–273.
- Ayers R.S., Westcot D.W., (1985). La calidad del agua en la agricultura. FAO Riego y Drenaje No. 29. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma.174p.
- Benlloch M., Marín L., Fernández-Escobar R., 1994 Salt tolerance of various olive varieties. *Acta Horticulturae*, 356: 215-217.
- Bernstein L., (1964). Effects of salinity on mineral composition and growth of plants. In: Proc. Fourth Int. Coll. Plant Analysis and Fertilizer Problems 4:25–45.
- Fipps, G., (1996). Irrigation Water Quality Standards and Salinity Management Strategies, Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M University System.
- Gucci R., Tattini M., (1997). Salinity tolerance in olive. *Hort. Rev. (Amer. Soc. Hort. Sci.)* 21:177–214.
- IGME (National Institute of Geology and Minery of Spain), (2010). Updatind the atlas of hydrogeological Jaen. ([http://www.igme.es/INTERNET/SIDIMAGENES/153000/874/153874\\_0000001.PDF](http://www.igme.es/INTERNET/SIDIMAGENES/153000/874/153874_0000001.PDF))(in Spanish).
- Mass E.V., Hoffman G.J., (1977). Crop salt tolerance-Current assessment J. Irring and Drainage Div., ASCE 103(IR2):115-134.
- Munns R., (1993). Physiological processes limiting plant growth in saline soil: Some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environ.* 16:15–24.
- Pastor M., Hidalgo J., Orgaz F., Moriana A., Fereres E., (2002). Riego del olivar: estudio de la respuesta a riegos por goteo deficitarios y obtención de la función de producción. *Actas de las I Jornadas Técnicas del Aceite de Oliva*. Ed. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Madrid. 53-61.
- Peragón J.M., Pérez-Latorre F.J., Delgado A., (2015). A GIS-based quality assessment model for olive tree irrigation water in southern Spain. *Agricultural Water Management* 148:232-240.
- Wiesman Z., David Y., Ben-Dom N., (2004). Optimization of saline water level for sustainable Barnea olive and oil production in desert conditions. *Sci. Hort.* 100:257–266.