

EL OLIVAR REGADO DE SIERRA MÁGINA FRENTE AL DESAFÍO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Marianne Cohen

María Alonso-Roldán

Josyane Ronchail

Stéphane Angles

Eduardo Araque-Jimenez

RESUMEN

Se estudió el cambio climático y sus consecuencias para los recursos hídricos, que son actualmente por parte super explorados y al mismo tiempo indispensables para el regadío del olivar. Modelizamos las relaciones entre el rendimiento y el clima para el olivar en secano y regado. Las proyecciones de los modelos climáticos regionales muestran una disminución de las precipitaciones, y por lo tanto de los recursos hídricos y de los rendimientos. Por esta razón, es importante construir una estrategia de adaptación del olivar al futuro cambio climático, apoyándose en el buen conocimiento de las necesidades del cultivo por los agricultores, mismo si no hay consenso sobre el cambio climático.

SUMMARY

We did a study of climate change and of its consequences on water resources, currently partly degraded and necessary for the irrigation of olive groves. The relations climate-yield were modelled for rain fed and irrigated olive groves. Simulations of future rainfall show a decrease in rainfall, and therefore consequence of the water resources and olive yields. For these reasons, it is necessary to build an adaptation strategy for olive-growing, relying in the mobilization of local knowledge on the physiology of olive-tree, even if there is a lack of consensus on climatic change.

1. INTRODUCCIÓN Y PRESENTACIÓN DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

Hoy en día, la cuestión de la adaptación de la agricultura al cambio climático tiene que ser discutida de forma integrada, en particular tomando en consideración la degradación de los recursos en agua. Esto es todavía más imprescindible en regiones mediterráneas donde las proyecciones climáticas prevén una disminución de las precipitaciones (IPCC 2013, Gualdi et al. 2013) y consecuentemente de los recursos hídricos,

mientras que la modernización de la agricultura de las últimas décadas fue, entre otros cambios técnicos, basada en la sistematización del riego, o sea en la dependencia de los recursos hídricos.

Sierra Mágina es una región donde estos retos están planteados de una forma simultánea y aguda, puesto que es una región cuya agricultura está muy especializada en el sector oleícola (Araque-Jiménez, 2008; Sánchez-Martínez y Gallego-Simón 2009), es decir en una cultura con larga duración de vida dependiente de los recursos hídricos por ser regada, por la cual la adaptación al cambio climático tiene que ser anticipada con cautela.

Este artículo es el resumen de una investigación desarrollada en la comarca de Sierra Mágina por un equipo universitario franco-español, respondiendo a una solicitud de la Asociación para el Desarrollo Rural (ADR) de Sierra Mágina para documentar el futuro de la región frente al cambio climático. No se investigaron solo los cambios climáticos, sino también sus consecuencias sobre los rendimientos del olivar y los recursos hídricos, y la forma en que estos retos están percibidos por los actores del territorio, profesionales y los propios agricultores.

Nuestra entrada en esta visión holística del futuro del olivar de Sierra Mágina, será el reto de los recursos hídricos, puesto que el agua fue el tema de las XXXII Jornadas de Estudios de Sierra Mágina, organizadas por el CISMA en mayo 2014. Presentaremos la situación de la comarca de Sierra Mágina y de los recursos hídricos en relación a los cambios climáticos y agronómicos observados en la región desde las últimas décadas, y seguiremos con una visión más prospectiva sobre los impactos previstos del cambio climático. Terminaremos con algunas consideraciones relativas a la manera en que estos resultados podrían ser integrados en las estrategias de desarrollo territorial, tomando en consideración los recursos culturales de Sierra Mágina.

Debida a su localización en el complejo de las Sierras Béticas a lo largo del curso superior del río Guadalquivir, la región rural de Sierra Mágina (776 km²; 56.675 habitantes; INE 2010) está caracterizada por un clima típicamente mediterráneo de sierra. El olivar llegó a ser un verdadero monocultivo, pasando de 66 a 85 % de la tierras cultivadas entre 1986 y 2006, aumentando durante el mismo periodo la proporción de olivar regado, de 27 hasta 51% (Sánchez-Martínez y Gallego-Simón 2009). En

las últimas décadas, mientras que estaban introducidos paulatinamente olivares de alta densidad como última figura de la modernización del olivar, el precio del aceite sufrió una caída importante (www.internationaloliveoil.org/), y también los subsidios de la Unión Europea, ampliando las dificultades económicas del sector. Estos trazos hacen de Sierra Mágina un ejemplo particularmente ilustrativo de las potencialidades y la vulnerabilidad socio-ecológica de la agricultura euro-mediterránea.

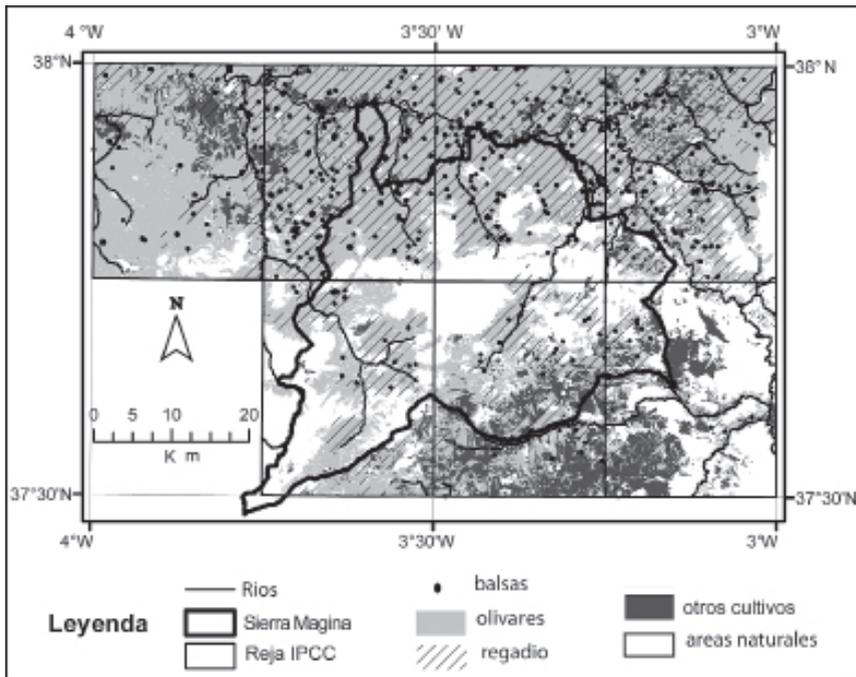


Figura 1: Uso del suelo y regadío en Sierra Mágina (Fuente: Cohen et al. 2014)

1. LA SITUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN SIERRA MÁGINA Y SU EVOLUCIÓN RECIENTE

Los recursos hídricos son estratégicos para el futuro de cultivo del olivar en el contexto del cambio climático. El riego por goteo no exige un gran cantidad de agua (se recomienda $1.290 \text{ m}^3 \text{ ha}^2 \text{ yr}^2$, lo que equivale a un tercio de la lluvia total del año en la localidad más seca de la región o sea 400 mm; según ciertas entrevistas realizadas en Sierra Mágina, entre

500 y 800m³ por hectáreas serian suficiente). Mientras tanto, el consumo medio anual de agua en el alto Guadalquivir es bien mayor (1.837m³ ha² yr⁻²; 183,7 mm; Argüelles 2010). Esta diferencia sugiere la existencia de pozos ilegales, pero uno debe recordar que las normativas disminuyeron mucho desde el precedente plan hidrológico (3.000 m³ en 1995, Berbel 2008) para reducir el déficit agrario del alto Guadalquivir (25 y 30% CHG 2010). El agua de regadío esta extraída de los cuerpos de agua subterráneos y superficiales (CHG 2010; Fig. 2).

A respecto del agua subterránea, Sierra Mágina por ser una sierra kárstica tiene importantes cuerpos de agua subterránea. Lamentablemente, la mitad de ellos son super explotados (Figura 2.a); la caída del nivel piezométrico ocurrió principalmente después de la sequia importante de la mitad de los noventa (IGME 1997; González-Hernando y González-Ramón 2002; CHG 2010). Fue por esta razón que el riego tradicional por

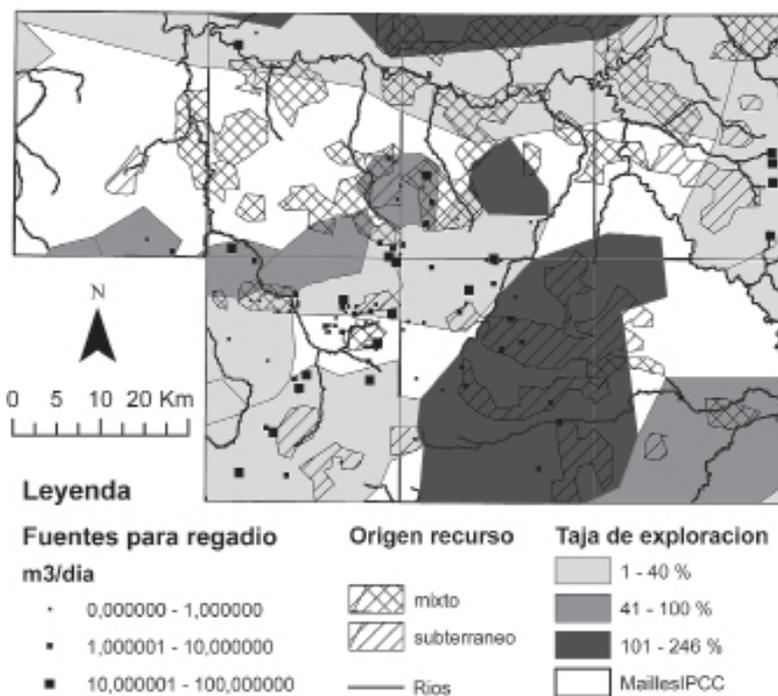


Figura 2a.

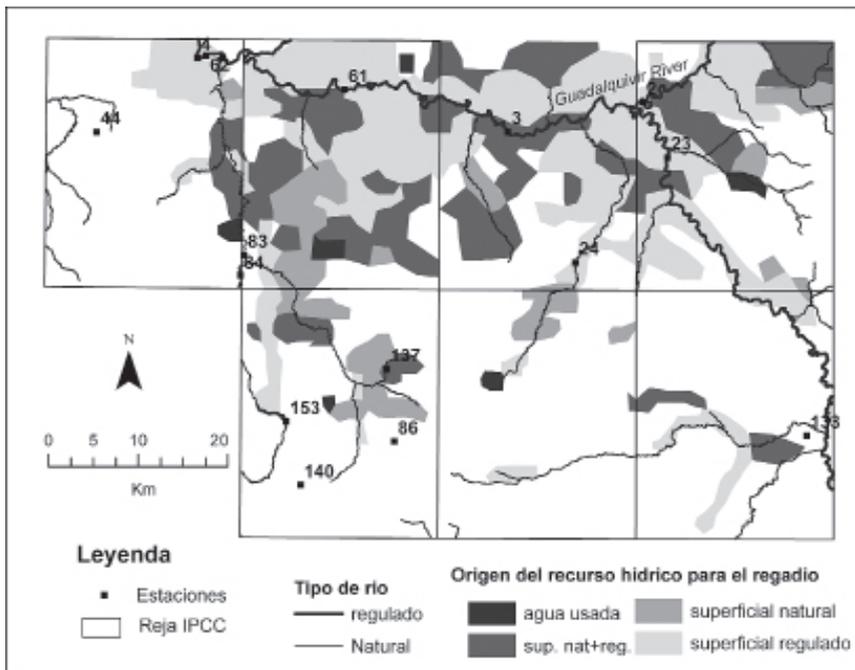


Figura 2b: Recursos hídricos superficiales y profundos para el regadío en Sierra Mágina (Fuente: Cohen et al., 2014)

acequias y canales proveniente de fuentes fue en gran parte abandonado en las últimas décadas y remplazado por el goteo utilizando aguas superficiales. Entretanto, debido a la alta demanda agraria, las aguas subterráneas contribuyen crecientemente al riego en el Alto Guadalquivir (pasando de 10 a 21% del total de agua entre 1992 y 2007, CHG 2010), los usuarios son mayoritariamente agricultores individuales (64%, Corominas-Masip 2002). La mayoría de las fuentes utilizadas por agricultura tienen un flujo poco importante (sitio www.conocestusfuentes.es, J. Salamé 2010, memoria no publicada, figura 2), particularmente las que provienen de capas freáticas super explotadas, un problema percibido por ciertos actores locales y debido al aumento de la demanda agraria (Corominas-Masip 2002) y urbana (González-Ramón, 2008).

Hoy en día, la principal fuente de agua para el olivar viene de las aguas superficiales, siendo una gran parte de la red hidrográfica utilizada para el riego, con tasas de utilización muy importantes y hasta excesivas

(ácima de 60%, CHG 2010). A lo largo del Guadalquivir, una banda de 10 a 15 kilómetros de ancho esta regada por extracción de agua de río (puntos 2–4 and 61–62, Fig. 2b). Se observa una situación similar alrededor del río Guadalbullón (puntos 83 and 84, Fig. 2b).

Comparados con la evolución de la lluvia, que disminuyó de 18% entre los periodos 1955–79 y 1980–2009, el flujo de los ríos disminuyó el doble o hasta el triple. Esta disminución esta frecuentemente debida a la construcción de barrajes (Lorenzo Lacruz et al.2012), pero esto no es el caso en la región puesto que el mayor fue construido durante el primero periodo 1955-1979. Probablemente, esta disminución del flujo fue influenciada por el aumento de la extracción de agua de los ríos desde los años 80, una interpretación que corresponde a la de varios autores (Duran et al.2006; Pérez and Andreo 2006; Rodríguez-Díaz et al. 2007; Lorenzo-Lacruz et al. 2012).

2. LA INFLUENCIA DEL CLIMA SOBRE LOS RECURSOS EN AGUA Y LOS RENDIMIENTOS DEL OLIVAR

Como lo indicamos anteriormente, se observo una disminución de la lluvia de 18% entre dos periodos de la segunda parte del siglo XX y comienzo del siglo XXI (1955-1979 y 1980-2009), en el conjunto de la región de Sierra Mágina, comparando los datos de varias estaciones climáticas de la agencia AEMET. Lamentablemente, no podemos llegar a conclusiones por lo que se refiere a las temperaturas, cuya evolución es mucho más variable en el tiempo y en el espacio.

Por lo que se refiere a los rendimientos del olivar, fueron multiplicados por 2 (y hasta por 3 para los olivares regados) desde los años 50. Para estudiar la influencia del clima sobre los rendimientos, utilizamos las estadísticas de rendimiento de la Secretaria de Agricultura de Jaén y los datos climáticos de la agencia AEMET. Eliminamos por métodos estadísticos la tendencia histórica al aumento de rendimiento debido a modernización del olivar, así como la alternancia (vecería) que produce una variación de rendimiento entre un año favorable al crecimiento vegetativo y el siguiente, favorable a la floración. La influencia de la densidad del olivar fue considerada mínima, debido a la poca proporción de olivares de alta densidad en la región (hasta 5,8% en la porción norte oeste

del valle del Guadalquivir incluidas en nuestro estudio, figura 1, según la fotografías aéreas de 2004).

La relación clima-rendimiento fue estudiada en el periodo 1980-2009 (periodo más homogéneo para la pluviometría). Las mejores correlaciones fueron obtenidas entre el rendimiento en olivas por hectáreas y el total de precipitaciones durante 2 años (excepto las lluvias de verano: junio, julio y agosto), debido a la doble influencia de la vecería y del régimen pluviométrico. Nuestros resultados muestran que la lluvia tiene una fuerte influencia no solo en los olivares de secano (correlación $r=0,68$), lo que era previsto, pero también en los olivares regados (correlación $r=0,64$). Esto significa que el riego no es tan eficiente como se podía prever según la literatura (Loussert and Brousse, 1978; Moriana et al., 2003). Este resultado no es debido ni a la densidad, como ya lo mencionamos, ni a la concurrencia del estrato herbáceo, que es controlado de forma comparable en los olivares regados y en secano.

Este modelo clima-rendimiento, estadísticamente significativo, muestra ciertos años una diferencia notable con lo observado. Para explicar estas discrepancias, fuimos a interrogar a los propios olivareros y descubrimos que la mayoría de las diferencias eran debidas a factores exteriores, no climáticos, como una epidemia de prays (estimación superior a lo observado) o la madurez de numerosos olivares plantados gracias a los subsidios europeos (estimación inferior a lo observado). Entretanto, el modelo sobreestima el rendimiento durante los años particularmente secos, una imperfección que se debe probablemente al factor que no pudimos tomar en consideración los datos de temperaturas, insuficientes, en nuestro modelo.

3. LA EVOLUCIÓN DEL CLIMA EN EL FUTURO Y SU INFLUENCIA EN LOS RENDIMIENTOS DEL OLIVAR Y LOS RECURSOS HÍDRICOS

Las evoluciones de la lluvia y de la temperaturas comparando los periodos 1980-2009 y 2030-2050 han sido estimadas utilizando las simulaciones de 17 modelos regionales climáticos (RCMs). Una disminución de 15 a 30% de la lluvia de otoño está prevista por 16 de los 17 modelos. Las demás evoluciones de lluvias (en primavera e invierno) fueron menos

convergentes. Las temperaturas máximas aumentarían de 1 a 2°C, durante la primavera y el otoño. La disminución anual de las lluvias (salvo las lluvias estivales), que muestra la mejor correlación con los rendimientos del olivar, fue estimada entre -7 a -9% para el periodo 2030-2050, esta evolución negativa siendo observada en 14 modelos de los 17. La variabilidad de esta proyección es entretanto importante entre los modelos (variación estándar 9,6%). A partir de esta proyección climática, se puede calcular la futura pérdida de rendimiento, en función de la relación clima-rendimiento. Se prevé que durante el periodo 2030-2050, el rendimiento disminuirá de 3,5% para el olivar regado y de 7% para el olivar en secano.

A más largo plazo, para el periodo 2080-2100, las lluvias anuales disminuirán de 30% y las temperaturas máximas aumentarían de 4 a 6° en la primavera y otoño. Estas proyecciones climáticas (a corto y largo plazo) son coherentes con las previsiones del IPCC (2013). La proyección del rendimiento del olivar para el periodo será una caída de 22% para el olivar en secano y de 11% para el olivar regado. Uno debe recordar que esta modelización, que es estadísticamente significativa, no está exenta de incertidumbres: el modelo clima-rendimiento no integra las temperaturas, mientras estas pueden tener un impacto negativo sobre el rendimiento durante las sequías importantes, la variabilidad entre los modelos RCM es bastante importante.

Por lo que se refiere a los recursos hídricos, Fornes y Pernia (2006) prevén, basándose en una reducción de la lluvia de 5%, una reducción de los recursos hídricos variando entre 5 y 14%. Esta exageración entre la evolución de las precipitaciones y la de los recursos hídricos ya ha sido observada en el pasado. Tomando en cuenta nuestras previsiones de disminución de las precipitaciones (8%), se puede temer una evolución negativa de los recursos hídricos de 8% o más (hasta 22%, basándose en los mismos coeficientes que Fornes y Pernia, 2006), mientras que las necesidades en agua de regadío aumentarían entre 9 y 16% según Rodríguez-Díaz et al. (2007).

Realizamos con el GIS un mapa de la adaptabilidad al cambio climático del olivar regado, tomando en consideración el estado de conservación y las proyecciones disponibles de los recursos subterráneos y superficiales (Berbel, 2008), el tipo de manejo (regulación, utilización de uno o dos fuentes de recursos hídricos), la cantidad actual y la evolución prevista

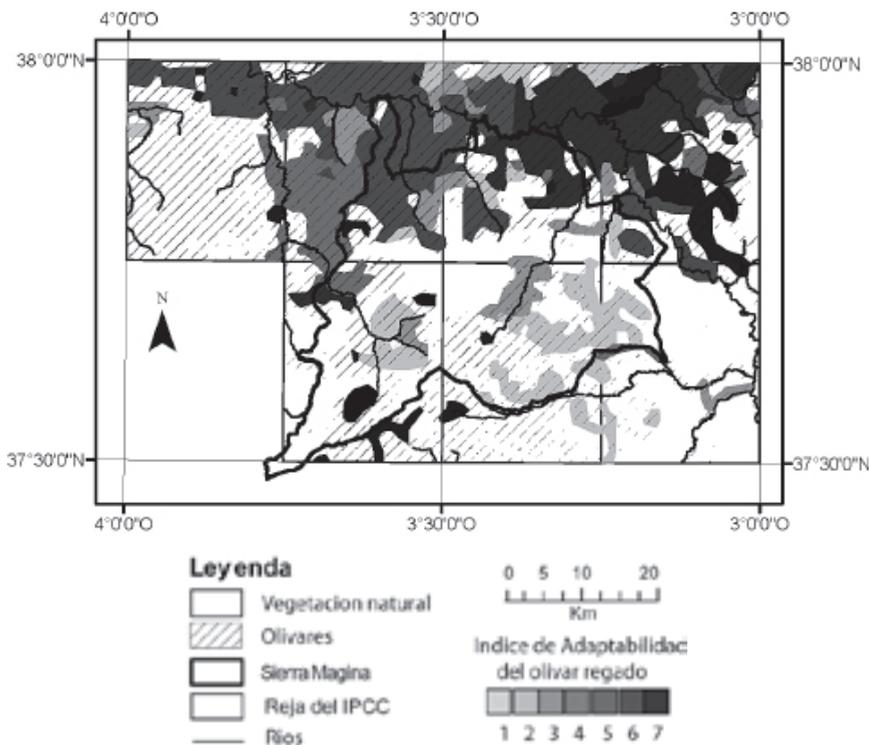


Figure 3: Adaptabilidad del olivar regado al cambio climático en la Sierra Mágina y parte del Valle del Guadalquivir (Fuente: Ronchail et al., 2014)

de precipitaciones, en particular durante el invierno, temporada en que se pueden recargar los acuíferos. Se observa que la situación no es homogénea en la comarca de Sierra Mágina y de la porción del valle del Guadalquivir incluido en nuestro estudio. Las situaciones más favorables en relación a los recursos hídricos son observadas en el valle del Guadalquivir (salvo al noroeste), pero las temperaturas máximas representaran un obstáculo. La parte situada al sureste es la más frágil, pero el mapa no toma en cuenta la desviación existente de agua del río Guadiana Menor hasta la comuna de Larva. La adaptabilidad es mediana en las partes serranas, pero en estas la presencia de áreas naturales contribuye al almacenamiento del agua en los acuíferos y las temperaturas máximas serán más moderadas.

CONCLUSIÓN

Nuestros resultados muestran la necesidad de construir una estrategia de adaptación al cambio climático y a la disminución de los recursos hídricos. Para esto, es importante tomar en consideración los conocimientos de los agricultores, que son muy importantes como lo pudimos verificar en nuestro estudio. Entretanto, no todos los agricultores son conscientes del cambio climático, algunos de ellos dudan pues lo comparan con la irregularidad del clima en el pasado, lo que de cierto modo es cierto (declino más la lluvia durante la segunda parte del siglo 20 de lo que va disminuir para el periodo de 2030-2050). La dependencia a la lluvia del olivar regado es un resultado nuevo de nuestro estudio, concordante con las observaciones de ciertos agricultores. La previsión de disminución de los rendimientos del olivar a corto plazo es relativamente moderada (3,5%), y poderla dejar un tiempo para la necesaria adaptación del olivar al cambio climático, que podría basarse en una serie de medidas como racionalizar el regadío, cambiar de variedad, privilegiar los sitios de sierra (mejor que los de valles) para los olivares, y al mismo tiempo mejorar la valorización del aceite, lo que permitiría compensar la caída de los rendimientos.

BIBLIOGRAFÍA

- ARAQUE JIMÉNEZ, E., 2008: Luces y sombras de la expansión olivera en Sierra Mágina. *Sumuntán*, 25, 65–96.
- ARGÜELLES, A. M., 2010: Las aguas subterráneas en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir: Objetivos de la planificación hidrológica. Fundación Marcelino Botín, 24 pp. (URL:<http://www.fundacionbotin.org/file/11984/>.)
- BERBEL, J., 2008. Agricultura y agua: presiones, impactos y medidas. Plan hidrológico de la demarcación Guadalquivir. Taller. Agricultura y buen estado ecológico. 11 de diciembre de 2008, URL: http://www.chguadalquivir.es/export/sites/default/portalchg/planHidrologicoDemarcacion/participacionPublica/talleresJornadas/ficheros/taller10_ponencia_agricultura_y_agua_presiones_impactos_medidas.pdf
- CHG, 2010: Plano hidrológico de la demarcación hidrográfica del Guadalquivir, Memoria, anexos, talleres y appendices, MAAME,

- Delegación general del agua, URL:<http://www.chguadalquivir.es/opencms/portalchg/planHidrologicoDemarcacion/index.html#>
- COHEN M., RONCHAIL J., ALONSO-ROLDAN M., MORCEL C., ANGLES S., ARAQUE-JIMENEZ E., LABAT D., 2014. Adaptability of Mediterranean agricultural systems to climate change. The example of the Sierra Mágina olive-growing region (Andalusia, Spain). I. Past and present, *Weather, Climate and Society*, doi:10.1175/WCAS-D-12-00043.1, Vol. 6, n°3 (July 2014 issue), pp. 380-398.
- COROMINAS-MASIP, J., 2002: Racionalización del uso de las aguas subterráneas en el olivar. Presente y futuro de las aguas subterráneas en la provincia de Jaén, J. A. Lopez-Gueta and J. C. Rubio-Campos, Eds., IGME, 139-148.
- DURAN, J.J., Andreo, B. and Carrasco, F. (Eds), 2006: Karst, climatic change and groundwater, Madrid, IGME, 507 pp.
- FORNES, J.M. and PERNÍA, J.M., 2006: Cambio climático y aguas subterráneas. Visión desde el IGME para los próximos decenios. Karst, climatic change and groundwater, J.J. Duran, J. Andreo, F. Carrasco F., Eds., IGME, 409-420.
- GONZÁLEZ-HERNANDO, L., and A. GONZÁLEZ-RAMÓN, 2002: Los acuíferos de Bedmar-Jódar y Torres-Jimena. Aportaciones al conocimiento de los acuíferos andaluces, Libro homenaje a Manuel del Valle Cardenete, J. C. RUBIO-CAMPOS and J. A. LÓPEZ-GETA, Eds., IGME, 245-252.
- GONZÁLEZ-RAMÓN, A., 2008: Hidrogeología de los acuíferos kársticos de las sierras de Pegalajar y Mojón Blanco. Serie tesis doctorales, Vol. 14, IGME, 304 pp.
- GUALDI, S., and Coauthors, 2013a: Future climate projections, Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean, A. NAVARRA and L. TUBIANA (Eds), *Advances in Global Change Research* 50, Springer Netherlands, 53-118.
- GUALDI, S., and Coauthors, 2013b: The CIRCE Simulations: Regional Climate Change Projections with Realistic Representation of the Mediterranean Sea. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 94, 65-81.
- IGME, 1997: Catálogo de acuíferos con problemas de sobreexplotación o salinización. Ministerio de Medio Ambiente, Instituto Tecnológico

- Geominero de Espana Rep.,43 pp. [<http://aguas.igme.es/igme/publica/libro93/lib93.htm>.]
- INE, 2010: Censo agrario 1999. National Statistics Institute 2010. [<http://www.ine.es/jaxi/tabla.do?path5/t01/p042/prov23/10/&file5090102.px&type5pcaxis>.]
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEx and P.M. MIDGLEY (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- LORENZO-LACRUZ, J., Vicente-Serrano, S.M., López-Moreno, J.I., MORÁN-TEJEDA, E. and ZABALZA, J., 2012: Recent trends in Iberian streamflows (1945–2005). *J. Hydrol.*, 414–415.
- LOUSSERT, R. and Brousse, G., 1978 : L'olivier. Techniques agricoles et production méditerranéennes. G.P. Maisonneuve & Larose, 465 pp.
- MORIANA, A., ORGAZ, F., PASTOR, M. and FERERES, E., 2003: Yield Responses of a Mature Olive Orchard to Water Deficits. *J. Amer. Soc. Horticul. Sc.*, 128, 425-431.
- RODRÍGUEZ-DÍAZ, J.A., WEATHERHEAD, E.K., Knox, J.W. and Camacho 832 E., 2007: Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain. *Reg. Environ. Change*, 7, 149-159.
- RONCHAIL J., COHEN M., ALONSO-ROLDAN M., GARCIN H., SULTAN B., ANGLEs S., 2014. Adaptability of Mediterranean agro systems to climate change. The example of the Sierra Mágina olive growing region (Andalusia, Spain) II The future. *Weather, Climate and Society*, doi: 10.1175/WCAS-D-12-00045.1, Vol.6 (October 2014 issue), n°4, 451-467.
- SANCHEZ-MARTINEZ, J. D., and V. J. GALLEGU-SIMÓN, 2009: La olivicultura ecológica en Sierra Mágina: Una aproximación inicial. *El olivar: Paisaje, patrimonio y desarrollo sostenible*, E. Araque-Jiménez, Ed., Universidad de Jaén-ADR, 141–162.