

MAY, 2014

**La modernización de regadíos:
repercusiones sobre el uso del agua
y la energía en CCRR de Andalucía**

Fernandez García, I., J.A. Rodríguez Díaz, P.
Montesinos Barrios, E. Camacho Poyato

Language: Spanish

XXXI Congreso Nacional de Riegos. 2013
Orihuela (Alicante, Spain)



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

Fernandez García¹, I., J.A. Rodríguez Díaz¹, P. Montesinos Barrios¹, E. Camacho Poyato¹, and Berbel J². (2013), **La modernización de regadíos: repercusiones sobre el uso del agua y la energía en CCRR de Andalucía**, *XXXI Congreso Nacional de Riegos*. 2013 Orihuela (Alicante, Spain).

⁽¹⁾ Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba. Campus Rabanales, Edif. da Vinci, 14071. Córdoba. E-mail: g52fegai@uco.es, pmontesinos@uco.es, jarodriguez@uco.es, ecamacho@uco.es

⁽²⁾ Departamento de Economía, Sociología y Política Agraria. Universidad de Córdoba. Campus Rabanales. Edif. Gregor Mendel, 14071. Córdoba. E-mail: berbel@uco.es

1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de reducir el consumo de agua en los regadíos españoles, uno de los principales objetivos contemplados dentro del Plan Nacional de Regadíos (MAPA 2001) ha sido promover la transformación de los sistemas de distribución del agua mediante conducciones libres hacia sistemas de redes a presión. Según la Agenda del Regadío Andaluz H-2015 (Consejería de Agricultura y Pesca, 2011), las zonas de riego en las que se han llevado a cabo programas intensivos de modernización han experimentado un ahorro de agua de 1235 m³ha⁻¹ aunque, al mismo tiempo, el consumo energético se ha incrementado en torno a 495 kWh ha⁻¹.

Seleccionando como caso de estudio el proyecto de modernización del riego “Riegos del Alto Aragón”, Lecina *et al.* (2010) analizaron los efectos sobre el consumo de agua de la transformación de los sistemas de riego tradicionales en sistemas a presión. Según estos autores, el proyecto de modernización supondrá un aumento del consumo de agua porque los nuevos sistemas por aspersión conllevan, en primer lugar, un aumento de la ETc por el aumento del rendimiento de los cultivos, y en segundo lugar, un aumento adicional de la ETc por la implantación de patrones de cultivos más productivos, pero más demandantes de agua. Sin embargo, estos autores no analizan el efecto de la modernización, teniendo en cuenta también el consumo energético. Con este objetivo, Rodríguez Díaz *et al.* (2011), estudiaron el antes y el después del proceso de modernización de la comunidad de regantes del Bembézar Margen Derecha mediante indicadores de gestión. Estos autores detectaron una reducción en el volumen de agua suministrada del 40% debido al aumento de la eficiencia en el transporte y aplicación del agua. Sin embargo, los costes de operación y mantenimiento del sistema se han incrementado un 400% como consecuencia de la modernización.

El objetivo de este trabajo es analizar el impacto amplio de la modernización sobre los recursos agua y energía, mediante el estudio de cinco comunidades de regantes que han experimentado la

transformación de sus sistemas de riego, basados en conducciones libres, hacia sistemas a presión.

2. METODOLOGÍA

2.1. Selección de las comunidades de regantes

Para la selección de las comunidades de regantes se ha tenido en cuenta que gestionen redes de riego modernizadas. Las comunidades de regantes analizadas son: Bembézar Margen Izquierda (BMI), Bembézar Margen Derecha (BMD), Sector BXII (BXII), Genil Margen Derecha (GMD) y Guadalquivir (GU) (Figura 1). En la actualidad, estas comunidades de regantes suman una superficie de riego de 38,285 ha, lo que supone el 11% de la superficie modernizada en Andalucía (Lopez-Gunn *et al.*, 2012). Todas pertenecen a la Cuenca del Guadalquivir, caracterizada por un clima mediterráneo, con temperaturas templadas en invierno y cálidas en verano y con precipitaciones escasas e irregulares, con una media de 595 mm anuales (Berbel y Gutiérrez, 2004).

Antes de que se realizara la transformación de la red de riego, las infraestructuras de transporte y distribución del agua de las comunidades de regantes eran canales abiertos. Tras la modernización, que ha supuesto una inversión total de 123.8 M € (3,234.9 € ha⁻¹ de media), tales infraestructuras han pasado a ser redes a presión.

2.2. Adquisición de datos y escenarios de análisis

Los indicadores seleccionados para analizar el impacto de la modernización se han calculado para las cinco comunidades de regantes durante dos campañas:

- Campaña 2001/2002, correspondiente a la etapa en la cual todas las comunidades de regantes tenían sistemas de distribución de agua mediante conducciones libres.
- Campaña 2010/2011, asociada a la etapa en la que las comunidades de regantes ya se habían modernizado.

La campaña 2001/2002 se caracterizó hidrológicamente como normal, con una precipitación de 601 mm mientras que la campaña 2010/2011 se consideró húmeda, con 851 mm de precipitación anual. Finalmente, también se ha realizado una estimación sobre la posible evolución de la superficie de cultivos para el año 2020 según las previsiones de los técnicos de estas comunidades de regantes.

2.3. Indicadores sobre el uso del agua y la energía

Los indicadores seleccionados para analizar los efectos de la modernización sobre el uso del agua y la energía en las comunidades de regantes proceden, en su mayoría, de los propuestos por el IPTRID (International Programme for Technology and Research in Irrigation and

Drainage) (Malano y Burton, 2001) y por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2008):

1. Volumen de riego suministrado por unidad de superficie regada, I_s (m^3ha^{-1}). Representa la relación entre el volumen de riego suministrado anual medido en cabecera de la red y la superficie regada.
2. Requerimientos de agua de los cultivos por unidad de área regada (m^3ha^{-1}). Muestra la relación entre los requerimientos de agua teóricos de los cultivos (ET_c), determinados según Allen *et al.* (1998) y la superficie regada.
3. Necesidades de riego de los cultivos por unidad de área regada, I_r (m^3ha^{-1}). Se obtienen mediante el cociente entre los requerimientos de riego teóricos de los cultivos y la superficie regada.

4. Suministro relativo de agua anual (RWS). Se determina mediante la siguiente expresión:

$$RWS = \frac{I_s + P_{ef}}{ET_c}$$

Siendo P_{ef} la precipitación efectiva anual.

5. Suministro relativo de riego anual (RIS). Este indicador se calcula mediante la siguiente expresión:

$$RIS = \frac{I_s}{ET_c - P_{ef}}$$

6. Suministro relativo de precipitación anual (RRS). Se obtiene mediante la siguiente relación:

$$RRS = \frac{P_{ef}}{ET_c}$$

7. Coste relativo al canon y a la tarifa de riego por unidad de área regada, C_C ($\text{€}ha^{-1}$).
8. Coste general (manejo, operación y mantenimiento) por unidad de área regada, C_G ($\text{€}ha^{-1}$).
9. Coste energético por unidad de volumen de agua suministrada, C_E ($\text{€}m^{-3}$).
10. Coste total por unidad de área regada, C_T ($\text{€}ha^{-1}$). Se obtiene mediante la suma del coste relativo al canon y a la tarifa, el coste general y el coste energético, dividido por la superficie regada total.
11. Coste total por unidad de volumen de agua suministrada, C_T ($\text{€}m^{-3}$). Este indicador se calcula mediante la relación entre los costes asociados al agua (canon-tarifa, generales y energéticos) y el volumen total de agua suministrado.
12. Porcentaje que representa el coste de la energía sobre los costes totales asociados al agua.

13. Productividad¹ bruta por unidad de área regada (€ha^{-1}). Es la relación entre el valor bruto total de la producción agrícola y la superficie regada.
1. Productividad bruta por unidad de volumen de riego suministrada (€m^{-3}). Se obtiene mediante el cociente entre el valor bruto total de la producción agrícola y el volumen total de agua suministrado.
2. Productividad bruta por unidad de volumen de agua requerida por los cultivos (€m^{-3}). Indica la relación entre el valor bruto total de la producción agrícola y los requerimientos teóricos de agua de los cultivos (*ETc*).
3. Productividad bruta de la mano de obra (€UTA^{-1}). Es la relación entre el valor bruto total de la producción agrícola y el empleo agrícola generado, medido en Unidades de Trabajo Año.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Usos del agua

Respecto al volumen de riego suministrado por unidad de superficie, ha experimentado una reducción significativa en todas las CCRR analizadas (figura 2), siendo esta disminución igual a $3433 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (43%) en BMI, $1116 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (16%) en BMD, $3001 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (39%) en BXII, $2115 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (35%) en GMD y $1418 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (20%) en GU, entre las campañas 2001/2002 y 2010/2011. De esta forma, el volumen de riego suministrado antes de la modernización era $7247 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ de media, mientras que tras la modernización el valor es $5070 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (30%). Aunque parte de esa reducción es debida a que las necesidades de riego durante la campaña 2010/2011 fueron menores al tratarse de una campaña húmeda, la mejora de las infraestructuras hidráulicas por la transformación en redes a presión, en las que las pérdidas durante la distribución del agua son despreciables, además de la instalación de sistemas de riego localizados que mejoran la aplicación en parcela (Carrillo Cobo *et al.*, 2011), repercuten en la disminución del volumen de riego suministrado.

Considerando los requerimientos teóricos de agua de los cultivos (*ETc*), el valor medio es similar en ambas campañas. El análisis detallado de cada comunidad de regantes muestra una reducción de $1942 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (22%) en BMI, $180 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (2%) en BMD y $1564 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (17%) en GMD y un aumento de $616 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (7%) en BXII y $289 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (4%) en GU (figura 2). Para explicar la variación que se ha producido en el valor de la *ETc* hay que observar la evolución de la superficie de los cultivos en cada CR. En BMI, la reducción del cultivo de maíz a favor de los cítricos, que en la actualidad son plantaciones jóvenes en su mayoría, repercute en un menor valor de la *ETc*. Lo mismo sucede en BMD y GMD, donde la disminución del algodón o el espárrago por la incorporación de cítricos jóvenes conlleva requerimientos teóricos de agua

¹ Los indicadores de productividad que aparecen en este trabajo se refieren a productividad aparente.

inferiores a corto plazo. Por el contrario, en BXII, la sustitución de la remolacha que ocupaba el 47 % de la superficie en la campaña 2001/2002 por algodón (que abarca el 45% de la superficie en la campaña 2010/2011) repercute en un mayor valor de la ETc, ya que los requerimientos teóricos de agua del algodón son superiores a los de la remolacha. En GU, el aumento de la superficie dedicada al algodón conlleva también un aumento de la ETc.

En cuanto a las necesidades teóricas de riego de los cultivos (I_r), éstas han disminuido desde 6760 m³ha⁻¹ hasta 5876 m³ha⁻¹ (13%) de media ya que la precipitación efectiva durante la campaña 2010/2011 fue mayor que en la 2001/2002. En BXII, la precipitación efectiva fue menor en 2010/2011 debido a la sustitución de la remolacha, que coincide con el periodo de precipitaciones, por el algodón, lo que unido a una mayor ETc, ha dado lugar a necesidades de riego superiores (figura 2).

En la figura 3 se representa el valor de los indicadores RWS, RIS y RRS antes y después del proceso de modernización. El análisis del valor de RWS muestra una evolución positiva en BMI (de 1.03 a 1.07), en BMD (de 1.00 a 1.11) y en GMD (de 0.86 a 0.95). Lo mismo ocurre con el indicador RIS, que aumenta de 1.03 a 1.11 en BMD, de 1.00 a 1.19 en BMI y de 0.83 a 0.91 en GMD. El aumento del valor de estos indicadores está relacionado con el aumento de la precipitación efectiva, que conlleva menores necesidades de riego. Este efecto se observa en el indicador RRS, que informa de las necesidades de agua del cultivo que se satisfacen mediante las precipitaciones, el cual muestra un aumento más importante en estas CCRR. En BXII y GU, el indicador RWS ha disminuido de 1.14 a 0.72 y de 1.06 a 0.93, respectivamente, mientras que el indicador RIS se ha reducido de 1.18 a 0.65 y de 1.07 a 0.91, lo que indica que en estas comunidades no se están satisfaciendo las necesidades de riego de los cultivos.

3.2. Costes del agua

En relación a los costes asociados al canon y a la tarifa del riego se han incrementado en un 38% y un 24% en BMI y BMD respectivamente, mientras que en BXII y GU han disminuido un 13 y un 4%, respectivamente (tabla 1). En lo que respecta a los costes generales, en BMI se han mantenido prácticamente constantes mientras que en BMD y BXII se ha producido una reducción respecto a la campaña 2001/2002. Sin embargo, los costes generales se han incrementado un 41% en GU. En la figura 4 se puede observar el elevado coste energético que ha supuesto la modernización de las redes de riego. Antes de la modernización, los agricultores pagaban por el consumo de energía 51.3 €/ha⁻¹ de media, mientras que en la campaña 2010/2011 el coste energético alcanzó un valor medio de 125.3 €/ha⁻¹ (145%). De esta manera, en la actualidad la energía representa el 43% del coste total del agua cuando antes de la modernización sólo suponía el 18%.

El incremento del coste energético ha traído consigo un aumento del coste total del riego que ha alcanzado valores de 279.8 €/ha⁻¹ cuando antes de la modernización el valor era de 202.2 €/ha⁻¹

(38%). Los elevados costes del agua derivados del proceso de modernización y del aumento del precio de la energía reducen los ingresos del agricultor, cuya respuesta se traduce en un menor consumo de agua y en la incorporación de cultivos de mayor valor económico (Berbel *et al.*, 2000).

3.3. Productividad

La tabla 2 muestra la evolución de los indicadores de productividad entre las campañas 2001/2002 y 2010/2011. En cuanto a la productividad bruta por unidad de área regada, se ha determinado un aumento en todas las CCRR, salvo en BXII, donde este indicador se ha mantenido prácticamente constante. De esta manera, se constata que en aquellas CCRR en las que la superficie dedicada a los cítricos es importante, la productividad por unidad de área regada se ha incrementado. De media, este indicador ha aumentado desde 2911 €/ha⁻¹ hasta 3588 €/ha⁻¹ (23%).

Si se considera la productividad bruta por unidad de volumen de riego suministrada, se observa un aumento de este indicador de 0.40 €/m⁻³ hasta 0.71 €/m⁻³ de media entre ambas campañas. En el aumento de este indicador influye la reducción en el volumen de riego suministrado que ha tenido lugar en 2010/2011.

La productividad bruta por unidad de volumen de agua requerida por los cultivos se ha incrementado de media desde 0.35 €/m⁻³ hasta 0.43 €/m⁻³ como consecuencia de la modernización.

Respecto a la productividad de la mano de obra, se observa una tendencia decreciente en BMD, BXII y GU. En BXII, la productividad por hectárea se ha mantenido constante mientras que las necesidades de mano de obra han aumentado ligeramente, lo que implica un descenso de la productividad de la mano de obra. En BMD y GU, coinciden, por un lado, un incremento de las necesidades de mano de obra y, por otro, un aumento de la productividad bruta por hectárea menos importante que en BMI y GMD. Por ello, la productividad de la mano de obra ha descendido. En BMI y GMD, la productividad de la mano de obra se ha incrementado entre ambas campañas (84% y 30% respectivamente).

3.4. Perspectivas sobre la evolución de la superficie de los cultivos y requerimientos de agua

En la figura 5 se observan las perspectivas sobre la posible evolución de la superficie de los cultivos en el horizonte 2020, considerando de forma conjunta los cultivos de las cinco CCRR analizadas. También se indican los requerimientos de agua de los cultivos en el caso de cumplirse estas previsiones. Para evitar la influencia sobre la evapotranspiración de los cultivos de la variación en las precipitaciones entre las distintas campañas, se ha seleccionado un año hidrológico normal y se han analizado los patrones de cultivo de las campañas 2001/2002, 2010/2011 y el previsto para 2020. El incremento de las plantaciones de cítricos es una

tendencia ya constatada entre las campañas 2001/2002 y 2010/2011, a costa de la reducción del cultivo de algodón, maíz y remolacha.

Respecto al aumento de los requerimientos de agua de los cultivos para el año 2020, se explica no sólo por el aumento de la superficie dedicada a los cítricos, sino también porque en el año 2020, las plantaciones de cítricos que ahora son jóvenes estarán en plena producción y, por tanto, demandarán más agua.

4. CONCLUSIONES

Para analizar el efecto de la modernización en el regadío se han analizado cinco comunidades de regantes de la cuenca del Guadalquivir que han experimentado esta transformación.

Respecto al volumen de riego suministrado por unidad de superficie regada se ha constatado, de media, una reducción de $2177 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (30%) respecto al volumen suministrado antes de la modernización, aunque hay que considerar que la precipitación en la campaña 2010/2011 fue superior a la de la campaña 2001/2002.

La modernización ha resultado en un aumento de la productividad de la tierra (677 €ha^{-1}), de la productividad del agua de riego (0.31 €n^{-3}), de la productividad del agua total (0.09 €n^{-3}) y unos resultados dispares en la productividad de la mano de obra (-214 €UTA^{-1}), en parte por realizar el análisis en un momento de transición con gran parte de los cultivos frutales en la fase juvenil poco productiva.

Sin embargo, el elevado consumo energético de las zonas modernizadas, unido al incremento del precio de la energía, ha disparado los costes energéticos, que se han convertido en el principal coste asociado al agua. De esta manera, los costes relativos al uso del agua que tienen que afrontar los agricultores se han incrementado, de media, un 38% respecto a los costes en el periodo previo a la modernización. Por ello, son necesarias medidas encaminadas a la optimización del consumo de energía en estas CCRR que permitan reducir los costes del agricultor.

También es importante destacar que la respuesta de los agricultores a dos factores, por un lado los elevados costes y por otro, la mayor flexibilidad y garantía de suministro, ha conducido a la sustitución de los cultivos tradicionales por cultivos leñosos, como los cítricos, de mayor valor económico pero más demandantes de agua. De esta manera, si se cumplen las previsiones ofrecidas por los técnicos de las CCRR sobre la evolución de la superficie de los cultivos en el horizonte 2020, aumentarán las plantaciones de cítricos, que se encontrarán además en pleno desarrollo. Esto supondrá un aumento de los requerimientos de agua de los cultivos, provocando que las producciones sean más vulnerables ante las épocas de sequía, características de nuestro clima. En estas previsiones de aumento del consumo de agua no se ha tenido en cuenta el

incremento de la ETc derivado de unos mayores rendimientos por la mejora de la uniformidad y flexibilidad en el servicio de agua de riego, elemento que se abordará en futuras investigaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación del proyecto del Ministerio de Ciencia e Innovación ECO2009-12496-C03-01 y la colaboración de las CCRR que han participado en la encuesta.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998): Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Berbel, J. y Gómez-Limón, C. (2000): The impact of water-pricing policy in Spain: an analysis of three irrigated areas. *Agricultural Water Management* 43: 219-238
- Berbel, J. y Gutiérrez, C. (2004): I Estudio de Sostenibilidad del Regadío del Guadalquivir. Fenacore, Sevilla. Disponible en: <http://www.uco.es/grupos/wadi/sostenibilidad04.pdf>
- Carrillo Cobo, M.T., Rodríguez Díaz, J.A., Montesinos, P., López Luque, R. y Camacho Poyato, E. (2011): Low energy consumption seasonal calendar for sectoring operation in pressurized irrigation networks. *Irrig Sci* 29:157–169
- Consejería de Agricultura y Pesca de Andalucía (2011): Agenda del Regadío Andaluz H-2015. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/areas-tematicas/infraestructuras-agrarias/regadios-e-infraestructuras-agrarias/agenda-del-regadio.html>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2008): Protocolo de Auditoría Energética en comunidades de regantes. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Madrid.
- Lecina, S., Isidoro, D., Playán, E., Aragües, R. (2010): Irrigation modernization and water conservation in Spain: The case of Riegos del Alto Aragón. *Agricultural Water Management* 97: 1663–1675
- Lopez-Gunn, E., Zorrilla, P., Prieto, F. y Llamas, M.R. (2012): Lost in translation? Water efficiency in Sapanish agriculture. *Agriculture Water Management*, 108: 83-95
- Malano, H., y Burton, M. (2001): Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector. Int. Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- MAPA (2001): Plan Nacional de Regadíos. Horizonte 2008. Madrid, Spain

Rodríguez Díaz, J. A., Pérez Urrestarazu, L., Camacho Poyato, E., Montesinos, P. (2011): The paradox of irrigation scheme modernization: more efficient water use linked to higher energy demand. Spanish Journal of Agricultural Research 9(4): 1000-1008

Tabla 1. Costes del agua (€ha⁻¹) antes y después de la modernización

	BMI		BMD		BXII		MDG		GU	
	01/02	10/11								
C_C	50.7	70.0	54.0	67.0	99.1	86.0	**	66.9	69.2	66.7
C_G	81.8	81.0	79.9	74.5	72.2	70.0	**	96.1	78.0	110.0
C_E	0.0	138.4	2.9	118.6	122.2	160	**	0.0	12.1	39.5
C_T	132.5	289.4	136.8	260.1	293.5	316.0	**	163.0	159.3	216.2
C_E/C_T	0.0	0.48	0.02	0.46	0.42	0.51			0.08	0.18

**No disponible

Tabla 2. Indicadores de productividad aparente para las campañas 2001/2002 y 2010/2011

	¹ €ha ⁻¹		² €m ⁻³		³ €m ⁻³ (ETc)		⁴ €UTA ⁻¹	
	01/02	10/11	01/02	10/11	01/02	10/11	01/02	10/11
BMI	1058	4252	0.13	0.92	0.12	0.61	14722	27109
BMD	1698	2338	0.25	0.41	0.20	0.29	17869	15751
BXII	4916	4906	0.64	1.04	0.59	0.55	69366	66042
GMD	1817	3218	0.30	0.83	0.20	0.43	14004	18168
GU	2078	2197	0.29	0.39	0.24	0.26	41103	37213

¹ Productividad bruta por unidad de superficie regada

² Productividad bruta por unidad de volumen de riego suministrada

³ Productividad bruta por unidad de volumen de agua requerida por los cultivos

⁴ Productividad bruta de la mano de obra

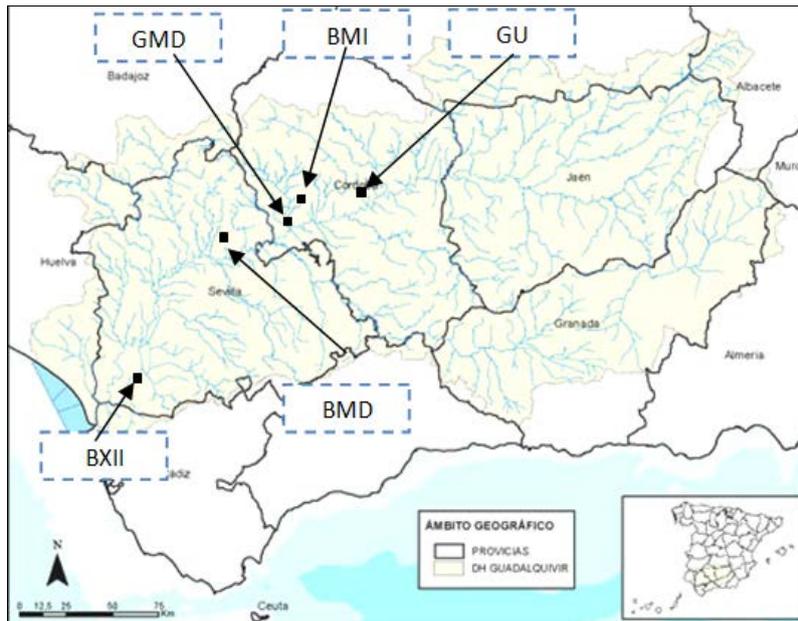


Figura 1. Localización de las CCRR

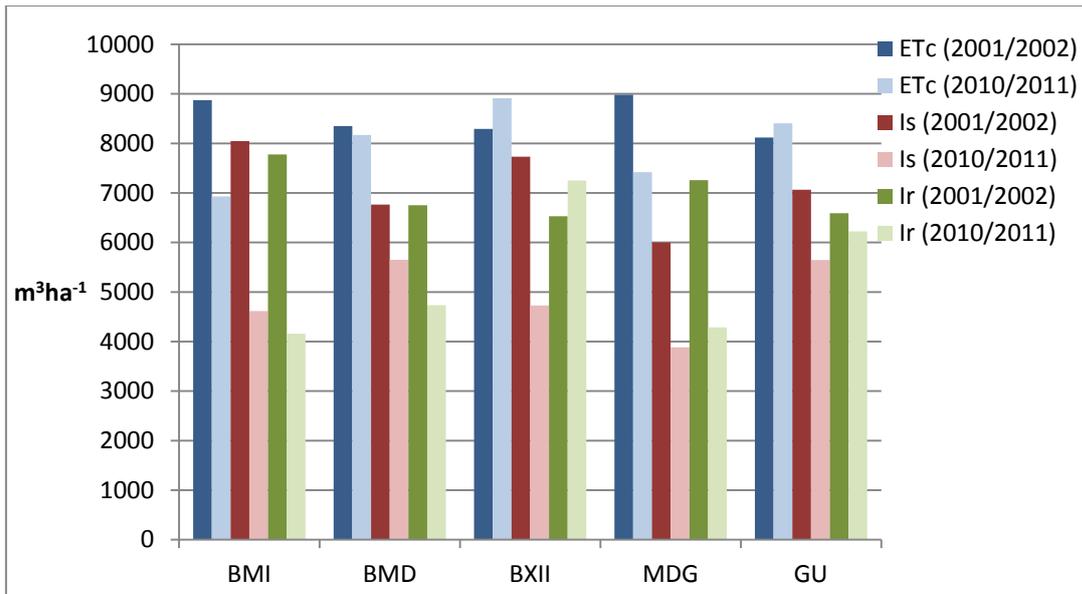


Figura 2. Requerimientos teóricos de agua de los cultivos (ETc), volumen de riego suministrado (Is) y necesidades de riego teóricas (Ir) antes y después de la modernización.

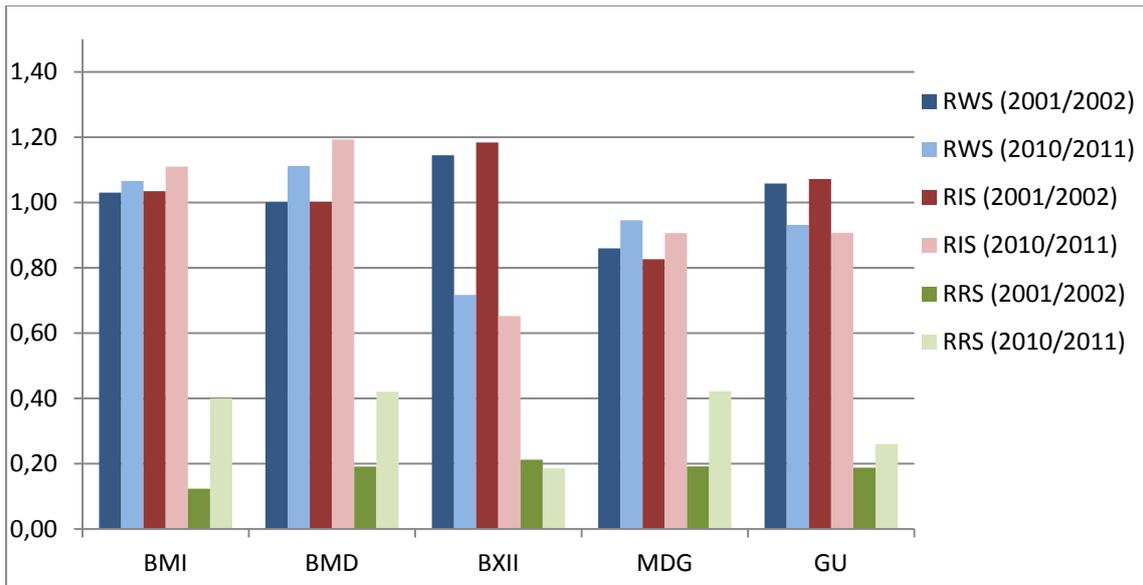


Figura 3. Indicadores RWS, RIS y RRS antes y después de la modernización

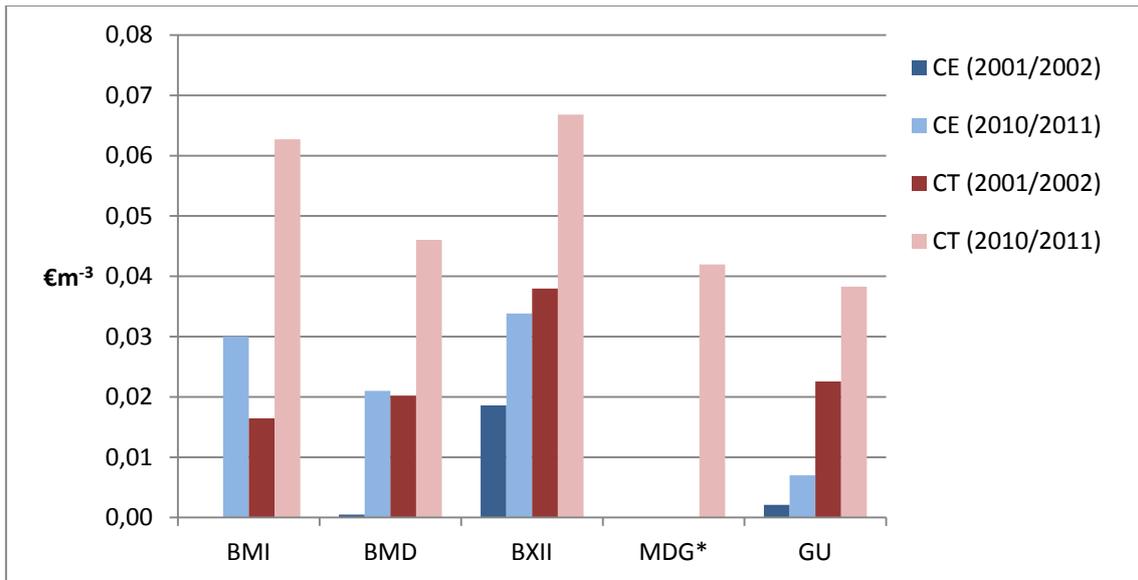


Figura 4. Coste energético (C_E) y coste total (C_T) antes y después del proceso de modernización

*No disponible

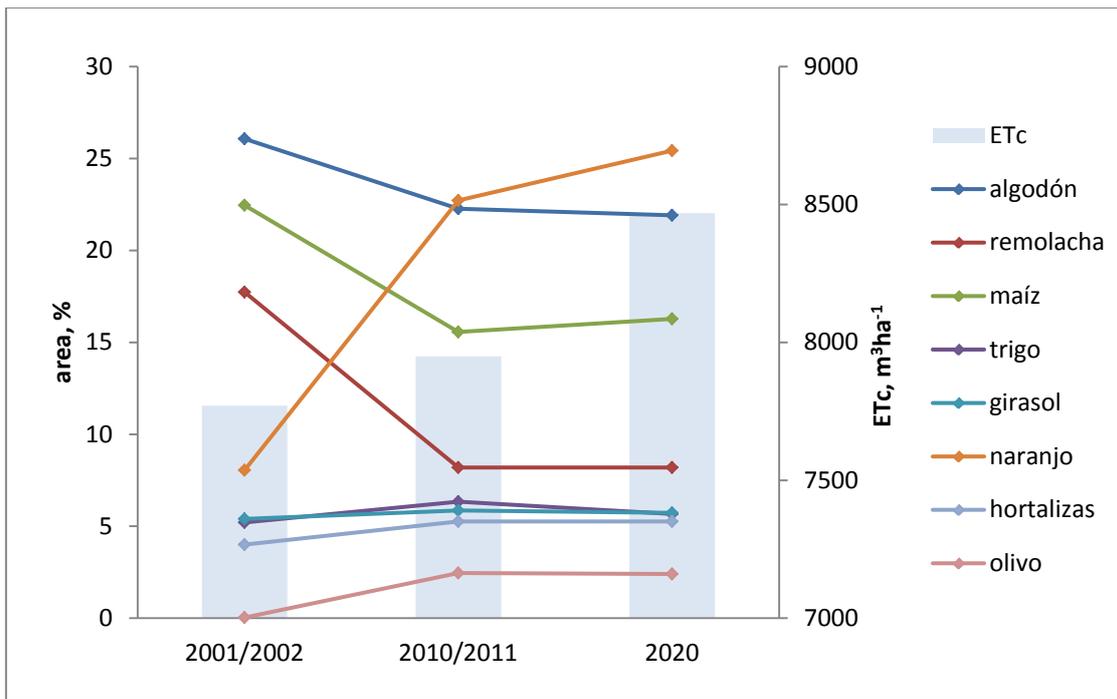


Figura 5. Evolución de la ETC y de la superficie de los cultivos en las campañas 2001/2002 y 2010/2011 y previsiones para el año 2020, considerando de forma conjunta los cultivos de las cinco CCRR analizadas