

Diciembre 2018

# Valoración del agua de riego: el caso del olivar en riego deficitario

Autores: Alfonso Expósito y Julio Berbel



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

WORKING PAPER

# Valoración del agua de riego: el caso del olivar en riego deficitario

ALFONSO EXPÓSITO GARCÍA<sup>1,3</sup>; JULIO BERBEL VECINO<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Sevilla, <sup>2</sup>Universidad de Córdoba,

<sup>3</sup>Grupo de Investigación Water, Environmental and Agricultural Resources Economics (WEARE)

## 1. INTRODUCCIÓN.

La valoración del agua de riego como tema relevante en España es un campo novedoso dentro de la valoración agraria donde podemos mencionar como uno de los primeros trabajos el del profesor Caballer (Caballer y Guadalajara, 1998), que ha abierto un campo de estudio con aportaciones muy valiosas a la economía agraria y la gestión de recursos hídricos en España. La agronomía del riego por su parte ha sufrido una transformación técnica donde la aparición de sistemas modernos y automatizados (e.g. riego de precisión y localizado, sensores, automatismos) ha cambiado la forma de trabajar en gran parte del agro-sector español mejorando la calidad de vida y la productividad de todos los factores de producción implicados. Una de las técnicas que tienen una importancia creciente es el riego deficitario (RD) (Berbel, et al, 2015), consistente en aportar al cultivo dosis inferiores al óptimo económico tradicional como consecuencia de la escasez del recurso y de otras consideraciones que son el objeto de este trabajo. Este trabajo se centra en el análisis de la técnica del RD, definida como el suministro de agua de riego por debajo de los requisitos totales de riego a lo largo del ciclo de cultivo (Molden, et al, 2010).

Este trabajo plantea un modelo agro-microeconómico que permite la valoración del agua de riego incluyendo la práctica de RD y las decisiones asociadas a ésta. Las técnicas de RD afectan considerablemente al valor marginal del recurso y, por tanto, a la demanda de agua en sus dos variables fundamentales, la cantidad demandada (dosis de riego aplicada) y el precio (elasticidad-precio). English (1990) desarrolló la estructura analítica para la toma de decisiones en este contexto desde una perspectiva agronómica, mientras que Molden et al. (2010) argumentan que la productividad del agua puede mejorarse mediante prácticas que incluyen el riego suplementario, el RD, las técnicas de riego de precisión y de conservación del recurso hídrico.

Con respecto a la dosis de agua utilizada por los agricultores, tradicionalmente se ha asumido la hipótesis de que hay una disponibilidad limitada de tierra de riego y un suministro de agua ilimitado (el riego disponible supera significativamente las necesidades de cultivo). En consecuencia, el agua se trata como un insumo variable y la tierra como un recurso limitado.

En su modelo de RD, Berbel y Mateos (2014) amplían el modelo desarrollado por English (1990) para explicar el RD y sus implicaciones microeconómicas. Este modelo teórico nos servirá para realizar un ejercicio de valoración microeconómica de la demanda de agua para una muestra de agricultores de olivar de regadío en la Cuenca del Guadalquivir. En particular, analizaremos la decisión de la dosis de agua aplicada a su cultivo y la elasticidad de su demanda de riego ante variaciones en el coste (precio) del agua.

El RD es el régimen predominante de la mayoría del olivar regado en Andalucía donde la mayoría de las 586.707 ha. (MAGRAMA, 2015) se riegan con una dotación en torno al 50% de sus necesidades teóricas (Berbel, et al, 2011). Esta superficie regada en régimen de RD supone una superficie equivalente a toda la provincia de Alicante, lo que nos permite hacernos una idea de su relevancia, y justifica que se le dedique tiempo al estudio de las implicaciones del RD en el valor del agua. La evolución de la cuenca del Guadalquivir incluyendo el importante papel que el RD ha jugado se trata detalladamente en el trabajo de Berbel et al. (2013).

Este trabajo tiene como objetivo principal analizar el impacto del RD en la estructura de la demanda de agua en base a la siguiente hipótesis: los agricultores maximizan el retorno económico conjunto de agua y tierra considerando ambos recursos variables, pero asumiendo que hay una limitación en la disponibilidad del agua de riego como un factor productivo fijo y la tierra regada como un insumo variable. Este planteamiento se aleja del tradicional que asume el agua como insumo variable y la tierra como recurso limitado. Este comportamiento es consistente con la percepción de los recursos hídricos en cuencas donde el agua es considerada el factor limitante más importante para la producción agrícola, como es el caso de muchos agricultores en todo el mundo, especialmente en cultivos extensivos de zonas semiáridas.

Como consecuencia de lo anterior se deduce un corolario muy relevante para la formulación de políticas ambientales. Este se puede formular como sigue: “la demanda de cultivos bajo RD muestra una elasticidad-precio muy baja y notablemente inferior a dotaciones de riego próximas al máximo técnico”. Es decir, en áreas donde los agricultores adoptan RD como estrategia predominante en respuesta a la escasez de agua, la estructura de la función de demanda de agua también se ve afectada por su elasticidad con respecto al precio, lo que lleva a una pérdida significativa de la eficacia de las políticas de precio.

Con el fin de analizar esta hipótesis y sus implicaciones para las políticas de aguas, se realizó una encuesta a agricultores de olivar intensivo de regadío ubicados en la Cuenca del Guadalquivir con el fin de determinar: (1) si los agricultores tienen expectativas racionales con respecto a la maximización del retorno económico del agua de riego; (2) si las decisiones con respecto a la cantidad de agua utilizada se corresponden con las maximización del rendimiento del agua como factor limitado o, por el contrario, si los agricultores se comportan como si estuvieran maximizando el rendimiento de la tierra; (3) si los valores estimados de producto marginal del agua implican la ineficacia del precio del agua.

El resto del trabajo se organiza de la siguiente forma. La Sección 2 presenta el esquema de análisis teórico para el estudio de las decisiones de riego (valoración de la cantidad demandada de riego) y la estructura de la demanda (valoración de la elasticidad de la demanda de riego). El estudio de caso y los resultados se presentan en las Secciones 3 y 4, respectivamente. Finalmente, las principales conclusiones se resumen en la Sección 5.

## 2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE AGUA DE RIEGO.

### 2.1. Cantidad demandada.

La mayoría de los modelos que analizan la toma de decisiones de riego agrícola se basan en el uso de datos objetivos sobre atributos económicos y físicos (Anderson, et al, 1977). Alternativamente, Hardaker y Lien (2010) argumentan que el análisis de toma de decisiones debe explorar la visión subjetivista donde la probabilidad de un resultado se define como el grado de creencia en una proposición incierta. Este trabajo adopta un enfoque alternativo por dos razones. En primer lugar, en el contexto de nuestro caso de estudio (olivar intensivo de regadío en la cuenca del Guadalquivir), hay una falta de datos suficientemente contrastados. En segundo lugar, queremos comparar el comportamiento observado con respecto al uso del agua de riego con las predicciones aportados por la teoría microeconómica del RD, siguiendo el trabajo de English (1990).

La medición de la relación entre el rendimiento del cultivo y el agua utilizada es el enfoque más general para el estudio de las decisiones de uso del agua como factor productivo. Inicialmente fue desarrollado por Doorenbos y Kassam (1979), mientras que Steduto et al (2012) presentan una revisión actualizada y exhaustiva de los coeficientes que regulan la respuesta de los cultivos al suministro de agua. Tradicionalmente, un agricultor determina la dosis de riego ( $W$ ) teniendo en cuenta el nivel de evapotranspiración ( $ET$ ), la lluvia efectiva y la eficiencia del riego. Además, esta última depende de la uniformidad de la aplicación y el suministro relativo de riego (o  $RIS$  del inglés ‘Relative Irrigation Supply’). La ratio  $RIS$  es una relación entre el suministro aplicado de agua de riego en comparación con las necesidades máximas de riego (Molden, et al, 1998). En el corto plazo, la variable de decisión que se puede manejar es la dosis aplicada de riego.

El valor del agua  $w$ , y, por tanto, la demanda de agua puede obtenerse como una función de la productividad marginal, que cuando se multiplica por el precio, arroja el valor marginal del agua. La productividad marginal de la cantidad relativa de agua de riego utilizada es la derivada parcial de la función de producción  $Y(w)$  con respecto al agua " $w$ ".

La mayoría de los modelos de uso de agua se basan en el supuesto de que hay una disponibilidad limitada de tierra de regadío, pero el suministro de agua es ilimitado (es decir, supera significativamente las necesidades de cultivo). En consecuencia, el agua se trata como un insumo variable y la tierra como un recurso restringido. Esta suposición implica que los agricultores que muestren un comportamiento económico racional deberían maximizar la siguiente ecuación de beneficio:

$$Z = P_y Y - P_w W - C \quad (1)$$

donde  $Z$  representa el beneficio,  $P_y$  es el precio del cultivo,  $P_w$  es el precio del agua y  $C$  representa los costes fijos. En su modelo de RD, Berbel y Mateos (2014) amplían el modelo desarrollado por English (1990) para explicar el RD, los cambios de eficiencia y la situación en la cual la tierra es un factor variable y el agua es un factor limitante. Por lo tanto, los agricultores que se comportan racionalmente (en un sentido económico) buscan maximizar el ingreso neto total, representado por la siguiente expresión:

$$Z \cdot A = A \cdot (P_y Y - P_w W - C) \quad (2)$$

English y Raja (1996) ilustran este modelo con un ejemplo basado en las funciones cuadráticas de producción y coste en relación al agua, representadas a continuación:

$$\begin{aligned} Y(w) &= a_1 + b_1 W + c_1 W^2 \\ C(w) &= a_2 + b_2 W \end{aligned} \quad (3)$$

La solución al problema de optimización planteado en la (1) considera el factor tierra como fijo (o limitante) y el agua como factor variable. Esto se basa en los supuestos convencionales con respecto a la toma de decisiones del agricultor; es decir, que buscan óptimos económicos en el uso de insumos como el agua, que se consideran insumos variables. La solución a este problema de optimización representa el rendimiento máximo de la tierra y está determinada por el valor de la dosis de riego 'W<sub>l</sub>' dado por:

$$W_l = \frac{b_2 - P_y b_1}{2 P_y c_1} \quad (4)$$

La solución al segundo problema planteado en la ecuación (2) plantea la maximización simultánea del área regada y el agua disponible que en la práctica implica que el recurso agua como un insumo limitado mientras que la tierra se considera variable. Este modelo alternativo brinda el máximo retorno al agua (cantidad de riego 'W<sub>w</sub>') en (5).

$$W_w = \left( \frac{P_y a_1 - a_2}{P_y c_1} \right)^{1/2} \quad (5)$$

Por último, una solución que también es relevante para nuestro análisis es la que determina el máximo técnico Y(w) en la eq. (3) Esta solución directa se usa ampliamente para determinar los requisitos máximos de riego; resolviendo la ecuación (3) el rendimiento máximo se encuentra en la cantidad de riego 'W<sub>m</sub>' representada por W<sub>m</sub> (6).

$$W_m = \frac{-b_1}{2 c_1} \quad (6)$$

La última solución es relevante para el análisis agronómico, siendo igual al óptimo económico cuando el precio del agua es cero en el caso de la consideración de la tierra como factor limitante (Eq. (1)). Con respecto a los parámetros del modelo, English (1990) incluyó todos los costes variables relacionados con la aplicación de agua de riego en el término 'b<sub>2</sub>' que es 'P<sub>w</sub>' en la eq. (1), es decir, el valor de P<sub>w</sub> incluye el coste marginal del abonado y otros insumos que se pueden relacionar directamente con el rendimiento del cultivo considerando el resto de costes fijos.

En este trabajo compararemos la dosis real que el agricultor normalmente aplica a su cultivo de olivar con estas tres soluciones teóricas al problema de optimización, en base a las estimaciones obtenidas de una muestra de agricultores que utilizan ampliamente las técnicas RD, tal y como se describe más adelante.

## 2.2. Elasticidad de demanda.

En la literatura ha sido muy frecuente asumir que un aumento del precio del agua de riego es una herramienta eficaz para fomentar el ahorro de agua a través de la adopción de técnicas

de riego más eficientes. Este paradigma influyó de manera notable la política de aguas como muestra el Art 5 de la Directiva Marco de Aguas que propugna la recuperación completa de costes como herramienta para fomentar el ahorro del recurso.

Sin embargo, cada vez hay más autores que concluyen que la demanda de agua de riego (sobre todo en zonas con escasez y alta productividad) presenta una elasticidad muy baja y que las políticas de precios son poco efectivas para reducir su consumo. Como el precio del agua rara vez es determinado por el mercado, el análisis de la demanda de agua debe basarse en la estimación del valor del agua obtenido a partir de un problema de optimización de la función de producción de los agricultores (Dinar y Letey 1996; Rosegrant, et al, 2001; Jeder, et al, 2014).

Los estudios de Bernardo y Whittlesey (1989), Ogg y Gollehon (1989), Dinar y Letey (1996) y Varela-Ortega et al. (1998) constituyen buenos ejemplos de análisis de la capacidad de respuesta a los precios del agua entre los agricultores bajo un suministro de agua restringido (inelasticidad de la demanda). Sin embargo, aún es discutible si el precio del agua es o no una medida efectiva en la gestión de la demanda de agua (De Fraiture y Perry 2007; Expósito y Berbel, 2017a). En este mismo sentido, varios estudios afirman que la demanda de agua de riego es inelástica por debajo de un precio umbral (o límite) y elástica a partir de éste (Perry, 2001; Ray, 2002). En consecuencia, se requeriría un aumento considerable del precio para producir una reducción significativa de la cantidad demandada de agua. Finalmente, la elasticidad de la demanda de agua de riego aplicada es muy superior a la elasticidad del agua consumida o evapotranspirada, tal y como indica el modelo desarrollado en Berbel et al (2018).

En nuestro caso de estudio, al igual que en muchas otras partes del mundo, los agricultores no deciden libremente la cantidad de agua que usan para regar sus cultivos, ya que el acceso al agua está restringido por la existencia de un sistema de derechos de agua (o asignaciones fijas). En condiciones de escasez de agua y bajos precios del agua, es probable que la cantidad asignada sea inferior a la cantidad de agua que los agricultores estarían dispuestos a tomar al precio existente, promoviendo así el uso de técnicas de RD. Este hecho alentaría el uso de dosis de riego que maximizarían los retornos al agua, en lugar de los retornos a la tierra como propone el trabajo de English (1990), y Berbel y Mateos (2014). Cuando se adoptan extensivamente las técnicas de RD, se demuestra que las decisiones de riego de los agricultores consiguen un máximo retorno al agua (Expósito y Berbel, 2016). Esto se debe a que el agua de riego es considerada el factor más limitante, en lugar de la hipótesis más convencional que maximiza el retorno a la tierra.

El impacto del precio umbral para evaluar la efectividad potencial de los precios del agua en ciertos lugares (De Fraiture y Perry, 2007) depende de varios factores agronómicos (tipo de cultivo y tierra) y la tecnología de riego (gravedad, aspersión o goteo). Este punto es especialmente significativo en el caso de agricultores altamente eficientes (aquellos que ya usan técnicas de riego de alta eficiencia, como el goteo en nuestro caso de estudio) y con respecto a cómo sus decisiones de riego dependen de sus percepciones subjetivas.

### 3. CASO DE ESTUDIO.

El caso de estudio forma parte de la cuenca del río Guadalquivir, que es el río más largo del sur de España con una longitud de 650 km. La cuenca cubre un área de 58.000 km<sup>2</sup> con una población de 4,1 millones (las ciudades más pobladas son Sevilla, Córdoba y Granada). Tiene un clima mediterráneo con una distribución de lluvias desigual (630 mm) y una temperatura

media anual de 16.8 °C. Los recursos anuales renovables se estiman en 7.1 km<sup>3</sup> para las aguas superficiales y 2,6 km<sup>3</sup> para las aguas subterráneas. En 2014, el consumo de agua per cápita en la cuenca fue de 1.600 m<sup>3</sup>, y la agricultura fue el principal consumidor con el 87% del total. Trabajos como Berbel et al. (2012) y Expósito y Berbel (2017c) presentan una descripción detallada de la cuenca y su estado agronómico, resaltando que el olivar de riego en régimen deficitario representa el 50% de la superficie cultivada.

El trabajo de campo se realizó en la primavera de 2014 con información de los agricultores de olivares intensivos sobre el rendimiento y las dosis de riego por hectárea, entre otros datos, en el período 2010-2013. La encuesta original consistió en 99 observaciones (agricultores), y los valores promedio en la encuesta son: (a) tamaño de la finca: 40 ha; (b) densidad: 283 árboles / ha; (c) derechos de agua: 2.723 m<sup>3</sup> / ha (asignación al agricultor); y (d) dosis de riego: 1.028 m<sup>3</sup>/ha. Aquí observamos una discrepancia, ya que el uso del agua representa el 38% de los derechos de agua (dosis de riego / derechos de agua = 1.028 / 2.723), lo que consideramos una indicación de la estrategia de RD dominante en nuestro caso de estudio. La evapotranspiración potencial en el año de la encuesta se estimó en 492 mm para el olivar intensivo. Los estadísticos descriptivos de las variables que caracterizan nuestra muestra (área de cultivo, densidad, edad de los olivares y derechos de riego asignados) se muestran en el cuadro 1.

	Área (ha)	Densidad (árboles/ha)	Edad (años)	Derecho riego (m <sup>3</sup> /ha)	Producción (kg/ha)	Riego aplicado (m <sup>3</sup> /ha)
Media	40	283	15	2.723	6.382	1.028
Desv. St.	64	80	6	1.846	2.344	388
Mínimo	1	208	4	200	333	200
Máximo	400	571	30	7.000	13.833	2.500

*Cuadro 1. Estadísticos descriptivos.*

De la muestra inicial de 99 agricultores, 51 fueron descartados a efectos de cálculo de esta función de respuesta al riego ya que presentaban errores de estimación (es decir, rendimientos crecientes a escala) y/o ausencia de información. En consecuencia, nuestra muestra se redujo a 48 observaciones válidas. La función de producción de agua se obtuvo preguntando a los agricultores sobre sus expectativas de rendimiento con respecto a tres niveles de riego: riego completo, RD habitual y RD extremo. Bajo el supuesto de que los agricultores muestran respuestas racionales, las respuestas debían cumplir las siguientes condiciones:

- Identificar el rendimiento productivo para cada uno de los tres niveles de riego.
- Exhibir retornos decrecientes a escala para los diferentes niveles de riego.
- Generar una curva de rendimiento de agua en el rango agronómico "normal" (el rendimiento máximo debe estar dentro del rango normal para el cultivo y la región).

A partir de los datos obtenidos, se ha estimado una función individual subjetiva de demanda de agua en una curva de rendimiento hídrico individual en el rango agronómico "normal". Las respuestas dadas por los agricultores con respecto a sus expectativas de consumo de agua (m<sup>3</sup>/ha) y rendimiento de cultivo (kg de aceituna/ha) en tres posibles escenarios de riego permiten estimar una función de producción cuadrática tal y como define (3).

#### 4. RESULTADOS.

El estudio compara las dosis reales de riego aplicadas por los agricultores con las tres soluciones óptimas para el problema de optimización planteado por English (1990) y descrito en la Sección 2. Para ello, se calculan los valores de las soluciones óptimas,  $W_m$ ,  $W_l$  y  $W_w$ , para cada agricultor de nuestra muestra. La figura 1 ilustra el caso del agricultor nº42 que declaró que sus expectativas de respuesta al riego eran en ud. por hectárea (a) riego completo (2600 m<sup>3</sup>; 8500 kg); (b) riego habitual -RD- (1300 m<sup>3</sup>/ha; 7000 kg); y (c) RD extraordinario (400 m<sup>3</sup>/ha; 3000 kg) usando los tres puntos de referenciase puede estimar la siguiente función de respuesta:

$$Y = 444 + 6,99 W - 0,0015 W^2 \quad (7)$$

Teniendo en cuenta un precio de la aceituna de 0.43 EUR/kg y los costes de cosecha declarados por el agricultor de 0,12 EUR/kg, se obtiene un precio neto de ( $P_y = 0,31$  EUR/kg). Por otra parte, los costes fijos de este agricultor son 675 EUR/ha y el coste variable de riego es de 0,20 EUR/m<sup>3</sup>. Todo ello nos lleva a la siguiente función de ingresos y costes del agricultor #42 que se muestran en la Figura 1.

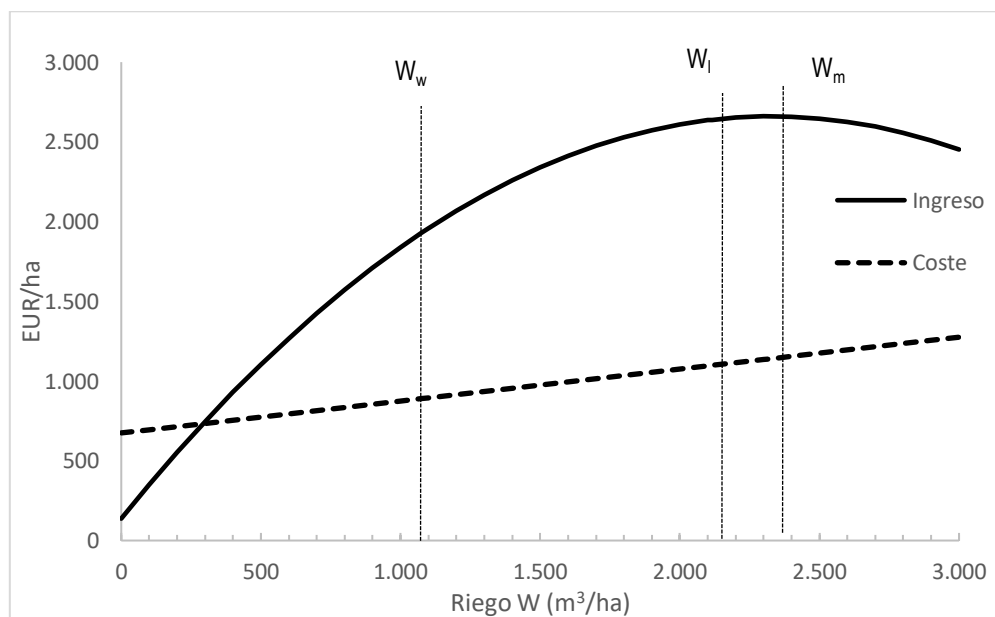


Figura 1: Función de respuesta al riego y soluciones óptimas (sujeto nº 42).

Los parámetros descriptivos de las estimaciones de cada solución para nuestra muestra de agricultores se muestran en el cuadro 2, junto con los valores correspondientes a la dosis de riego utilizada con mayor frecuencia (RD habitual) por los agricultores encuestados y las dosis de riego promedio aplicadas en el período 2010 -2013.



m <sup>3</sup> /ha	Solución teórica		Observación		
	Máx. Rdto. (W <sub>m</sub> )	Máx. Retorno Tierra (W <sub>i</sub> )	Máx. Retorno Agua (W <sub>w</sub> )	Riego habitual (W <sub>u</sub> )	Riego medio aplicado 2010–2013 (W <sub>o</sub> )
Máximo	6.759	6.566	2.731	2.500	2.500
Mínimo	538	613	248	600	600
Mediana	3.060	2.802	1.013	1.450	1.042
Media	3.178	3.005	1.163 <sup>1,2</sup>	1.357 <sup>1</sup>	1.103 <sup>2</sup>
Desv. St.	1.391	1.298	571	425	350

<sup>1</sup>Al 95% de confianza, el t-test de diferencias en medias determina la igualdad de valores medios entre W<sub>u</sub> y W<sub>w</sub>; <sup>2</sup>Al 95% de confianza, el t-test de diferencias en medias determina la igualdad de valores medios entre W<sub>o</sub> y W<sub>w</sub>.

Fuente: Adaptado de Expósito y Berbel (2016).

*Cuadro 2. Soluciones teóricas y valores observados.*

Tal y como se muestra en el cuadro 2, la solución para el máximo retorno de la tierra (W<sub>i</sub>), equivalente al óptimo económico tradicional, es muy diferente de la dosis promedio realmente aplicada por los agricultores (W<sub>o</sub>) y la dosis habitual (W<sub>u</sub>). Además, la dosis promedio aplicada es cercana a la dosis de riego que maximiza los retornos del agua cuando éste es el recurso limitado (W<sub>w</sub>). Una simple prueba t-student de significancia entre los valores medios de las distribuciones de datos para W<sub>o</sub> y W<sub>u</sub>, y la obtenida de la distribución estimada de la variable W<sub>w</sub>, muestra que las distribuciones W<sub>o</sub> y W<sub>w</sub>, así como W<sub>u</sub> y W<sub>w</sub>, tienen distribuciones similares con valores medios estadísticamente iguales. Este resultado parece indicar que los agricultores muestran un comportamiento similar (en promedio) al correspondiente a la maximización de los retornos al agua, descartando las alternativas de maximizar la producción o alcanzar el óptimo económico. De esta forma, los resultados obtenidos del modelo microeconómico confirmarían que los agricultores de nuestra muestra tienden a maximizar los retornos al agua, considerando el volumen de agua como un insumo fijo y la tierra como un insumo variable.

Con el objetivo de analizar el corolario de nuestro modelo con respecto al impacto de las técnicas de RD en la estructura de la demanda de agua y su elasticidad al precio, se han estimado los niveles de precio umbral para cada agricultor de la muestra. El cuadro 3 muestra los estadísticos descriptivos de estos precios umbral en base el valor del producto marginal estimado de la dosis de riego usual aplicada por cada agricultor, junto con información sobre el coste actual del agua. El valor promedio estimado para nuestra muestra sitúa el precio umbral entorno al valor de 1,20 EUR/m<sup>3</sup>, que es 10 veces el coste promedio actual del agua (0,11 EUR/m<sup>3</sup>).

	Coste (EUR/m <sup>3</sup> )	Riego aplicado (m <sup>3</sup> /ha)	Precio umbral (EUR/m <sup>3</sup> )
Máximo	0,30	2.500	4,68
Mínimo	0,05	600	0,20
Mediana	0,08	1.042	1,03
Media	0,11	1.103	1,22
Desv. St.	0,09	350	0,88

Fuente: Adaptado de Expósito y Berbel (2017a).

*Cuadro 3. Coste del agua, riego aplicado y precio umbral.*

Como se mencionó anteriormente, el precio umbral está influenciado por la tecnología de riego adoptada por el agricultor y las prácticas de gestión del agua existentes en la cuenca. Estos dos factores generalmente influyen en la evolución del valor económico del agua. Además, cuando las técnicas de RD se adoptan de forma extensiva, se produce un aumento del precio de umbral. En consecuencia, el valor del producto marginal del agua y el precio umbral determinan la estructura de la demanda de agua, evolucionando de forma independientemente al coste del recurso. Por lo tanto, en el caso del olivar intensivo en RD, no puede esperarse que el coste del agua desempeñase un papel clave en el control de la demanda de riego de los agricultores, a menos que los precios del agua de riego aumenten de manera desproporcionada sobre los costes actuales hasta superar el precio umbral.

Como ejemplo, y para el caso del agricultor mediano de nuestra muestra, el precio umbral del agua se estima en 1,03 EUR/m<sup>3</sup>, que es mucho más alto que el coste del agua (0,08 EUR/m<sup>3</sup>) e incluso que el coste más alto de nuestra muestra (0,30 EUR/m<sup>3</sup>). En este caso, y suponiendo el mayor coste del agua observado, la renta económica estimada para el agricultor se situaría en 1.099 EUR/ha, coincidiendo en términos aproximados, con los últimos datos disponibles de las estadísticas de renta agraria.

## 5. CONSIDERACIONES RESPECTO AL VALOR DEL AGUA.

Las implicaciones a escala de agricultor pueden ilustrarse desarrollando el ejemplo del agricultor mostrado en la figura 1. A partir de los datos de costes, precios y respuesta al riego se llega a las siguientes soluciones relevantes para los tres problemas de optimización posibles.

	Riego (W) m <sup>3</sup> /ha	RD (%)	Ingreso Marginal EUR/m <sup>3</sup>	Ingreso Medio EUR /m <sup>3</sup>	Beneficio Medio EUR/m <sup>3</sup>	Eq.
Máximo Técnico	2.330	100	0,00	1,14	0,65	(6)
Optimo Económico	2.115	91	0,20	1,25	0,73	(5)
Optimo en RD	1.075	46	1,17	1,79	0,97	(4)

Fuente: elaboración propia. Datos del sujeto n° 42.

*Cuadro 4: Soluciones a problemas de optimización para agricultor ejemplo.*

Si el agricultor tuviera un volumen de agua limitado a una cantidad como, por ejemplo, 10.000 m<sup>3</sup> para toda su finca, y tuviera una superficie de tierra superior a las 10 ha cultivada de cereal o en barbecho, el beneficio conjunto del empleo del agua que podría obtener si optara por las tres estrategias posibles de riego sería de 6.500 EUR, 7.300 EUR y 9.700 EUR, respetivamente. El uso de la estrategia de RD supone un mayor beneficio del acuicultor y un mayor retorno al recurso más limitante que es el agua de riego, cuyo valor marginal crece hasta 6 veces respecto al riego óptimo considerado tradicionalmente y un 30% el valor total generado por el recurso agua.

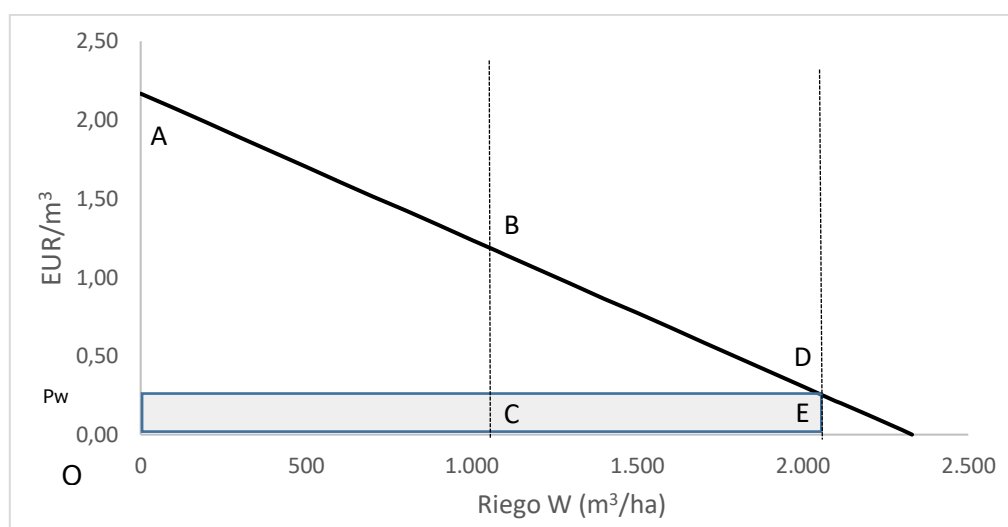


Figura 2: Valor marginal del agua de riego (sujeto n° 42).

Los valores del cuadro 4 quedan ilustrados en la Figura 2, que muestra como tanto el valor total [OABC] como el valor neto en el caso de RD (restando el segmento [W<sub>w</sub>· P<sub>w</sub>]) es considerablemente mayor que el equivalente en el caso de riego óptimo a la tierra W<sub>1</sub> de la eq. (4), es decir el área [OADE] o el equivalente en valor neto. Asimismo, la figura ilustra que en el óptimo económico W<sub>1</sub>, cualquier aumento marginal del coste del agua P<sub>w</sub> implica una reducción de la cantidad demandada de agua de riego, aunque este aumento no afecta en el caso de RD, según lo comentado en la sección anterior.

Si se extrapola este comportamiento microeconómico a escala de cuenca puede verse que el valor del agua crecería entre el 140% y el 160% en términos globales (valor medio) respecto a un modelo convencional en el máximo técnico o en el óptimo convencional, respetivamente. La aplicación del RD de manera generalizada supondría generar un valor neto [beneficio medio por volumen usado] superior en un 30% respecto al óptimo convencional o un 50% respecto al uso del agua en el máximo técnico. Estos valores ponen en evidencia las consecuencias de una adopción generalizada de la técnica de RD ya que el valor del agua en un contexto de escasez sería considerablemente superior al que resulta de aplicar técnicas convencionales de riego.

Por último, hay que considerar la situación de que, por razones de escasez, las dotaciones de riego sean inferiores incluso al óptimo en RD, caso muy frecuente en olivares con riegos de recursos no regulados o invernales. Uno contexto de este tipo podría representarse en el agricultor ejemplo, con la situación en la que solo pudiera disponer de 500 m<sup>3</sup>/ha, en cuyo caso tendría un Ingreso Marginal de 1,70 EUR/m<sup>3</sup>, un ingreso medio para los primeros 500 m<sup>3</sup> de 2,21EUR/m<sup>3</sup> y un beneficio medio de 0,66 EUR/m<sup>3</sup> valores más que suficientes para

justificar el riego y que aunque serían sub-óptimos desde el punto de vista de la rentabilidad privada elevan la productividad del agua al doble de la que se obtendría con el planteamiento tradicional de riego completo u óptimo económico clásico. Las consecuencias a escala regional o de cuenca son evidentes.

## 6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

En los últimos veinte años se han logrado avances sustanciales en la aplicación práctica del RD para cultivos anuales y perennes (FAO, 2002). La mayoría de los estudios analizan los aspectos técnicos y agronómicos de las prácticas de RD, mientras que los aspectos económicos han recibido un escaso interés.

Este ejercicio pretende contribuir a ese análisis económico aportando resultados preliminares sobre las implicaciones microeconómicas del RD en la demanda de agua del agricultor. No obstante, se requieren más trabajos que expliquen otros aspectos como la incertidumbre y las actitudes del agricultor hacia el riesgo, lo que puede explicar algunas de las diferencias observadas entre el comportamiento subjetivo de los agricultores y las predicciones teóricas. Reflexiones similares a las que se han efectuado con el caso del olivar pueden aplicarse a otros cultivos como mediterráneos (almendro, viña y otros) incluso en cultivos como los cítricos donde hay evidencias de que un RD controlado puede reducir consumo sin afectar a la producción.

Los resultados mostrados en este ejercicio coinciden con los de Young y Loomis (2014), Mesa-Jurado et al. (2010) y Berbel y Mesa (2007), aunque con enfoques alternativos al empleado en este caso. La similitud entre nuestros resultados basados en las expectativas del agricultor y aquellos basados en la derivación de la función de producción agronómica, pueden explicarse por el hecho de que los agricultores toman sus decisiones de riego considerando información científica (investigación agronómica de campo) y administrativa (Confederación Hidrográfica y Gobierno Regional) disponible y, consecuentemente, su experiencia personal puede verse reforzada por este conocimiento que explica la convergencia de las expectativas subjetivas de los agricultores y las obtenidas de modelizaciones teóricas.

Por el lado del precio, los defensores de las políticas de demanda se basan en tres argumentos principales (Perry, 2001). En primer lugar, el precio sirve como un instrumento de recuperación de costes para los servicios de agua. En segundo lugar, proporciona un incentivo para el uso eficiente de los recursos hídricos escasos y, en tercer lugar, actúa como una fuente de financiación para continuar proporcionando servicios hídricos esenciales en el futuro (Kumar y Singh, 2001). Además, la fijación de precios del agua se considera una forma adecuada de reflejar el valor económico y social del recurso y de asignarlo de manera eficiente a diferentes usos (Johansson, 2000), así como una herramienta estratégica para la política ambiental, tal y como se señala en la Directiva Marco del Agua (Comisión Europea, 2000) y el plan para salvaguardar los recursos hídricos de Europa (Comisión Europea, 2012). Nuestro trabajo aporta argumentos en favor de que el precio del agua es un instrumento no eficaz para controlar la demanda en casos de alta productividad, consideración para la que parece que finalmente después de años de defender lo contrario empieza a abrirse paso en el ámbito de la política europea (EEA, 2017).

No obstante, el hecho de defender el argumento de que la política de precios es poco efectiva para controlar una demanda tan inelástica (como la que se ha venido describiendo), es compatible con defender que se aplique una recuperación de costes para los servicios del agua

que permita la recuperación razonable de los mismos y tener recursos financieros para afrontar las necesidades crecientes que van a derivarse del crecimiento económico y del cambio climático que afronta nuestro país. El agua más cara es la que ‘no se tiene’ y es absolutamente necesario hoy, y lo será más en el futuro, financiar las infraestructuras y servicios para que estos sean sostenibles y se consiga una equidad social y una eficiencia económica.

Como hemos señalado, nuestro estudio se centra en un área y cultivo específicos (lo que claramente implica una limitación), demostrando que el uso de prácticas de RD permite al agricultor buscar el máximo retorno económico para el agua, y que esto hace la demanda de agua más inelástica al precio. En consecuencia, la política de precios del agua pierde efectividad en áreas caracterizadas por escasez de agua y restricciones de suministro (es decir, en acuíferos y cuencas sobreexplotadas), como es el caso de muchas cuencas de España (y en muchas otras partes del mundo con condiciones climáticas e hidrológicas similares). En este sentido, creemos que la adopción amplia de esta técnica puede tener graves consecuencias para la gestión de cuencas hidrográficas (Expósito y Berbel, 2017b), lo que requerirá una mayor investigación en este campo de estudio.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, J. R., Dillon, J. L., Hardaker, J. B. *Agricultural Decision Analysis*, Iowa State, University Press, Ames, 1977.
- Berbel, J., M. M. Borrego-Marín, C. Gutiérrez-Martín. *System of Water Accounting in Guadalquivir River Basin (SYWAG)*, Córdoba, Universidad de Córdoba, 2015.
- Berbel, J., Gutiérrez-Martín, C., Expósito A “Microeconomic analysis of irrigation efficiency improvement in water use and water consumption“. *Agricultural Water Management*. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.026>
- Berbel, J., Kolberg, S. Martin-Ortega, J. "Assessment of the draft Hydrological Basin Plan of the Guadalquivir River Basin (Spain)." *International Journal of Water Resources Development*, 28(1), 2012, pp 43-55.
- Berbel, J., Mesa-Jurado, M. A., Piston, J. M "Value of irrigation water in Guadalquivir Basin (Spain) by residual value method." *Water Resources Management*, 25(6), 2011, pp. 1565-1579.
- Berbel, J., Mesa, P. (2007). "Valoración del agua de riego por el método de precios quasi-hedónicos: aplicación al Guadalquivir." *Economía Agraria y Recursos Naturales*, (14), 2007, pp. 127-144.
- Berbel, J., Pedraza, V., Giannoccaro, G. "The trajectory towards basin closure of a European river: Guadalquivir." *International Journal of River Basin Management*, 11(1), 2013, pp. 111-119.
- Berbel, J., Mateos, L. “Does investment in irrigation technology necessarily generate rebound effects? A simulation analysis based on an agro-economic model”, *Agricultural Systems*, 128, 2014, pp. 25–34.
- Bernardo, D., Whittlesey, N. *Factor demand in irrigated agriculture under conditions of restricted water supplies*. U.S. Dept. of Agriculture. Economic Research Technical Bulletin 1765, 1989.
- Caballer, V., Guadalajara, N. *Valoración económica del agua de riego*. Madrid, Ediciones Mundi-Presa, 1998.

De Fraiture, C., Perry, C. J. “Why Is Agricultural Water Demand Irresponsive at Low Price Ranges?” En *Irrigation water pricing: the gap between theory and practice*. CABI Publishing and International Water Management Institute, 2007, pp. 94-107.

Dinar, A., Letey, J. *Modelling Economic Management and Policy Issues of Water in Irrigated Agriculture*. Westport (US), Praeger Publishers, 1996.

Doorenbos, J., Kassam, A. *Yield response to water*. FAO Irrig. Drain. Pap. 33., Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, 1979.

European Environmental Agency. *Water management in Europe: price and non-price approaches to water conservation*. Briefing. EEA, 2017

English, M. “Deficit irrigation. I: Analytical framework”, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE*, 116, 1990, pp. 399–412.

English, M., Raja, S. N. “Perspectives on deficit irrigation”, *Agricultural Water Management*, 32, 1996, pp. 1–14.

European Commission. Water Framework Directive. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.

European Commission. Communication from the Commission (COM(2012)673): A Blueprint to Safeguard Europe's Water Resources. European Commission: Brussels, 2012.

Expósito, A., Berbel, J. “Microeconomics of Deficit Irrigation and Subjective Water Response Function for Intensive Olive Groves”, *Water*, 8(6), 2016, 254.

Expósito A., Berbel J. “Why is water pricing ineffective for deficit irrigation schemes? A case study in southern Spain”, *Water Resources Management*, 31(3), 2017a, pp. 1047-1059.

Expósito A., Berbel J. “Sustainability implications of deficit irrigation in a mature water economy: a case study in southern Spain”, *Sustainability*, 9(7), 2017b, 1144.

Expósito, A., Berbel, J. “Agricultural irrigation water use in a closed basin and the impacts on water productivity: The case of the Guadalquivir river basin (Southern Spain)”, *Water*, 9(2), 2017c, 136.

FAO. Deficit Irrigation Practices. Water Reports 22. Rome (Italy), Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2002.

Hardaker, J. B., Lien, G. “Probabilities for decision analysis in agriculture and rural resource economics: The need for a paradigm change”, *Agricultural Systems*, 103, 2010, pp. 345–350.

Jeder, H., Sghaier, M., Louhichi, K., Reidsma, P. “Bio-economic modelling to assess the impact of water pricing policies at the farm level in the Oum Zessar watershed, southern Tunisia”, *Agricultural Economics Review*, 15(2), 2014, pp. 29-47.

Johansson R. C. *Pricing irrigation water: a literature survey*. World Bank. Policy Research Working Paper. Report: WPS2449, 2000.

Kumar, M. D., Singh, O. P. “Market instruments for demand management in the face of scarcity and overuse of water in Gujarat, Western India”, *Water Policy*, 3, 2001, pp. 387-403.

MAGRAMA. Informe sobre Regadíos en España ESYRCE. Madrid, España, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015.

Mesa-Jurado, M. A., Berbel, J., Orgaz, F. “Estimating marginal value of water for irrigated olive grove with the production function method”, *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(S2), 2010, pp. 197-206.

Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M. A. Kijne, J. “Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution”, *Agricultural. Water Management*, 97, 2010, pp. 528–535.

- Molden, D., Sakthivadirel, R., Perry, C. J., de Fraiture, C., Koezen, W. *Indicators for Comparing Performance of Irrigated Agricultural Systems*. Research Report 20. International Water Management Institute, 1998.
- Ogg, C. W., Gollehon, N. R. "Western irrigation response to pumping costs: a water demand analysis using climatic regions", *Water Resources Research*, 25, 1989, 767.
- Perry, C. J. *Charging for irrigation water: the issues and options, with a case study from Iran*. Research Report 24. International Water Management Institute, 2001.
- Ray, I. Get the prices right: A model of water prices and irrigation efficiency in Maharashtra, India. En *Irrigation Water Pricing. The gap between theory and practice*, CABI Publishing and International Water Management Institute, 2002, pp 108-125.
- Rosegrant, M., Ringler, C., McKinney, D. C., Cai, X., Keller, A., Donoso, G. *Integrated economic-hydrologic water modeling at the basin scale: The Maipo River Basin, Chile*, International Food Policy Research Institute, Washington D.C., 2001.
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D. Fereres, E. *Crop Yield Response to Water*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, 2012.
- Varela-Ortega, C., Sumpsi, J. M., Garrido, A., Blanco, M., Iglesias, E. "Water pricing policies, public decision making and farmers' response: Implications for water policy", *Agricultural Economics*, 19(1-2), 1998, pp. 193-202.
- Young, R. A., Loomis, J. B. *Determining the economic value of water: concepts and methods*, Routledge, Londres, 2014.