Feb. 2024

Principios de valoración del agua de riego

Julio Berbel

DOCUEMNTO D ETRABAJO

Citar como: Berbel, J. (2024) “Principios de valoración del agua de riego”. Documento de trabajo WEARE. Universidad de Córdoba

Apuntes de valoración del agua de riego [1]

JULIO BERBEL

1. INTRODUCCIÓN.

La valoración del agua de riego como tema relevante en España es un campo novedoso dentro de la valoración agraria. Una de las técnicas que tienen una importancia creciente es el riego deficitario (RD) 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.

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.

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. EN consecuencia, podemos pensar que en general la hipótesis clave es:

> “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.

[1] Estos apuntes se basan en varios trabajos del autor destacando: Expósito y Berbel (2018) “Valoración del agua de riego: el caso del olivar en riego deficitario. *Working paper. GRUPO WEARE. Universidad de Córdoba*

2.ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE AGUA DE RIEGO TRADICIONAL SIN ESCASEZ

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. 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. El valor del agua 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:

$$Z = P_y Y - P_w W - CF \qquad (1)$$

donde Z representa el beneficio, Py es el precio del cultivo, Pw es el precio del agua y CF representa los costes fijos.

Un ejemplo de esta valoración es el caso de algodón por goteo cuya respuesta se muestra a continuación[2] en la Figura 1

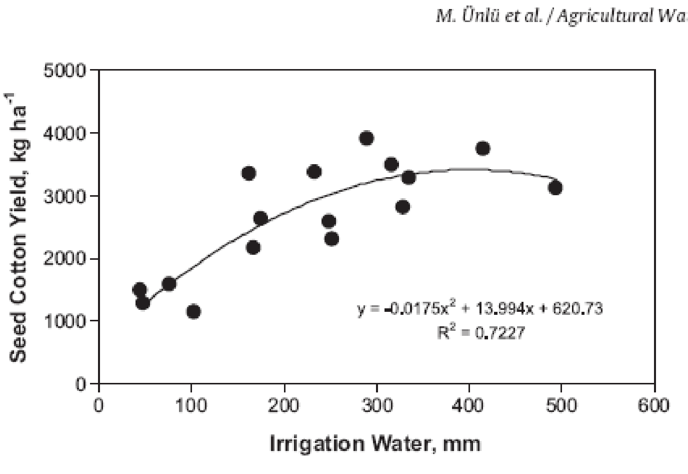


Figura 1: respuesta al agua de riego algodón goteo Turquía.

Un agricultor que conociera esta función de respuesta al riego de manera redondeada para facilitar los cálculos que se muestra en la siguiente ecuación, y que tuviera los siguientes precios

[2] Mustafa Ünlü∗, Rıza Kanber, D. Levent Koc¸ , Servet Tekin, Burc¸ ak Kapu Effects of deficit irrigation on the yield and yield components of drip irrigated cotton in a mediterranean environment Agricultural Water Management 98 (2011) 597–605

y costes que se muestran a continuación, tendría la siguiente solución al problema de optimización del uso del agua.

Y = 620 +14,0W -0,0175W^{2};

Precio Algodón=Py= 0,35 €/kg

Costes variables (por m^{3}): Cv = 0,50 €/mm·ha

donde: Y = producción en kg/ha; W = riego en mm

El valor del agua dependerá del beneficio generado que a su vez depende de la dosis de riego y precios y costes:

$$Beneficio\ (\pi) = P_y \cdot Y - C_v \cdot W - CF \qquad (1)$$

Es decir, el beneficio es igual al ingreso $P_y \cdot Y$ menos los costes fijos (CF) y los variables vinculados al agua ($C_v \cdot W$). El valor del agua en función del riego evoluciona según la siguiente función de rendimientos marginales ya que el beneficio máximo se determina por la ecuación que hace nulo el beneficio marginal (derivada respecto al agua de riego):

$$\frac{d\pi}{dw} = P_y \frac{dy}{dw} - C_v = 0 \qquad (2)$$

Al desaparecer en la derivada el coste fijo (CF) se puede hablar del Margen Neto en lugar del beneficio como indicador del beneficio y la evolución de las variables de Margen neto total y Margen neto marginal en función del agua se muestra en la tabla 1 y figura adjunta.

W mm	Increm Y Kg/ha	*Increm T. Ingr eur/ha*	**Increm T. MN* eur/ha**	Increm Marg. MN* eur/ha
0	0	*0,00*	**0,00**	3,50
50	656	*229,69*	**164,06**	3,06
100	1.225	*428,75*	**306,25**	2,63
150	1.706	*597,19*	**426,56**	2,19
200	2.100	*735,00*	**525,00**	1,75
250	2.406	*842,19*	**601,56**	1,31
300	2.625	*918,75*	**656,25**	0,88
350	2.756	*964,69*	**689,06**	0,44
400	2.800	*980,00*	**700,00**	0,00

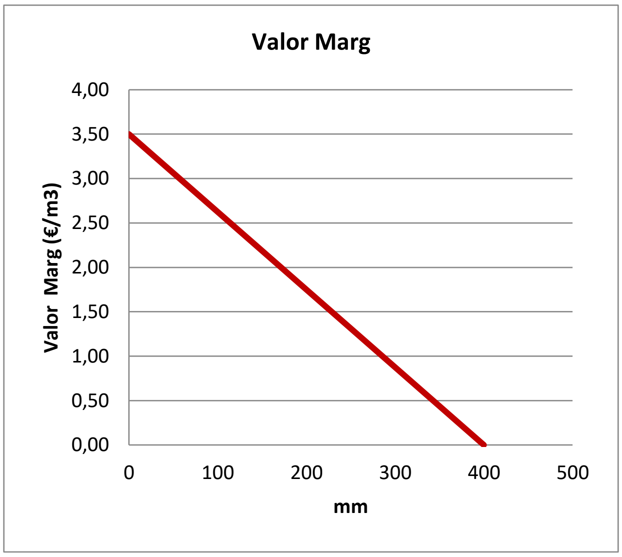


Tabla 1:

La ecuación del beneficio máximo también se puede representar como:

$$VMg = P_y \frac{dy}{dw} = C_v \qquad (3)$$

Es decir, el valor marginal de la última unidad de agua se iguala a su coste. De este modo, en el caso anterior, el beneficio máximo viene dado por:

$$P_y \frac{dy}{dw} = C_v \quad ; \quad 0{,}35 \cdot (14 - 0{,}035\,W) = 0{,}50$$

Despejando,

W = 359 mm; (*equivalente a 3.590 m^3/ha*)

Los dos valores clave para la gestión del agua son el ***valor marginal, que por definición es igual a su coste*** en este caso ***y el valor medio hasta ese punto*** (definido por el beneficio máximo), es decir el área bajo la '*curva'* de la Tabla 1de la figura anterior hasta llegar a cortar con ***Cv=0,5 €/mm***

$$Valor\ Medio = \frac{(P_y \cdot Y)}{W} = \frac{848€ - 155€}{359mm} = 1{,}93\ \frac{€}{mm}$$

$$Valor\ Marginal = P_y \frac{dy}{dw} = 0{,}5\ \frac{€}{mm}$$

Vemos como el máximo beneficio supone una dosis menor que la máxima producción que se consigue con ***W=400 mm*** (concretamente, un 10% de ahorro). La diferencia entre el coste medio (Cv=0,5) y el Valor medio (3,3 €/mm) se podría denominar la 'renta del recurso' de una forma un poco simplificada ya que no es solo el agua la que consigue el aumento de producción, también hay otros factores de producción, pero en este caso la simplificación nos vale para entender el valor que genera el agua de riego en este ejemplo.

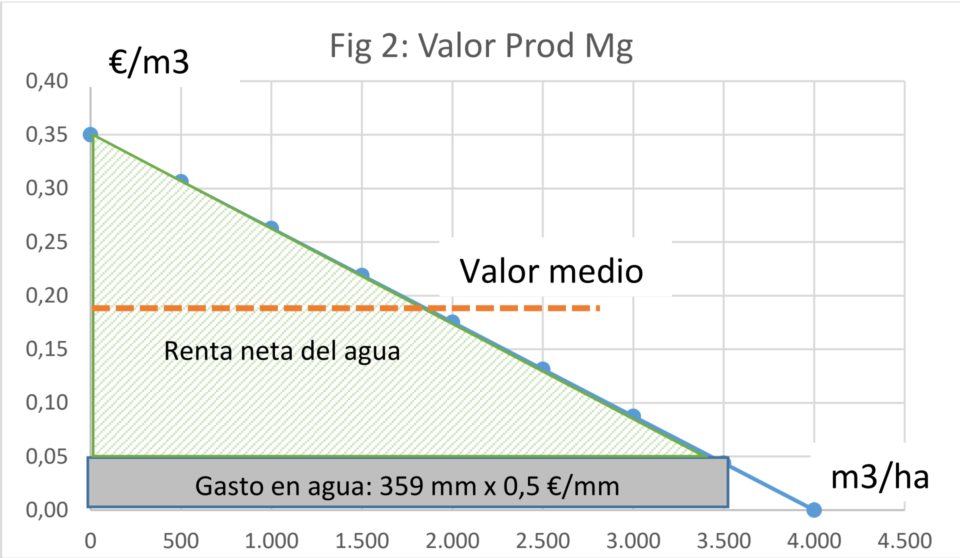


Figura 1

¿Qué pasaría si por alguna razón (sequía, etc.) se usara menos agua, por ejemplo, *W=200mm*, entonces los resultados cambian y los valores pasan a ser:

$$Valor\ Medio\ (W = 200mm) = \frac{(\Delta P_y \cdot Y)}{W} = \frac{680€ - 155€}{200} = 2{,}63\ \frac{€}{mm}$$

$$Valor\ Marginal\ (W = 200mm) = P_y \frac{dy}{dw} = 1{,}75\ \frac{€}{mm}$$

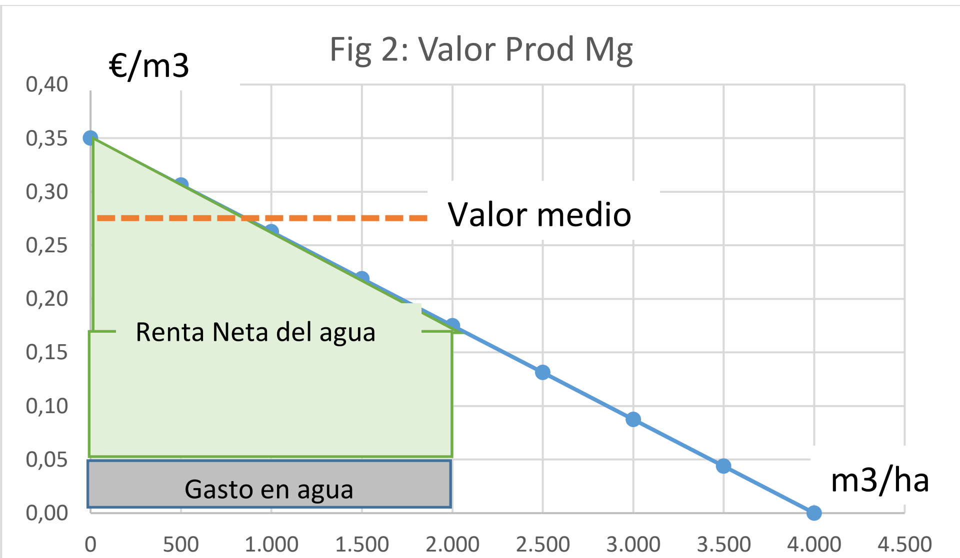


Figura 2

La renta neta es la diferencia entre el valor generado (0,26 €/m^3 x 2.000 m^3/ha) y el gasto en agua (0,05 €/m^3 x 2.000 m^3/ha). Es decir, cada unidad de m^3 nos genera una renta media de 0,21 €/m^3 (0,26-0,05).

En este caso el riego deficitario de 200 mm que vendría a ser el 50% del máximo técnico no se debe a un proceso de optimización sino a la adaptación a una coyuntura de 3escasez temporal (p.ej. sequía), la próxima sección analizará la estrategia de riego deficitario.

3.**ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE AGUA EN COTEXTO DE ‘AGUA LIMITANTE0’ Y SECANO IMPRODUCTIVO. MODELO DE ENGLISH.**

En su modelo de Riego Deficitario (RD) 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:

$$Z \cdot A = A \cdot (P_y Y - P_w W - C) \quad (4)$$

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

$$\begin{aligned} Y(w) &= a_1 + b_1 W + c_1 W^2 \\ C(w) &= a_2 + b_2 W \end{aligned} \quad (5)$$

La solución al problema de optimización planteado en la (4) 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 ‘$\mathbf{W_t}$’ (***máximo retorno a la tierra***) dado por:

$$W_t = \frac{b_2 - P_y b_1}{2 P_y c_1} \quad (6)$$

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*** ‘$\mathbf{W_w}$’ según (7)

$$W_w = \left(\frac{P_y a_1 - a_2}{P_y c_1}\right)^{1/2} \qquad (7)$$

Por último, una solución que también es relevante para nuestro análisis es la que determina **el máximo técnico Y(w)** en la eq. (5) 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 ‘$\mathbf{W_m}$’ (máximo d ela función de producción) definida por (8).

$$W_m = \frac{-b_1}{2\ c_1} \qquad (8)$$

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. (6)). 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 ‘$\mathbf{b_2}$’ que es el valor de ‘P_w’ en la eq. (4). En este caso, el valor de P_w incluye no solo el coste del agua sino también el coste marginal del abonado y otros insumos que se pueden relacionar directamente con el rendimiento del cultivo considerando el resto de costes fijos (abonado de fondo, labores, etc).

El modelo de English asume que el secano tiene una rentabilidad nula. En al siguiente figura vemos el resultado de aplicar el modelo de English a una finca donde tenemos la posibilidad de repartir 4000 m^3 para regar un olivar con la función de producción.

$$Y = 400 + 7{,}0\,W + 0{,}0015W^2 \qquad (9)$$

Suponemos que Py =0.31 EUR/Kg; Pw= 0,12 EUR/m^3; y Coste Fijo (a_2 =550 EUR/ha). Además para poder hacer una aplicación práctica suponemos que el agricultor dispone de 4000 m^3 en total para poder regar la superficie que el decida, dejando el resto en secano.

Al repartir el agua vemos que el óptimo, mayor beneficio viene dado por la solución de English (eq. 7)

$$W_w = \left(\frac{P_y a_1 - a_2}{P_y c_1}\right)^{1/2} = 957\ m3/ha \qquad (10)$$

En la figura vemos que esto corresponde a regar 4,19 ha (4000/957). A partir de esa dosis, los beneficios globales empiezan a reducirse. Luego W=957 es la dosis óptima en riego deficitario ‘agua limitante’, es decir que no hay limite a la tierra que podemos usar pero el volumen de agua disponible tiene un máximo.

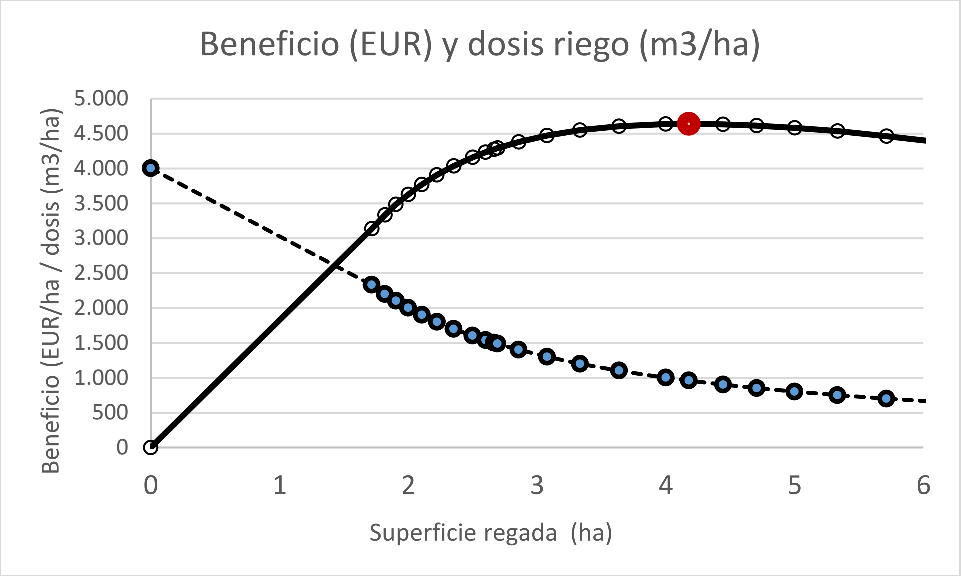


Figura 3

4.ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE AGUA DE RIEGO 'AGUA LIMITANTE' Y APLICACIÓN DE RIEGO DEFICITARIO CON SECANO PRODUCTIVO

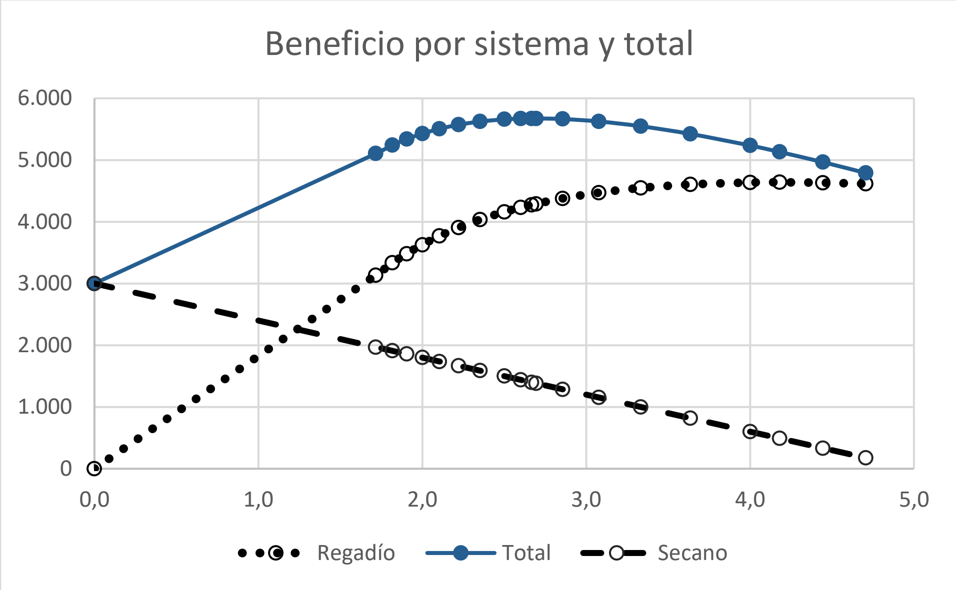
Una variación del modelo de English es aquella en la que el secano si es productivo. En nuestro ejemplo vamos a asumir que el agricultor del ejemplo anterior tiene una finca con estas características:

- Superficie total finca (secano + riego = 5ha)
- Agua disponible total = 4.000m^3
- Rentabilidad secano = 600 EUR/ha
- Función respuesta olivar:

$$Y = 400 + 7{,}0\ W + 0{,}0015W^2$$

- Py =0.31 EUR/Kg;
- Costes riego = CT = CF + Pw W;
  Pw= 0,12 EUR/m^3; Coste Fijo= 550 EUR/ha.

Con estos datos, la figura 4 muestra los resultados de repartir el agua con distintas dosis.

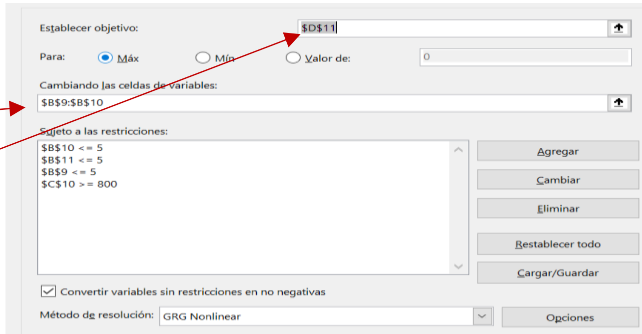


El óptimo es el resultado de:

- Riego = 2,69 ha; Dosis riego = 1.485 m3/ha
- Secano = 5-2,69 = 2,31 ha

Este resultado puede calcularse de manera aproximada o bien usando un sistema d optimización como el disponible en SOLVER de Excel, con el siguiente formato:

	Solución	*Dosis agua*	*Ganancia (Eur/ha)*
Secano	2,3		600,0
Riego	2,7	1.485,4	1.593,1
Suma	**5,0**	**4.000,0**	**5.674,3**



Obsérvese que es una optimización no linear ya que la ganancia del riego es una función cuadrática (Z=Py·Y(W)), mientras que la dosis 'W' es una función de la superficie regada (4000/W). Las variables decisión en este modelo son la superficie de secano X1 y regadío X2, la suma de ambas debe ser X1+X2=5. Esta solución puede encontrarse de manera analítica de forma similar al modelo de English, pero carece de interés para este tema.

5. CASO DE ESTUDIO: OLIVAR EN ANDALUCIA

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, resaltando que el olivar de riego en régimen deficitario representa el 50% de la superficie regada.

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, una descripción más detallada puede consultase en Expósito y Berbel, (2016).

La figura 3 ilustra el caso de un agricultor al que se le estimó la siguiente función de respuesta Y = Kg aceituna; W = m^3/ha

$$Y = 444 + 6{,}99\, W - 0{,}0015\, W^2 \qquad (11)$$

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 (Py = 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^3. Todo ello nos lleva a la siguiente función de ingresos y costes del agricultor que se muestran en la Figura 4 donde se señalan las tres soluciones de optimización del uso del agua: W_m, W_t y W_w

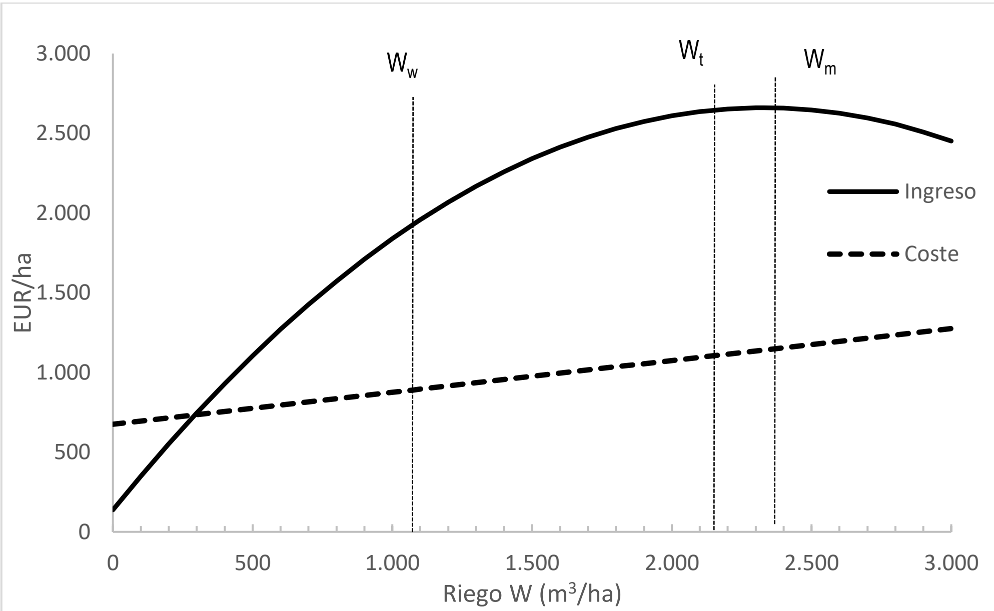


Figura 3: Función de respuesta al riego y soluciones óptimas (sujeto nº 42).

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.

Las implicaciones a escala de agricultor pueden ilustrarse desarrollando el ejemplo del agricultor mostrado en la figura 3. 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^3/ha	RD (%)	Ingreso Marginal EUR/m^3	Ingreso Medio EUR /m^3	Beneficio Medio EUR/m^3	Eq.
Máximo Técnico	2.330	100	0,00	1,14	0,65	(8)
Optimo Económico Tierra limitante	2.201	94	0,20	1,25	0,73	(6)
Optimo en RD Agua limitante	1.075	46	1,17	1,79	0,97	(7)

Fuente: elaboración propia. Datos del sujeto nº 42.

Tabla 2: 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^3 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 optimo considerado tradicionalmente y un 30% el valor total generado por el recurso agua.

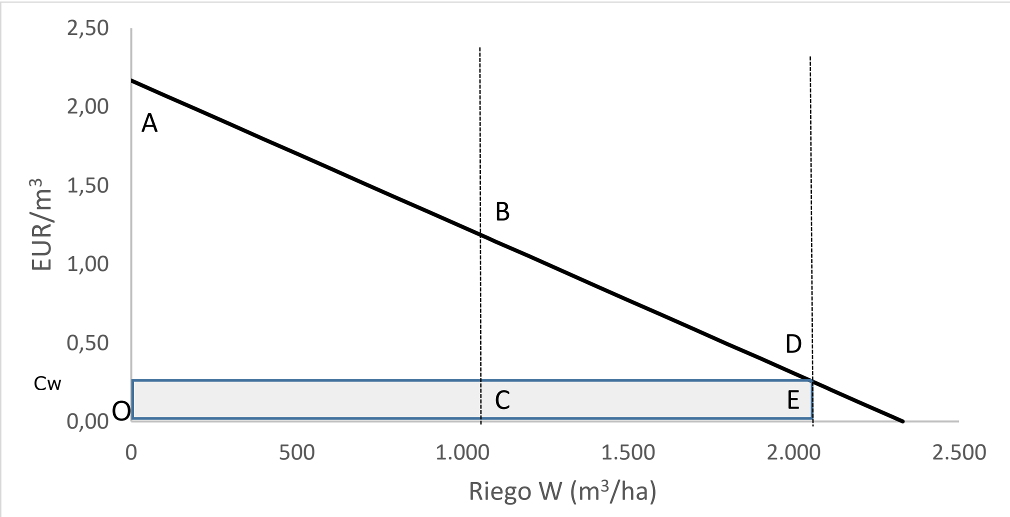


Figura 4: Valor marginal del agua de riego (sujeto nº 42).

Los valores de la tabla 2 quedan ilustrados en la Figura 4, que muestra como tanto el valor total [OABC] como el valor neto en el caso de RD (restando el segmento [$W_w \cdot C_w$]) es considerablemente mayor que el equivalente en el caso de riego optimo a la tierra W_t 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_t, cualquier aumento marginal del coste del agua C_w 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.

Supongamos el siguiente ejercicio:

Un agricultor dispone de:

- Superficie **4 ha** en total
- Agua **3000 m³** en total,

Puede optar por riego tradicional en el óptimo económico (tabla 2), es decir 2.201 m3/ha o bien por riego deficitario de 1.075 m3/ha, los resultados serían los que muestra la tabla 3 asumiendo que la producción del secano fuera igual a Y(W=0) y sin costes adicionales.

		Secano	Riego	Total
Tierra limit.	Superficie	2,6	1,4	4,0
	Agua m3/ha	0	2.201	3.000
	Ingresos	138 €	2.654	**6.773**
Despues (DI)	Superficie	1,2	2,8	4,0
	Agua m3/ha	0	1.075	3.000
	Ingresos	138 €	1.840	**7.277**

Tabla 3: Ingresos según alternativas de riego (sup =4ha, volumen aguiua = 3000m3)

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^3/ha, en cuyo caso tendría un Ingreso Marginal de 1,70 EUR/m^3, un ingreso medio para los primeros 500 m^3 de 2,21EUR/m^3 y un beneficio medio de 0,66 EUR/m^3 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. CASO DE ESTUDIO: ALMENDRO

Un modelo similar al estudiado para el olivar intensivo podemos plantearlo para el almendro que es mucho más demandante de agua. López-López et al. (2018) llevaron a cabo un experimento agronómico para estudiar la función de respuestas al riego de la variedad almendro ‘Guara’ bajo esquemas de riego alternativos. Los detalles del experimento se describen ampliamente en con una función de producción cuadrática descrita por la Ecuación (12)

$$Y(w) = 243 + 4.87 \cdot w - 0.0025 \cdot w^2 \qquad (12)$$

A partir de esta ecuación desarrollamos el análisis del riego óptimo:

Solution	Irrigation Water (w) (mm)	Relative Irrigation Supply (%)	Irrigated Area (ha) with Total Volume of Water (W_T) = 975 mm	Value Marg. Product (EUR/m^3)	Average Income (EUR/m^3)	Average Profit (EUR/m^3)
W_y	975	100%	1.00	0.00	13.41	10.16
W_l	927	95%	1.05	1.20	14.07	10.72
W_w	251	26%	3.88	18.10	26.05	16.89

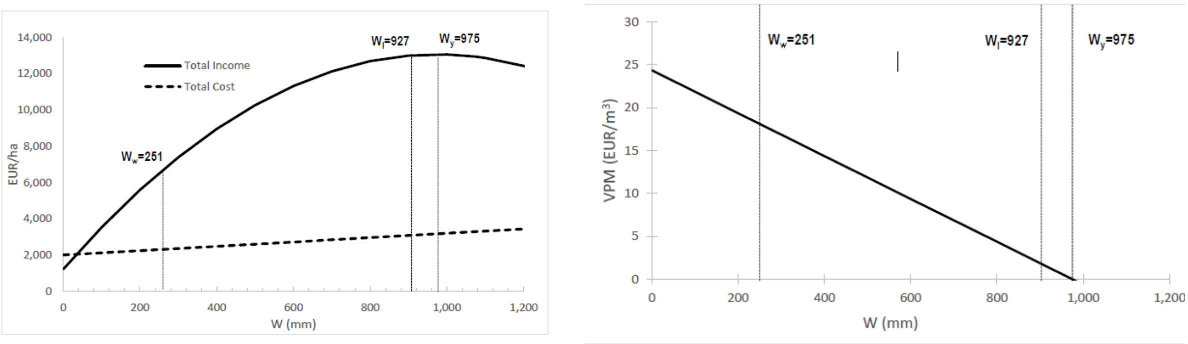
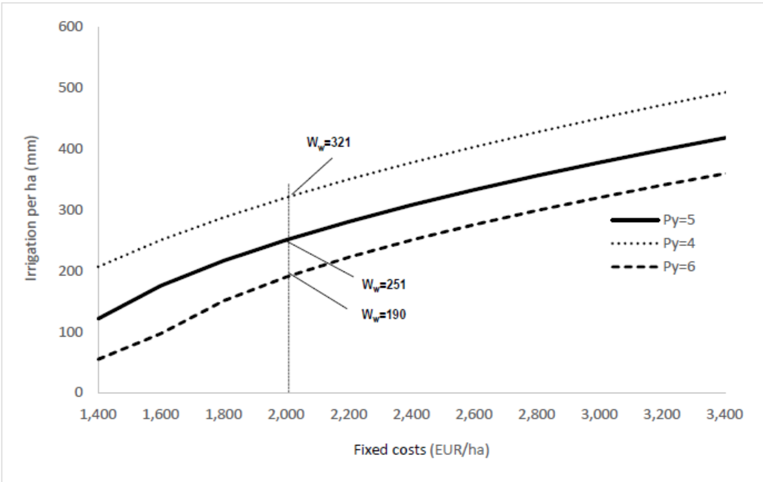


Figura 2. Valor del producto marginal (VMP) del agua de riego y soluciones W_y (máximo rendimiento), W_l (máximo retorno a la tierra), W_w (máximo retorno al agua).

Se puede hacer un análisis de sensibilidad con precios mas moderados de la almendra. Haciendo variar los parámetros económicos de la eq. 12 vemos que el óptimo en R.D. depende de los costes fijos y del precio de la almendra.



No se han incluido en el análisis otros elementos relevantes en la toma de decisiones como el riesgo técnico y económico, la garantía de suministro, etc. Para un análisis de la toma de decisiones de uso del agua de riego en contexto de riesgo recomendamos Berbel (1993) y Berbel y Expósito (2022)

7. 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. Un análisis del impacto a escala de cuenca de una adopción generalizada de RD puede verse en Tocados et al (2023).

Aunque 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.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Berbel, J. (1993). Risk programming in agricultural systems: A multiple criteria analysis. Agricultural Systems, 41(3), 275-288.

Berbel, J., y Expósito, A. (2022). A decision model for stochastic optimization of seasonal irrigation-water allocation. Agricultural Water Management, 262, 107419.

Berbel, J., Mateos, L. (2014) "Does investment in irrigation technology necessarily generate rebound effects? A simulation analysis based on an agro-economic model", Agricultural Systems, 128, pp. 25–34.

De Fraiture, C., Perry, C. J. (2007) "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, pp. 94-107.

English, M. (1990) "Deficit irrigation. I: Analytical framework", Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE, 116, pp. 399–412.

English, M., Raja, S. N. (1996) "Perspectives on deficit irrigation", Agricultural Water Management, 32, pp. 1–14.

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

Expósito, A., & Berbel, J. (2020). The economics of irrigation in almond orchards. Application to southern Spain. Agronomy, 10(6), 796.

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

López, M.L.; Espadafor, M.; Testi, L.; Lorite, I.J.; Orgaz, F.; Fereres, E. (2018) Yield response of almond trees to transpiration deficits. Irrig. Sci., 36, 111–120

Tocados-Franco, E., Berbel, J., & Expósito, A. (2023). Water policy implications of perennial expansion in the Guadalquivir River Basin (southern Spain). Agricultural Water Management, 282, 108286.

Ejercicio 1: (Ver el fichero Ejercicios economia agua SOL.xls)

Un reciente estudio la función de respuesta al riego del almendro en Córdoba responde a la siguiente función:

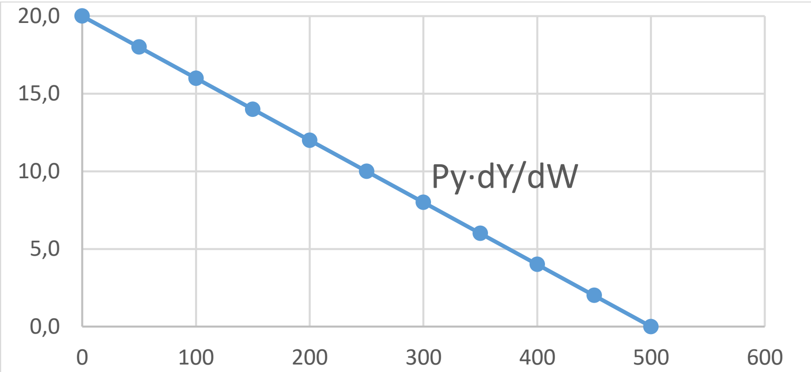
$$Y = 240{,}0 + 5{,}0\,W - 0{,}005\,W^2$$

Donde Y= Almendra Cáscara (kg/ha) y W = dosis de riego (mm).

El precio de la almendra es $\mathbf{P_y}$= 4 Eur/kg y el coste del riego es $\mathbf{C_w}$ = 0,5 EUR/mm.

Se pide:

a) Calcular el máximo técnico (en mm)
b) Calcular el óptimo económico (en mm)
c) Si la sequía limita el agua disponible con la restricción de 3000 m^3/ha, calcular el valor marginal
d) Calcular el valor medio del agua con esa restricción (Ojo con las unidades)



dY/dW = 5 -0,01 W

a) Max tec => **dY/dW =0** — **500 mm**

b) Optimo Econ => **Py (dY/dW) =Cw**

4 (5-0,01W) = 0,5 => 20 -0,04 W = 0,5 => W= (20 -0,5)/0,04 — **487,5 mm**

c) V Mag (300mm) **Py (dY/dW)** =

4· (5 -0,01 (300)) =

4 (5-3) = 8,0 — **8,0 EUR/mm** — **0,8 EUR/m3**

d) Valor medio*

Vmg (0mm) = **20 €/mm;**

Vmg (300mm) = (20+8) /2 = **14€/mm** — **14,0 EUR/mm** — **1,4 EUR/m3**

(*) Otra forma de calcular el valor medio es la siguiente:

$$Vmed(300) = \frac{\Delta P_y Y}{\Delta w} = \frac{P_y Y_{300} - P_y Y_0}{w}$$

$$Vmed(300) = \frac{(5.160€ - 960€)}{300} = 14\,€/mm$$

Problema 2

Han pasado muchos años del problema anterior y Manuel Pérez ha transformado su finca en riego para producir aguacates. La finca estaba en Motril y tiene riego de una CCRR que le garantiza (si no hay sequía) unos 8000 m^3/ha, que usa para regar aguacates con esta función de producción y costes

Y (kg/ha) = $Y = 400 \ + 2\ W - 0.00025\ W^2$; (W=m^3/ha)

CF = 5.000 EUR/ha; Py= 2,0 EUR/kg; Cw= 0.20 EUR/m^3

Si solo puede regar 1,0 ha, el precio Py es neto ya que se cobra 'en arbol' y los costes de cosecha son responsabilidad del comprador.

a) Volumen para máximo técnico (1ha)
b) Volumen para óptimo económico (1ha) y ganancia
c) Si hay sequía y solo dispone del 50%, valor marginal del agua y ganancia (EUR/ha) con W=4.000 m3/ha

a) $W_m = -\frac{4{,}0}{-0.00025}$ = 8.000 m^3/ha

b) $W_m = \frac{0.20 - 2{,}0 \cdot 4{,}0}{2 \cdot 2.0 \cdot (-0.00025)}$ = 7.800 m^3/ha

$$Y = 400 \ + 2\ (6000) - 0.00025 \cdot 7800^2 = 16.390$$

$$B = 2 \cdot 16.390 - 5.000 - 0.20 \cdot 7800 = \mathbf{22.220\ EUR/ha}$$

c)

$$Y = 400 \ + 2\ (4000) - 0.00025 \cdot 4000^2 = 12.400$$

$$B = 2 \cdot 12.400 - 5.000 - 0.20 \cdot 4000 = \mathbf{15.000\ EUR/ha}$$

$$\frac{dY}{dW} = 2 - 0.0005\ W$$

$$VPmg\ (4000) = P_y \left(\frac{dY}{dW}\right) = 2{,}0 \cdot 2 - 0.0005\ 4000 = \mathbf{4{,}0\ EUR/m^3}$$