

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE USO DE AGUA Y PRODUCTIVIDAD EN CULTIVOS INVERNALES EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA

EVALUATION OF WATER USE EFFICIENCY AND PRODUCTIVITY IN WINTER CROPS OF THE SEMIARID PAMPA

Gaggioli C.¹, A. Quiroga^{2,3} & E. Noellemeyer^{3*}

RESUMEN

El incremento de la eficiencia de uso de agua (EUA) en agricultura se ha convertido en un tema primordial. Asimismo, al comenzar a considerarse el valor económico del producto, se desarrolló el concepto de productividad económica del agua (PEA), definido como el valor recibido por unidad de agua usada (U\$/mm). Dicho objetivo puede alcanzarse ya sea por un incremento en la EUA como por la producción de cultivos de más elevado valor. En la EEA INTA Anguil, La Pampa, se están llevando a cabo ensayos con diversos cultivos invernales (trigos grupo de calidad industrial 1 y 3, cebada, cártamo y colza) con el objetivo de identificar aquellos que brindan la mejor EUA y PEA. Los resultados de la campaña 2011 demostraron que la cebada tuvo la más alta EUA (14,4 kg/mm) y PEA (2,6 U\$/mm). Los trigos presentaron EUA variables entre 10,9-13,6 kg/mm, correspondiendo los valores más altos al grupo 3, en cuanto a PEA no hubo diferencias significativas entre calidades (1,5 a 1,8 U\$/mm). Las oleaginosas demostraron muy buen comportamiento, con EUA de 4,8 kg/mm en colza y 5,6 kg/mm en el caso del cártamo, y la PEA de ambas oleaginosas fue de alrededor de 2 U\$/mm. Si bien los resultados son preliminares, las oleaginosas invierno-primaverales parecen alternativas interesantes para incorporar en las rotaciones.

PALABRAS CLAVE: trigo, cebada, colza, cártamo, margen bruto

ABSTRACT

There is a growing need to increase agricultural water use efficiency (EUA). Furthermore, when the product market value started to be considered, it was developed the concept of economic water productivity (PEA), defined as the value obtained per unit of water used (U\$/mm). This goal can be achieved through higher EUA or by producing crops with higher unit value. At EEA INTA Anguil, La Pampa, field experiments with several winter crops (wheat with different quality, barley, safflower, and canola) were carried out in order to identify those that have highest EUA and PEA. The results of the 2011 growing season indicated that barley had the highest EUA (14,4 kg/mm) and PEA (2,6 U\$/mm). Wheat showed EUA between 10,9 and 13,6 kg/mm, with highest values for group 3 quality crops, while no differences were found for PEA among qualities (1,5 to 1,8 U\$/mm). Oilseeds showed a good performance with EUA of 4,8 kg/mm in canola and 5,6 kg/mm for the sunflowers, and PEA of both oilseeds was around 2 U\$/mm. Although these results are preliminary, winter-spring oilseeds appear as interesting alternatives to include in rotations.

KEY WORDS: wheat, barley, canola, safflower, gross margin

INTRODUCCIÓN

Mejorar la eficiencia de uso de agua (EUA) en la agricultura es un tema primordial debido a la mayor demanda de agua para uso poblacional junto a la necesidad de aumentar la producción

de alimentos y fibras en las tierras actualmente cultivadas, evitando la expansión del área agrícola hacia ecosistemas más frágiles (Hatfield *et al.*, 2001; Wallace, 2000). El incremento de la EUA en la agricultura está relacionado a la inclusión de cultivos más eficientes en la rotación,

1 CONICET, becaria tipo I

2 EEA INTA ANGUIL

3 Facultad de Agronomía, UNLPam. noellemeyer@agro.unlpam.edu.ar

como también a la intensificación en el uso de la tierra utilizando los recursos disponibles durante todo el año (Caviglia & Andrade, 2010). Además, la diversificación de cultivos permite lograr sistemas de producción más sustentables, aumentando la eficiencia de uso de los nutrientes y el agua (Moroke *et al.*, 2005; Anderson *et al.* 2002; Grant *et al.*, 2002; Copeland *et al.*, 1993), facilitando el manejo de enfermedades, insectos y malezas, y disminuyendo el riesgo económico (Quiroga *et al.*, 2001; Tanaka *et al.*, 2002). A pesar de esto, hoy en día los sistemas agrícolas de la región pampeana descansan en cultivos de verano, siendo soja el más difundido, en contraste con los cultivos de invierno que solo ocupan una pequeña proporción del área cultivada (Caviglia & Andrade, 2010; Caviglia *et al.*, 2010).

Se sabe que la EUA varía según el tipo de cultivo siendo relativamente más alta para la producción de almidón (cereales) que para aceite (oleaginosas). Esto se debería en gran parte al costo energético de producir proteína, aceite o almidón, aunque también a la mayor eficiencia fotosintética de las gramíneas C4 y a su estructura foliar que permite una distribución más pareja de la radiación en el canopeo (Andrade *et al.*, 2009). De todos modos, el principio de oferta y demanda tiene en cuenta el contenido energético de los granos, de tal modo que en el mercado los productos más costosos para la planta (aceite) valen más que los menos costosos (almidón) (Nielsen *et al.*, 2005). Con lo cual el uso de un indicador económico (U\$/mm) podría ser más útil para determinar la eficiencia con la que los cultivos usan el agua y compararlos entre sí. Referido a esto, Noellemeyer *et al.* (2013) encontraron que en los sistemas de producción agrícola de la Región Semiárida Pampeana (RSP), las oleaginosas tienen EUA considerablemente inferiores a las gramíneas, pero cuando se tiene en cuenta su valor de mercado, la EUA por unidad de superficie incrementa considerablemente hasta casi igualar la de maíz, en el caso de girasol.

Por estas razones, en los últimos años se ha desarrollado una nueva forma de valorar la eficiencia de uso de agua, la productividad económica del agua (PEA), definida como el valor

recibido por unidad de agua usada (U\$/mm). Varios autores señalan la necesidad de incrementar la PEA especialmente en áreas donde el recurso agua es escaso (Aldaya *et al.*, 2009; Molden *et al.*, 2009; Ali & Talukder, 2008). Esto podría lograrse ya sea por un incremento en la productividad física del agua o EUA que lleve a generar más kg de grano por mm de agua disponible durante el ciclo del cultivo, como por la producción de cultivos de más elevado valor. Esto último está recibiendo gran motivación en la actualidad, debido al desarrollo de la agroindustria y la evolución en las recomendaciones nutricionales en la alimentación humana que ha originado mercados diferenciados de productos por calidad. De esta manera surge la oportunidad de lograr un precio diferencial en el mercado mediante la producción de cultivos de calidad superior.

Por ejemplo, las variedades de trigos se categorizan según su calidad industrial en tres grupos. Los pertenecientes al grupo 1 son genéticamente de mejor calidad, tipo correctoras, de alta estabilidad en las masas. Las variedades de grupo 2 son también muy buenas en calidad, sin llegar a ser correctoras, y las del grupo 3, son muy rendidoras pero de calidad deficitaria. Esta categorización fue consensuada por la Comisión Nacional de Semillas y se basa en el peso hectolítrico, proteína en grano, rendimiento de harina, cenizas, porcentaje de gluten húmedo, fuerza panadera o W del alveograma, estabilidad farinográfica y volumen de pan. Las variedades correspondientes a cada grupo presentan valores dentro de un rango similar para los parámetros mencionados (Cuniberti, 2011).

La cebada cervecera es otro cereal de invierno que podría ocupar el lugar de trigo en la rotación, con alta EUA y mejor precio. La superficie sembrada con cebada cervecera en Argentina ha crecido en los últimos 10 años, ocupando el 16% del área de trigo en la campaña 2010/11 (BCR, 2011). Dicho incremento se debe principalmente a que es una mejor alternativa que trigo como antecesor de soja, y por otra parte a un aumento en la demanda interna y externa de cebada, especialmente cervecera (Cattáneo, 2011). No obstante, esta producción exige cumplir con ciertas normas de calidad y comercialización, entre

ellas el porcentaje de proteína y calibre, que pueden constituirse en una dificultad en regiones sometidas a estrés hídrico frecuente.

El cártamo es una oleaginosa que crece desde fines de invierno hasta mediados de verano con antecedentes de buen comportamiento en la RSP (Covas, 1965) y en otras regiones semiáridas del mundo (Koutroubas *et al.*, 2009; Dordas & Sioulas, 2008). Su sistema radicular profundo, espinas xerófitas y su habilidad para ramificar y compensar pérdidas de plantas y flores son atributos que le otorgan resistencia a la sequía y calor, además de permitirle utilizar los nutrientes que se encuentran a mayor profundidad en el perfil del suelo, resultando un cultivo adecuado para sistemas agrícolas de bajos inputs (Yau & Ryan, 2010; Elfadl *et al.*, 2009). El principal uso del aceite es para consumo humano, reconocido por su alta calidad debido a sus elevados niveles de ácidos grasos “buenos” tales como el linoleico y oleico (Rivas & Matarazzo, 2009). En la actualidad, existen genotipos con altos porcentajes de ácido oleico, con una composición de ácidos grasos muy similar a los girasoles alto oleicos.

Otra oleaginosa, de ciclo invierno-primaveral, de la que poco se conoce en la RSP es la colza. Esta especie, es la segunda oleaginosa más producida a nivel mundial, luego de la soja. El consumo de aceite de colza está en constante crecimiento debido a su uso para alimentación humana y para la producción de biocombustibles. Este aceite tiene muy bajos niveles de ácidos grasos saturados por lo que se convierte en un producto de primera calidad y que cubre las exigencias de mercado de la mayoría de los países consumidores (Iriarte & Valetti, 2008).

A diferencia de la mayoría de los cultivos oleaginosos que se producen en época estival, tanto la colza como el cártamo acceden al mercado en otra época del año, incrementando el abastecimiento de la industria y no superponiéndose con las demás especies oleaginosas. En estos cultivos el parámetro de calidad más importante es el porcentaje de aceite en grano, con el cual se pueden obtener bonificaciones o rebajas en el precio.

En la RSP es poca la información disponible sobre la producción de cultivos no tradicionales,

así como tampoco se conoce con certeza la aptitud de la región para originar granos de calidad diferencial que puedan contar con una bonificación en su comercialización. Por esta razón, en la EEA INTA Anguil, La Pampa, se están llevando a cabo ensayos en secano en los que se evalúa el uso consuntivo del agua, rendimiento en grano y calidad de distintos cultivos, tradicionales y alternativos, con el objetivo de identificar aquellos que brindan la mejor EUA y PEA.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la EEA INTA Anguil, La Pampa (latitud: 36° 31' 00" S y longitud 64° 01' 00" W), durante la campaña 2011, se condujo un ensayo en secano donde se evaluaron cuatro cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.), dos de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), uno de cebada cervecera (*Hordeum vulgare* var *distichum* L.) y uno de colza invernal (*Brassica napus* L.). Cada cultivo constituyó un tratamiento y se dispusieron en un diseño en bloques aleatorizados, con 4 repeticiones, las cuales fueron parcelas de 4,55 m de ancho y 10 m de largo. Los datos climáticos fueron tomados en la estación meteorológica presente en el sitio experimental, las precipitaciones mensuales de la campaña 2011 y el promedio histórico 1973-2011 en la EEA INTA Anguil se muestran en la Figura 1. El suelo fue un Haplustol éntico de textura franca (13% arcilla, 37% de limo y 50% de arena), con 2,17% de materia orgánica, pH de 6,16 y 31,5 ppm de P disponible en los primeros 20 cm del perfil, y con un manto calcáreo a una profundidad que varía entre 1-1,4 m. La siembra se realizó sobre rastrojo de centeno y las parcelas se mantuvieron sin malezas hasta la siembra por aplicación de glifosato. El manejo de cada cultivo se realizó de acuerdo a las recomendaciones para la región y se detalla a continuación.

1. Colza

Se sembró el híbrido invernal “Sitro” (Al High Tech), el 22 de Marzo, en forma manual, quedando implantadas 30-40 plantas/m², en surcos separados a 50 cm. Cuando el cultivo se encontraba en estado de roseta se realizó un control de malezas con 80 cm³ de Dicamba, aplicado con mochila de pulverización. En estado de botón floral se pulverizó con 500 cm³ de Clor-

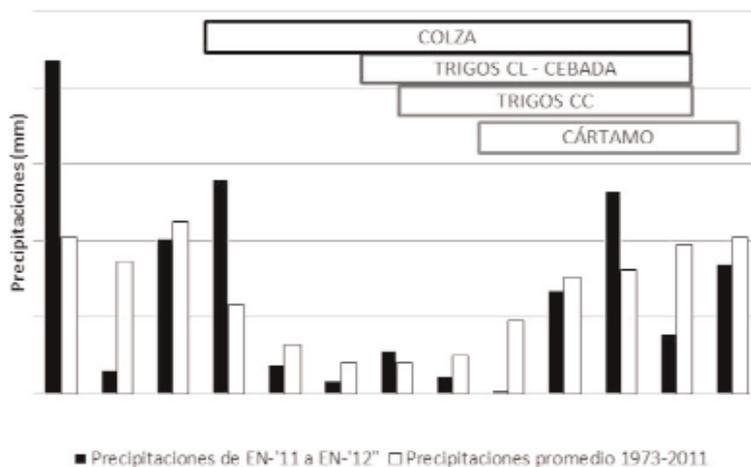


Figura 1. Precipitaciones mensuales de la campaña 2011 y el promedio histórico (1973-2011) en la EEA INTA Anguil (Casagrande *et al.*, 2012). Representación del ciclo de crecimiento de cada uno de los cultivos, desde siembra a cosecha.

Figure 1. Monthly rainfall during the 2011 season and the historical average (1973-2011) rainfall in EEA Anguil (Casagrande *et al.*, 2012). Growth cycle from planting to harvest of each crop is represented.

pirifós y 100 cm³ de Cipermetrina por la presencia de pulgón ceniciento (*Brevicoryne brassicae* L.) y larvas de la polilla de las coles (*Plutella xylostella* L.). La cosecha se realizó manualmente el 22 de Diciembre, para lo cual se cortaron las plantas de 1 m² de cada parcela y se trilló con máquina estática.

2. Trigos

La siembra de trigo se realizó en dos fechas, en la más temprana se sembraron dos cultivares de ciclo largo (CL) y en la segunda dos cultivares de ciclo corto (CC). Los trigos CL fueron ACA 315 perteneciente al grupo 1 de calidad industrial y Baguette 10 (Nidera) del grupo 3. Se sembraron el 16 de Junio, con sembradora mecánica de granos finos, a 17,5 cm de distancia entre surcos, con una densidad de 200 semillas/m². El 8 de Julio se sembraron dos cultivares de trigo CC; Klein Rayo del grupo de calidad 1 y DM Arex (Don Mario) categorizado como grupo 3. Para ello se utilizó la misma sembradora que para los CL, pero con una densidad de 250 semillas/m². El control de malezas se realizó

por única vez en macollaje con 5g/ha de metsulfurón y 100 cm³ de Dicamba. No fue necesario controlar insectos en todo el ciclo. El 15 de diciembre se realizó la cosecha manual de una muestra de 1,4 m² de todos los cultivares y se realizó la trilla con trilladora estática.

3. Cebada

El 16 de Junio, se sembró la cebada MP 2122 (Maltería Pampa), con sembradora mecánica de granos finos, a 17,5 cm de distancia entre surcos y una densidad de 250 semillas/m².

El control de malezas fue en macollaje, al igual que los trigos, con 5g/ha de Metsulfurón y 100 cm³ de Dicamba. No fue necesario controlar insectos en el ciclo. La cosecha se realizó el 13 de diciembre, levantando manualmente 1,4 m² de los surcos centrales de cada parcela y trillando con máquina estática.

4. Cártamo

Se sembraron los cultivares alto oleico CW88 y CW99 el 23 de Agosto, con sembradora mecánica de granos gruesos, con una densidad de

50 semillas/m² y 26 cm de distancia entre surcos. Las parcelas fueron pulverizadas con los herbicidas preemergentes flurocloridona (800 cm³/ha) y acetoclor (800 cm³/ha) para el control de malezas de hoja ancha y gramíneas. Cuando el cultivo estaba en roseta se aplicó 5 g/ha de Met-sulfurón para controlar cardo ruso (*Salsola kali* L.). En estado de ramificación se pulverizó con 1 l/ha de gramínicida (Propaquizafox 10%) con 1 l/ha de aceite vegetal, se agregó al caldo 500 cm³ de Clorpirifós y 100 cm³ de Cipermetrina por la presencia de chinche roja (*Athaumasthus haematicus*). Ambos cultivares se cosecharon el 19 de enero del 2012, cortando en forma manual 1 m² de cada parcela y trillando con trilladora estática.

5. Mediciones de rendimiento, calidad de grano y UC

El rendimiento se calculó en kg/ha a 0% de humedad para comparar los cultivos entre sí.

En los trigos y la cebada se midió el peso hectolítrico (PH) de los granos y el porcentaje de proteína en grano con la tecnología NIRS (Near Infrared Spectroscopy, o Espectroscopía en Infrarrojo Cercano). En colza y cártamo se obtuvo el porcentaje de materia grasa (MG) en grano por el método Butt.

La humedad del suelo a la siembra y cosecha del cultivo se determinó en cada parcela por el método gravimétrico, a intervalos de 0,2 m hasta 1 m de profundidad. El uso consuntivo (UC) del cultivo en mm se obtuvo con el contenido de agua útil (AU) en el suelo a la siembra más las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo, menos el AU en el suelo a cosecha (López & Arrue, 1997).

6. Cálculo de EUA, PEA y MB

La EUA (kg/mm) se calculó mediante el cociente entre la producción de grano (kg/ha) y el UC (mm) para cada parcela (López & Arrue, 1997). Para calcular la PEA (U\$/mm) se multiplicó la EUA (kg mm⁻¹) por el valor de 1 kg de grano, con las bonificaciones o rebajas correspondientes por calidad (Molden *et al.*, 2009). El margen bruto (MB, U\$/ha) de cada uno de los cultivos se calculó para campo propio mediante la sustracción de los costos directos (semilla, fertilizante, plaguicidas, etc.) al ingreso bruto de la

producción (rendimiento a humedad de comercialización x precio por unidad). Los precios utilizados para el cálculo de la PEA y MB fueron los correspondientes al mes de mayo del año 2012, aplicando las bonificaciones o rebajas correspondientes por cada punto por encima o debajo del valor base de proteína o MG según corresponda (Tabla 1). El valor del dólar para dicho mes fue de 4,5 \$ (página web del Banco Central).

7. Análisis estadísticos

Los datos fueron analizados mediante Análisis de la Varianza y comparación de medias por la prueba de Diferencias Mínimas Significativas (DMS) ($p < 0.05$) utilizando el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos de trigo en esta campaña fueron en promedio de 4780 kg/ha y los de cebada de 5532 kg/ha (Tabla 2), acordes con la buena disponibilidad de agua de mediados de octubre a mediados de noviembre (Figura 1), cuando transcurría el periodo crítico para la definición del rendimiento de ambos cultivos. Los trigos grupo 3 mostraron rendimientos superiores al cultivar CL de calidad 1, sin embargo, no se diferenciaron significativamente del CC de dicha calidad. De acuerdo a la clasificación de las calidades de trigo (Cuniberti, 2011), los grupo 3 presentaron niveles de proteína significativamente inferiores a los del grupo 1, existiendo hasta tres puntos de diferencia entre ACA 315 y DM Arex. En cambio en pH las diferencias entre grupos de calidad no fueron tan claras debido a que DM Arex tuvo un valor elevado a pesar de pertenecer al grupo 3, y no se diferenció del cultivar de mayor calidad e incluso superó al pH del trigo CC grupo 1. La EUA se correspondió con el rendimiento, siendo mayor para los de grupo 3, aunque sólo se encontraron diferencias significativas entre ACA 315 y DM Arex. Cuando la eficiencia de uso agua se midió en términos económicos (PEA), no hubo diferencias entre genotipos, lo que significó que las bonificaciones por mayor concentración de proteína compensaron en parte el menor rendimiento de los trigos de grupo de calidad 1. El MB varió entre 327 U\$/ha en promedio para los trigos

Tabla 1. Precio de los granos de trigo, cebada, cártamo y colza en Mayo 2012, bonificación o rebaja correspondiente a calidad y fuente de donde se obtuvieron los precios.**Table 1.** May 2012 commodity prices of wheat, barley, safflower, and canola with quality bonus or discount, and the source where prices were obtained.

Grano	Precio (U\$/tn)	Bonificación/rebaja	Fuente consultada
Trigo	134	+/- 2% (proteína base 11%)	Molisud
Cebada	180	-	Maltería Pampa y Consultor privado (precio forrajera)
Cártamo	300	+/- 2% (MG base 33%)	Bolsa cereales Bahía Blanca (se toma el precio pizarra del girasol)
Colza	450	+/- 1% (MG base 43%)	Consultor privado

grupo 1 y 363 U\$/ha en los grupo 3.

En lo que respecta a los ciclos de crecimiento de los trigos, el rendimiento y EUA fueron similares entre los dos ciclos dentro del mismo grupo de calidad, con una leve ventaja de los ciclos cortos. Asimismo, los CL consumieron sólo 15 mm más de agua que los cortos. La concentración de proteína no fue significativamente diferente entre los dos cultivares de un mismo grupo. En cambio el pH mostró diferencias, en

el grupo 1 resultó inferior en el CC con respecto al CL, y por lo contrario, dentro de la calidad 3 el cultivar CC fue superior. En la PEA tampoco se encontraron diferencias entre ciclos de crecimiento, y el MB resultó muy parejo entre los dos ciclos. En resumen no se encontraron importantes diferencias en los parámetros estudiados entre ciclos de la misma calidad industrial, con excepción del pH.

La cebada, con UC similar a los trigos CC,

Tabla 2: Datos de rendimiento (RDTO), calidad de grano (Proteína), uso consuntivo de agua (UC), eficiencia de uso de agua (EUA), productividad económica de agua (PEA) y margen bruto (MB) de los cultivares de trigo y cebada. Letras distintas dentro de cada variable indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre cultivos.

Table 2: Yield (RDTO), protein contents (Proteína), consumptive water use (UC), water use efficiency (EUA), economic water productivity (PEA), and gross margin (MB) of wheat and barley cultivars. Different letters within each variable indicate significant differences ($p < 0.05$) between crops.

CULTIVO	RDTO (kg/ha)	Proteína (%)	PH (kg/hl)	UC (mm)	EUA (kg/mm)	PEA (U\$/mm)	MB (U\$/ha)
ACA 315 (ciclo largo grupo 1)	4311 c	12,7 a	82,3 a	395 a	10,9 c	1,5 b	319
K. RAYO (ciclo corto grupo 1)	4601 bc	11,9 a	79,7 b	380 b	12,1 bc	1,6 b	336
BAGUETTE 10 (ciclo largo grupo 3)	5033 ab	10,0 b	78,5 c	395 a	12,7 abc	1,7 b	366
DM AREX (ciclo corto grupo 3)	5178 ab	9,4 b	81,7 a	380 b	13,6 ab	1,8 b	360
CEBADA	5532 a	13,5	66,1	385 b	14,4 a	2,6 a	617

logró mayor producción y EUA que los trigos de calidad 1, pero no se diferenció significativamente de los trigos de mayor rendimiento. Estos resultados son consistentes con los encontrados por Cossani *et al.* (2012) en las condiciones agro-ecológicas limitantes del mediterráneo, donde la cebada no fue claramente más eficiente en el uso del agua que los trigos. Con respecto a calidad, el grano de cebada presentó elevados niveles de proteína que la dejaron fuera del rango requerido para ser comercializada como cervecera. Por este motivo para realizar la PEA y MB el precio tomado fue el de cebada forrajera, en esta campaña similar al de cervecera. A diferencia de lo que ocurre con la EUA en términos físicos, la PEA de la cebada fue significativamente superior a la de los trigos de ambas calidades, como resultado de su alta producción y su mejor precio al momento de realizar este análisis. Como puede observarse, el MB sigue una tendencia semejante a la PEA; mientras los trigos obtuvieron en promedio un margen de 345 U\$/ha, la cebada casi dobló esos valores con 617 U\$/ha.

En la Tabla 3 se presentan los resultados de producción de las oleaginosas cártamo y colza en el mismo lote y campaña agrícola que los cereales. Como puede observarse, los dos híbridos de cártamo no exhibieron diferencias notables en cuanto a rendimiento, aunque CW 99 presentó 3 puntos más de MG que CW 88, por lo cual obtuvo mayor bonificación en precio. Los rendimientos de cártamo fueron similares a los que se obtienen en otras regiones semiáridas del mundo en secano (Yau & Ryan, 2010; Istanbuloglu *et al.*, 2009; Dordas & Sioulas, 2008) y en varios casos con mejores niveles de MG (El-fadl *et al.*, 2009; Koutroubas *et al.*, 2009). Además la EUA también se correspondió con las que se registran en Turquía (Istanbuloglu *et al.*, 2009; Istanbuloglu, 2009). Estos resultados mostraron que los rendimientos alcanzables con los híbridos actuales y la tecnología disponible hoy en día, pueden ser superiores a aquellos encontrados por Quiroga *et al.* (2001) en campos de productores en los años 1989-90. Asimismo cabe aclarar que en esta campaña el período crítico para la definición del rendimiento, floración y llenado de grano, se dio entre principios de di-

ciembre y mediados de enero cuando se registraron escasas precipitaciones (Figura 1) y el agua útil del suelo se encontraba agotada (entre 0 y 9 mm de agua útil hasta los 80 cm), por lo que los resultados podrían ser mejores en años con una distribución de lluvias más favorable.

El rendimiento de la colza fue de 2867 kg/ha (Tabla 3) siendo ligeramente inferior a los obtenidos con genotipos invernales en países como Francia, Reino Unido o Alemania (Rondanini *et al.*, 2012). En cambio, el rendimiento fue más alto que los citados en regiones semiáridas de las Grandes Planicies Norteamericanas (Tanaka *et al.*, 2005) o en Irán (Faraji *et al.*, 2009), donde se siembran cultivares de tipo primaveral, de ciclo más corto pero con menor potencial (Iriarte & Valetti, 2008) que los invernales empleados en este ensayo. Rondanini *et al.* (2012) halló una tendencia mundial en la que la colza produce al menos el 40 a 50% del rendimiento de trigo en ambientes con buen suministro de recursos, pero este porcentaje puede ser superior en ambientes más pobres. En nuestro ensayo la colza rindió el 60% de la producción promedio de los trigos.

La colza alcanzó mayor rendimiento y similar % MG que el cártamo, lo cual puede atribuirse en gran medida a su mayor UC y captura de radiación dado por su ciclo más largo más que a mayor eficiencia fisiológica. Los datos de EUA demuestran que no hubo diferencias significativas entre cultivos en este indicador. Respecto a la PEA tampoco se encontraron diferencias significativas, rondando los 2 U\$/mm. Cabe destacar que el precio de mercado de las oleaginosas es bonificado o rebajado por materia grasa, por lo cual el cártamo con estas características recibe bonificaciones del orden del 15-20% sobre su precio de mercado mientras la colza rebaja en 1,2% (Tabla 1). A pesar del descuento en el precio, la colza logra un MB que duplica a los del cártamo (863 U\$ vs 419 U\$), lo que está dado principalmente por su elevado valor de mercado que en este caso fue de 450 U\$/tn cuando el precio para el cártamo fue de 300 U\$/tn (Tabla 1).

Las oleaginosas, especialmente la colza, presentaron ventajas económicas frente al trigo, cultivo invernal tradicional de la región. Además, incorporar oleaginosas de invierno en la rotación

Tabla 3: Datos de rendimiento (RDTO), materia grasa (MG), uso consuntivo de agua (UC), eficiencia de uso de agua (EUA), productividad económica de agua (PEA) y margen bruto (MB) de los cultivares de cártamo y colza. Letras distintas dentro de cada variable indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre cultivos.

Table 3: Yield (RDTO), fat contents (MG), consumptive water use (UC), water use efficiency (EUA), economic water productivity (PEA), and gross margin (MB) of safflower and canola cultivars. Different letters within each variable indicate significant differences ($p < 0.05$) between crops.

CULTIVO	RDTO (kg/ha)	MG (%)	UC (mm)	EUA (kg/mm)	PEA (US\$/mm)	MB (US\$/ha)
CÁRTAMO: CW 88	2216	40,6	405	5,5 a	1,9 a	395
CÁRTAMO: CW 99	2257	43,3	405	5,6 a	2,0 a	443
COLZA	2867	41,8	595	4,8 a	2,1 a	863

resultaría favorable en el manejo de malezas y plagas en los sistemas de producción agrícolas o mixtos con gran presencia de gramíneas de verano. También en ciertas oportunidades y gracias a sus sistema radicular profundo, dichas oleaginosas podrían evitar la percolación y hacer un mejor uso del agua y nutrientes del suelo que los cereales invernales. Por ejemplo, la colza permite un uso anticipado del agua del suelo después de un cereal de invierno, verdeo de verano o maíz de silo. Además varios híbridos invernales de colza brindan más posibilidades de implantar un cultivo de segunda posterior a su cosecha, debido que ésta se realiza antes que la del trigo. El cártamo podría complementarse con la ganadería, ya que al sembrarse más tarde que los cereales puede realizarse luego de cultivos de sorgo diferidos o verdeos, en caso que la recarga del perfil en los meses de invierno haya sido importante. Por otro lado al cosecharse antes que el girasol permite hacer un barbecho corto previo a las siembras otoñales.

CONCLUSIONES

Se confirma que las oleaginosas son menos eficientes en el uso de agua que los cereales, tal como lo indica la bibliografía. La productividad económica del agua (PEA) resultó un indicador valioso para comparar la eficiencia de uso de

agua (EUA) entre cultivos de diferente calidad. Si bien estos resultados son preliminares, al evaluar la eficiencia en el uso del agua desde un punto de vista económico (PEA), las oleaginosas resultaron ventajosas frente al trigo. El resultado económico de la cebada fue superior que el cártamo en esta campaña tal vez debido a que contó con un importante mercado como forrajera.

La inclusión en las rotaciones, en sistemas de producción agrícolas o mixtos, de las oleaginosas alternativas colza y cártamo es una opción interesante para diversificar el sistema y aumentar la rentabilidad con respecto al trigo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las empresas que brindaron las semillas, al Ing. Agr. Oscar Ormeño por su asesoramiento en la realización de los MB, a los Sres. Eduardo Calabaza y Roberto Gómez por su colaboración en los ensayos, a la delegación de MAGyP en Gral. Pico que realizaron los análisis de MG y a Nestor Antonio Juan y su equipo de la EEA INTA Anguil por la determinación de proteína mediante NIRS.

BIBLIOGRAFÍA

Aldaya M.M., P. Martinez-Santos & M.R. Llamas. 2010. Incorporating the water footprint and virtual water into policy:

- reflections from the Mancha Occidental region, Spain. *Water Resour. Manag.* 24(5): 941-958.
- Ali M.H. & M.S.U. Talukder. 2008. Increasing water productivity in crop production A synthesis. *Agric. Water Manage.* 95: 1201-1213.
- Anderson R.L., D.L. Tanaka & S.D. Merrill. 2002. Yield and water use of broadleaf crops in a semiarid climate. *Agric. Water Manage.* 58:255-266.
- Andrade F.H., L.A.N. Aguirrezábal & R.H. Rizzalli. 2009. Crecimiento y rendimiento comparados. *En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja* (F.H. Andrade & V. Sadras eds.). Ed INTA. pp. 41-67.
- BCR (Bolsa de Comercio de Rosario). 2011. Anuario Estadístico 2011. Dirección de Información y estudios económicos. <http://www.bcr.com.ar>
- Casagrande G.A., M.E. Deanna, A. Farrell & F. Babinec. 2012. Estadísticas agroclimáticas de la EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas". Período 1973-2011. Boletín de divulgación técnica N° 88. INTA - EEA Anguil, La Pampa, Argentina.
- Cattáneo M. 2011. Los mercados de cebada cervecera en la Argentina y en el mundo. *En: Cebada Cervecera* (D.J. Miralles, R. L. Benech-Arnold & L.G. Abeledo eds.). Editorial Facultad de Agronomía UBA. pp. 275-284.
- Caviglia J.A., H.O. Lorda & J.D. Lemes. 2010. Caraterización de las unidades de producción agropecuarias en la provincia de La Pampa. Boletín de divulgación técnica N° 99. INTA - EEA Anguil, La Pampa, Argentina.
- Caviglia O.P & F.H. Andrade. 2012. Sustainable Intensification of Agriculture in the Argentinean Pampas: capture and use efficiency of environmental resources. *Americas J. Plant Sci. Biotech.* 3 (1): 1-8.
- Copeland P.J., R.R. Allmaras, R.K. Crookston & W.W. Nelson. 1993. Corn-soybean rotation effects on soil water depletion. *Agron. J.* 85: 203-210.
- Cossani C.M., G.A. Slafer & R. Savin. 2012. Nitrogen and water use efficiencies of wheat and barley under a Mediterranean environment in Catalonia. *Field Crop Res.* 128: 109-118.
- Covas G. 1965. Cultivo del cártamo en la Región Semiárida Pampeana. Boletín de divulgación técnica N° 4. INTA - EEA Anguil, La Pampa, Argentina.
- Cuniberti M.B. 2011. Trigo: muestreo en pre-cosecha y clasificación. Calidad industrial de variedades argentinas. INTA - Marcos Juárez, Córdoba, Argentina.
- Di Rienzo J.A., M.G. Balzarini, I. González, M. Tablada, W. Guzmán, C.W. Robledo & F. Casanoves. 2002. Software INFOSTAT Versión 1.1. FCA, UNC. Córdoba.
- Dordas C.A. & C. Sioulas. 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. *Ind. Crop Prod.* 27: 75-85.
- Elfadl E., C. Reinbrecht, C. Frick & W. Claupein. 2009. Optimization of nitrogen rate and seed density for safflower (*Carthamus tinctorius* L.) production under low-input farming conditions in temperate climate. *Field Crop Res.* 114: 2-13.
- Faraji A., N. Latifi, A. Soltani & A. H. S. Rad. 2009. Seed yield and water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. *Agr. Water Manage.* 96: 132-140.
- Grant C.A., G.A. Peterson & C.A. Campbell. 2002. Nutrient considerations for diversified cropping systems in the Northern Great Plains. *Agron. J.* 94:186-198.
- Hatfield J.L., T.J. Sauer & J.H. Prueger. 2001. Managing Soils to Achieve Greater Water Use Efficiency: A Review. *Agron. J.* 93: 271-280.
- Iriarte L.B. & O. Valetti. 2008. Cultivo de Colza. INTA - EEA Barrow. 152 p.
- Istanbulluoglu A. 2009. Effects of irrigation regimes on yield and water productivity of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Mediterranean climatic conditions. *Agr. Water Manage.* 96: 1792-1798.

- Gaggioli C., A. Quiroga & E. Noellemeyer
- Istanbulluoglu A., E. Gocmen, E. Gezer, C. Pasa & F. Konukcu. 2009. Effects of water stress at different development stages on yield and water productivity of winter and summer safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Agr. Water Manage.* 96: 1429-1434.
- Koutroubas S.D., D.K. Papakosta & A. Doitsinis. 2009. Phenotypic variation in physiological determinants of yield in spring sown safflower under Mediterranean conditions. *Field Crop Res.* 112: 199-204.
- Lopez M. & J. Arrue. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil Till. Res.* 44: 35-54.
- Molden D., T. Oweis, P. Steduto, P. Bindraban, M.A. Hanjra & J. Kijne. 2009. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. *Agr. Water Manage.* 97: 528-535.
- Moroke T.S., R.C. Schwartz, K.W. Brown & A.S.R. Juo. 2005. Soil water depletion and root distribution of three dryland crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 197-205.
- Nielsen D.C., P.W. Unger & P.R. Miller. 2005. Efficient Water Use in Dryland Cropping Systems in the Great Plains. *Agron. J.* 97: 364-372.
- Noellemeyer E., R. Fernández & A. Quiroga. 2013. Crop and tillage effects on water productivity of dryland agriculture in Argentina. *Agriculture* 3: 1-11.
- Quiroga A., M. Díaz-Zorita & D.E. Buschiazzo. 2001. Safflower productivity as related to soil water storage and management practices in semiarid regions. *Commun. Soil Sci. Plant* 32(17&18): 2851-2862.
- Rivas J. & R. Matarazzo 2009. Producción de cártamo. Consideraciones generales. Boletín de divulgación N° 20. INTA - EEA Hilario Ascasubi, Buenos Aires, Argentina.
- Rondanini D.P., N.V. Gomez, M.B. Agosti & D.J. Miralles. 2012. Global trends of rapeseed grain yield stability and rapeseed-to-wheat yield ratio in the last four decades. *Eur. J. Agron.* 37: 56-65.
- Tanaka D.L., J.M. Krupinsky, M.A. Liebig, S.D. Merrill, R.E. Ries, J.R. Hendrickson, H.A. Johnson & J.D. Hanson. 2002. Dynamic Cropping Systems: an adaptable approach to crop production in the Great Plains. *Agron. J.* 94: 957-961.
- Tanaka D.L., R.L. Anderson & S.C. Rao. 2005. Crop sequencing to improve use of precipitation and synergize crop growth. *Agron. J.* 97: 385-390.
- Wallace J.S. 2000. Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. *Agr. Ecosyst. Environ.* 82: 105-119.
- Yau S.K. & J. Ryan. 2010. Response of rain-fed safflower to nitrogen fertilization under Mediterranean conditions. *Ind. Crop Prod.* 32: 318-323.