

EVAPOTRANSPIRACIÓN Y EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA EN INTERCULTIVOS MAÍZ-SOJA VS CULTIVOS PUROS

Cristian Valenzuela¹, Aída I. Della Maggiora¹, Laura Echarte^{1,2}, Matías Cambareri¹ y Mauro Polizzi¹

¹Unidad Integrada Balcarce Facultad de Ciencias Agrarias, UNMDP-EEA INTA.

²Conicet Balcarce. Argentina

(Manuscrito recibido el 22 de abril de 2010, en su versión final el 11 de octubre de 2010)

RESUMEN

En este trabajo se evaluó la evapotranspiración real (ETR) y la eficiencia en el uso de agua (EUA) del intercultivo maíz-soja bajo dos arreglos espaciales y en los respectivos cultivos puros. El experimento se realizó en la Unidad Integrada Balcarce Facultad de Ciencias Agrarias, UNMDP-EEA INTA durante la campaña 2007-08. Los tratamientos fueron: a) Intercultivo con dos surcos de soja y uno de maíz (2_1), b) intercultivo con tres surcos de soja y dos de maíz (3_2), c) maíz puro (M) y d) soja pura (S). El cultivo de maíz se sembró el 18/10 y el de soja el 3/12.

La ETR acumulada entre la emergencia de maíz y la madurez fisiológica de soja fue de 586,7, 564,8, 570,5 y 596,0 mm para 2_1, 3_2, M y S, respectivamente. La EUA en biomasa (EUA_B) resultó significativamente más alta en M ($44,5 \text{ kg}^{-1}\text{mm}^{-1}$) que en S ($18,6 \text{ kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$), 2_1 ($35,3 \text{ kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$) y 3_2 ($35,3 \text{ kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$). La EUA_B de S fue significativamente menor que en los intercultivos. Las EUA en grano fueron 21,2, 5,5, 16,9 y 17,0 $\text{kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ para M, S, 2_1 e 3_2, respectivamente. La significancia de las diferencias entre tratamientos coincidió con la descripta para la EUA_B .

Palabras clave: Intercultivo, maíz, soja, evapotranspiración, eficiencia en el uso de agua.

EVAPOTRANSPIRATION AND WATER USE EFFICIENCY IN MAIZE-SOYBEAN INTERCROPS AND THE SOLE CROPS

ABSTRACT

This work studies the real evapotranspiration (RET) and the water use efficiency (WUE) in a maize-soybean intercrop with two spatial arrangements and in their sole crops. The experiment was conducted in the UIB, FCA-UNMDP EEA INTA during the 2007-2008 season. Treatments were: a) 2 rows soybeans and 1 row maize intercrop (2_1), b) 3 rows soybean and 2 rows maize intercrop (3_2), c) sole maize and d) sole soybean. Crops were sown on October 18 (maize) and December 3 (soybean).

RET accumulated from maize emergence to soybean physiological maturity was 586,7, 564,8, 570,5 y 596,0 mm for 2_1, 3_2, sole maize and sole soybean, respectively.

Water use efficiency (WUE) as the quotient between accumulated shoot biomass and RET was significantly higher in sole maize ($44,5 \text{ kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$) than in sole soybean ($18,6$

kg ha⁻¹mm⁻¹), 2_1 (35,3 kg ha⁻¹mm⁻¹) and 3_2 (35,3 kg ha⁻¹mm⁻¹). WUE of sole soybean was significantly lower than those of the intercrops. WUE as the quotient between grain biomass and RET, were 21,2, 5,5, 16,9 y 17,0 kg ha⁻¹mm⁻¹ for sole maize, sole soybean, 2_1 and 3_2 intercrop, respectively. Significant differences were like those found for shoot biomass WUE.

Keywords: intercropping, maize, soybean, evapotranspiration, water use efficiency

1. INTRODUCCIÓN

La optimización de la productividad del recurso agua es un aspecto importante para el desarrollo de sistemas agrícolas sustentables. El intercultivo es una alternativa productiva que puede mejorar la captación y/o eficiencia en el uso de agua comparado con los cultivos puros (Caviglia y otros 2004). Se trata de un sistema de producción en el que se cultivan dos o más especies en la misma área, en forma simultánea, durante parte o todo su ciclo de vida (Ofori y Stern 1987). La captación de agua se refiere al uso de agua o evapotranspiración real (ETR) del cultivo y la eficiencia en el uso de agua resulta de la relación entre la producción de biomasa o grano y la ETR.

En la zona sudeste de Buenos Aires se ha propuesto la realización extensiva de intercultivos de verano (Calviño 2005). La factibilidad de combinar exitosamente cultivos de verano en intercultivo (es decir maíz-soja y girasol-soja) en esta región se sustenta en el desfase temporal en los períodos críticos de determinación de rendimiento de ambos cultivos (es decir, enero para maíz y girasol y febrero para soja; Andrade y otros 2002), lo que puede reducir la competencia por recursos entre ellos y resultar en un aumento de la productividad del sistema comparado con los cultivos puros (Echarte y Della Maggiora 2007; Coll 2009). Considerando que el agua es uno de los recursos básicos que puede explicar diferencias en productividad entre sistemas, se han desarrollado a nivel local experiencias en las que se evaluaron ETR (captación de agua) y/o eficiencia en el uso de agua en intercultivos de verano comparados con sus cultivos puros. Con respecto a la captación de agua, Cerrudo (2007) encontró que un intercultivo de girasol-soja con arreglo espacial de dos líneas de soja y una de girasol (2_1) presentó similar captación de agua estacional entre la siembra de girasol y la madurez fisiológica de soja que sus cultivos puros en este mismo período. Contrariamente, Coll (2009) halló diferencias entre

sistemas comparando la ETR estacional de los intercultivos maíz-soja y girasol-soja con un arreglo 2_1 vs la ETR de cada cultivo individual durante su propio ciclo. Es decir, que al considerar para los cultivos puros sólo la ETR durante su estación de crecimiento se estaría despreciando la evaporación del período previo a la emergencia, en el caso de soja pura y la evaporación del período posterior a la madurez fisiológica para maíz y girasol puros. Esto explica la mayor ETR del intercultivo con respecto a los cultivos puros. Los valores de ETR estacional de los cultivos puros determinados por Coll (2009) resultaron similares a los informados por Della Maggiora y otros (2002) para el mismo ambiente (599, 500 y 454 mm para maíz, girasol y soja, respectivamente).

En general, en la bibliografía se encuentran mayores ventajas del intercultivo en términos de eficiencia en el uso de agua (EUA) que en captación de agua (Morris y Garrity 1993). La respuesta del intercultivo en EUA varía según se trate de una combinación de dos especies con metabolismo C3 o una C3 y otra C4. Cuando se combinan dos especies C3, en general, el intercultivo supera ampliamente la EUA de ambos cultivos puros, aunque normalmente el cultivo dominante, de mayor altura, es el que más contribuye a la EUA del intercultivo (Morris y Garrity 1993; Caviglia y otros 2004; Morales-Rosales y otros, 2006; Mohsenabadi y otros, 2008; González y otros, 2007). En el caso que se asocie una especie C3 con otra C4, esta última tiene el mayor peso en la EUA. Tsubo y otros (2003) determinaron que el intercultivo de maíz-poroto tuvo una EUA equivalente o mayor que el cultivo puro de maíz y mucho mayor que el cultivo puro de poroto. Por su parte, Ouda y otros (2007) evaluaron diferentes arreglos del intercultivo maíz-soja (1M:1S, 1M:2S, 2M:1S y 2M:2S, siendo M maíz y S soja) y determinaron una mayor EUA en el diseño 2M:1S, cuyo valor fue similar al del cultivo puro de maíz. Es decir que a medida que

aumentó la proporción de maíz, también se incrementó la EUA. En coincidencia con estos resultados, Coll (2009) determinó que un intercultivo de maíz-soja con un diseño 2S_1M presentó una mayor EUA con respecto a soja pura pero inferior a la correspondiente a maíz puro.

Otro aspecto que puede contribuir al aumento de la EUA en intercultivos con respecto a los cultivos puros es el aumento de la transpiración (T) en la relación T/ETR y la reducción de la evaporación directa del suelo, dada la superposición del ciclo de los cultivos componentes y por lo tanto mayor duración de la cobertura del suelo (Morris y Garrity, 1993). En este aspecto, Valenzuela y otros (2008) a partir de datos obtenidos en el mismo ensayo de intercultivo maíz-soja que el del presente trabajo, determinaron una menor proporción de uso de agua debida a evaporación en el intercultivo respecto de la soja pura, observándose las diferencias más marcadas en el arreglo de intercultivo con mayor proporción de maíz (3_2).

Teniendo en cuenta los antecedentes mencionados y considerando la mayor eficiencia en el uso de agua del cultivo de maíz con respecto a soja, se esperaría un aumento en la EUA en intercultivos que combinen estos cultivos con una mayor proporción de maíz y similitud en el uso de agua entre componentes puros e intercultivados. Es de interés evaluar en este trabajo la ETR y la EUA del intercultivo maíz-soja bajo dos arreglos espaciales con diferente proporción de maíz y comparar con los respectivos cultivos puros.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la Unidad Integrada Balcarce Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP-EEA INTA ubicada en la localidad de Balcarce, provincia de Buenos Aires, Argentina (37°45' S, 58°18' W, 130 m snm), sobre un Argiudol típico con una profundidad efectiva entre 1,4 y 1,6 m. El diseño utilizado fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Los tratamientos en evaluación fueron los siguientes:

- Intercultivo con arreglo de dos surcos de soja (S) y uno de maíz (M) (2_1; SSMSSSM).
- Intercultivo con arreglo de tres surcos de soja y dos maíz (3_2; SSSMMSSSMSSSM).
- Maíz puro.

- Soja pura.

Se utilizó un híbrido de maíz ciclo corto, DKC51-45AR2, sembrado el 18 de octubre de 2007 con una densidad de 7,5 plantas m⁻², tanto en las parcelas con cultivo puro como en las intercultivadas con soja. La siembra del cultivo de soja se realizó el 3 de diciembre de 2007 empleando el cultivar SPS 4500, con una densidad de 28-30 plantas m⁻² para todos los tratamientos. La distancia entre surcos fue de 0,52 m y la longitud de los mismos de 12 m, con una orientación N-S.

Se realizó una fertilización antes de la siembra con 35 kg ha⁻¹ de P y se aplicaron 100 kg ha⁻¹ de N al cultivo de maíz en el estadio de seis hojas (V6). Las malezas fueron controladas química y manualmente. Todos los tratamientos contaron con riego suplementario empleando un equipo por goteo.

Se realizaron medidas semanales de humedad del suelo para la determinación de la evapotranspiración real (ETR) en cada tratamiento. Se empleó el método gravimétrico en la capa superficial (0-0,1 m) y el de atenuación de neutrones en capas más profundas (0,1-1,6 m). Los tubos de acceso para la sonda de neutrones fueron dispuestos de la siguiente manera: a) un tubo en cada parcela de cultivos puros, b) un tubo entre dos surcos de soja y otro entre soja y maíz para el sistema de intercultivo 2_1 y c) un tubo entre dos surcos de soja, otro entre soja y maíz y un tercero entre dos surcos de maíz en el sistema de intercultivo 3_2. Las mediciones se realizaron cada 0,10 m de profundidad hasta 0,4 m y cada 0,2 m en el resto del perfil. La ETR se calculó para los intervalos de medición de humedad, sumando la precipitación y el riego y restando la variación de almacenaje de agua y el drenaje en la capa de 0-1,4 m. La ETR de los tratamientos de intercultivo se determinó como el promedio ponderado de las diferentes posiciones de medición dentro cada unidad experimental. En el intercultivo 2_1 se dispuso de un surco de maíz y dos de soja, de manera que se incluyeron tres entresurcos, donde hubo dos interfases maíz-soja y una interfase soja-soja, por lo tanto la ETR se obtuvo según:

$$ETR_{2_1} = (ETR_{S_S} + (ETR_{S_M} * 2)) / 3$$

En el intercultivo 3_2 cada unidad de medición tuvo 5 entresurcos de los cuales se definieron 2 interfases soja-soja, 2 interfases soja-maíz y 1 interfase maíz-maíz. Entonces la ETR del intercultivo 3_2 se determinó de la siguiente manera:

$$ETR_{3_2} = ((ETR_{S_S} * 2) + (ETR_{S_M} * 2) + (ETR_{M_M})) / 5$$

Para analizar la evolución de la ETR se dividió la estación de crecimiento en seis subperíodos, de acuerdo a los estadios fenológicos de los cultivos determinados por Cambareri (2009) en base a la escala de Ritchie y Hanway (1982) para maíz y Fher y Caviness (1997) para soja.

La eficiencia en el uso del agua en biomasa (EUA_B) se calculó para cada tratamiento en cuatro momentos a lo largo del ciclo de intercultivo, a partir de la relación entre la biomasa acumulada hasta cada momento y la ETR acumulada en igual período. En maíz los muestreos de biomasa se realizaron en V17 (9/1), R3 (4/2), R5 (11/3) y R6 (18/3) y en soja en V4(9/1), R2 (4/2), R6 (11/3) y R7 (10/4). Asimismo, se determinó la EUA en grano (EUA_G) como el cociente entre el rendimiento en grano y la ETR acumulada entre la emergencia del maíz (VeM) y la madurez fisiológica de soja (R7S). En el caso de los intercultivos los rendimientos de los dos componentes se sumaron para calcular el rendimiento del sistema.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Contenido de agua del suelo y oferta hídrica estacional.

La estación de crecimiento (EC) del intercultivo maíz-soja se inició con un contenido de agua del suelo entre un 6 y 10 % por debajo del límite máximo en la capa de 1,4 m de suelo (460 mm). A medida que avanzó la EC el almacenaje de agua del suelo fue descendiendo, tanto en el cultivo puro de maíz como en los intercultivos (Figura 1a), acorde con el crecimiento del mismo y con el aumento de la demanda atmosférica (Figura 1b).

Entre los 63 y 82 días desde la emergencia de maíz (DDEM) la tasa de ETR de los cultivos, especialmente la de maíz, fue elevada y la reposición de agua no alcanzó a cubrir la demanda,

por lo tanto el nivel de almacenamiento a 1,4 m de profundidad estuvo por debajo del umbral crítico (60% del agua disponible, 378 mm) en todos los tratamientos, exceptuando el cultivo de soja pura.

A partir de los 100 DDEM, con el aporte de lluvias y riego se logró mantener un nivel de agua igual o superior al umbral crítico hasta el final de la estación de crecimiento (Figura 1).

La oferta hídrica estacional media de todos los tratamientos fue de 866,8 mm, correspondiendo 441,5 mm a la precipitación efectiva, 157,3 mm al riego y 168 mm al agua disponible en el perfil (1,4 m) al inicio de la estación de crecimiento

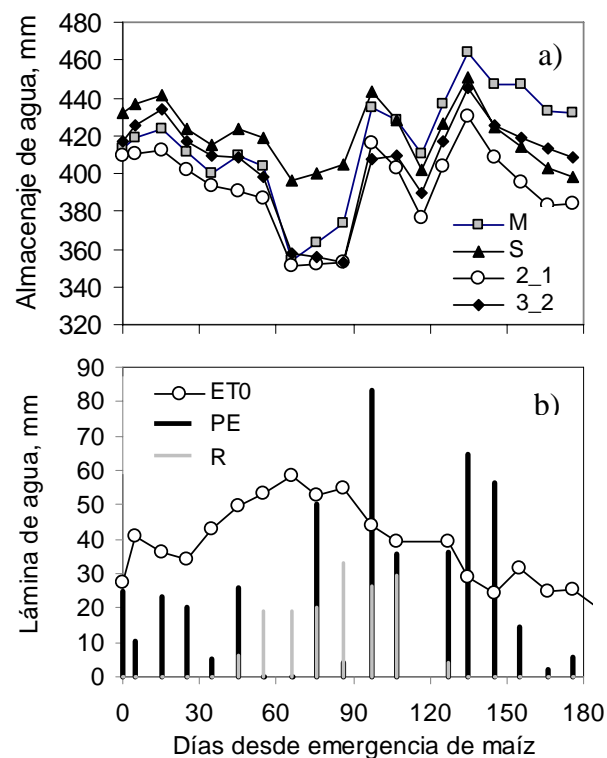


Figura 1. a) Almacenaje de agua en el suelo en la capa de 0 a 1,4 m en los diferentes sistemas, b) oferta de agua (precipitación efectiva, PE y riego, R) y evapotranspiración de referencia (ETO) según Penman-Monteith en función de los días desde emergencia de maíz (DDEM).

3.2. Evapotranspiración real en los intercultivos maíz-soja con distinto arreglo espacial y en sus cultivos puros

El sistema con menor ETR acumulada entre la emergencia del maíz y la madurez fisiológica de

soja fue el intercultivo 3_2 (564,8 mm), diferenciándose significativamente ($P < 0,05$) del sistema con mayor ETR que fue el de soja pura (596 mm; Tabla I y Figura 2). Los valores acumulados de ETR del intercultivo 2_1 y del maíz puro no se diferenciaron entre si, ni con el resto de los sistemas ($p > 0,05$; Tabla I). La ETR de los cultivos puros en sus respectivas estaciones de crecimiento (desde emergencia hasta madurez fisiológica) resultó de 544,8 mm para el maíz y de 497 mm para el cultivo de soja. Estos valores de ETR están dentro del orden de magnitud de los citados en la bibliografía para la zona de Balcarce (Della Maggiora y otros, 2002; Coll, 2009) y confirman una adecuada estimación de la ETR en este trabajo. Asimismo, la ETR acumulada en el intercultivo 2_1 fue similar a la obtenida por Coll (2009) en un ensayo con similares características pero con diferentes genotipos de maíz.

Tabla I: ETR acumulada desde la emergencia de maíz hasta la madurez fisiológica de soja para los sistemas agrícolas maíz puro (M), soja pura (S), intercultivo maíz-soja con arreglo espacial 2 líneas de soja por cada línea de maíz (2_1), y con arreglo espacial 3 líneas de soja cada 2 de maíz (3_2). Letras distintas representan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,05$).

Sistema	ETR (mm)
M	570,5 ab
S	596,0 a
2_1	586,7 ab
3_2	564,8 b

En resumen, los intercultivos y el cultivo de maíz puro tendieron a presentar los menores valores de ETR.

Un análisis de la ETR por subperíodos permitiría comprender el origen de estas tendencias entre sistemas. En general, si bien no se pudo separar la ETR de cada componente del intercultivo, la similar evolución de la ETR entre el maíz puro y los intercultivos hace suponer que el maíz es el componente del intercultivo con mayor contribución al consumo de agua durante la primera mitad del ciclo (Figura 2). Por ejemplo, a los 100 DDEM la ETR acumulada de maíz puro

fue alrededor de 40 mm superior que la de soja pura, presentando los intercultivos valores intermedios, aunque más cercanos al maíz (Fig. 2). La evolución de la tasa de ETR a través del tiempo presentó valores iniciales y finales bajos y valores máximos en la mitad del ciclo en todos los sistemas de cultivo (Figura 3). Esta dinámica coincide con lo informado por Della Maggiora y otros (2002) para cultivos convencionales de maíz y soja creciendo sin limitaciones hídricas ni nutricionales. Sin embargo, no ha sido informado previamente para intercultivos de maíz-soja con diferentes arreglos espaciales creciendo en el Sudeste de Buenos Aires. Las bajas tasas de ETR hacia el final del ciclo (Figura 3) contribuyen a explicar la menor tasa de acumulación de agua consumida (Figura 2) y serían el resultado de (i) una menor demanda atmosférica que en períodos anteriores (ver ET_0 en Figura 1 b), (ii) un estado de desarrollo avanzado de los cultivos (es decir, desde madurez fisiológica de maíz que coincide aproximadamente con R6 de soja hasta madurez fisiológica en soja) que se corresponde con escasa demanda de agua para transpiración (Della Maggiora y otros, 2002) y (iii) una mayor cobertura por residuos que evitaría la pérdida por evaporación de agua en el período final.

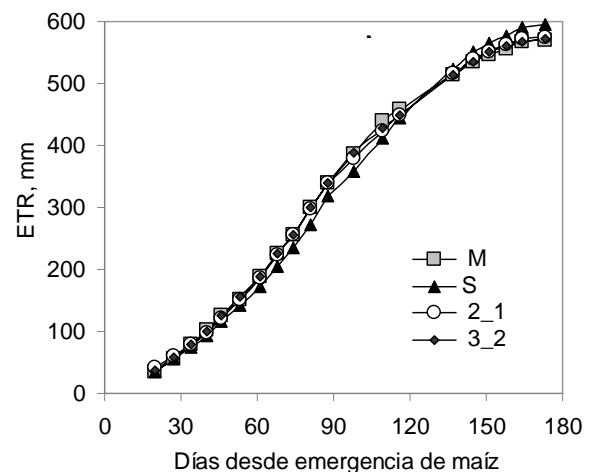
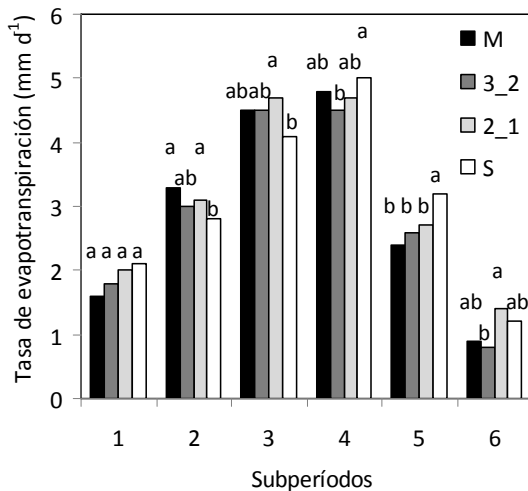


Figura 2. ETR acumulada en los diferentes sistemas de intercultivo y cultivos puros, desde la emergencia de maíz a la madurez fisiológica de soja.

En el período inicial que abarca desde emergencia hasta 4 hojas de maíz (VeM-V4M, subperíodo 1, Figura 3) la ETR media diaria no fue

significativamente distinta entre sistemas ($P < 0,05$). Hasta R1M las mayores tasas de ETR se correspondieron con los sistemas que incluyeron maíz. Si bien no se midió área foliar en maíz puro, se conoce que cultivos de maíz creciendo sin limitaciones hídricas ni nutricionales alcanzan su máximo valor de área foliar alrededor de R1 (Andrade y otros., 2002), lo que estaría en estrecha relación con su consumo de agua (Della Maggiora y otros, 2002; Tambascio, 2002). Desde R1 de maíz y hasta R3 de soja (subperíodo 4, Figura 3), en cambio, las tendencias en ETR media diaria entre sistemas no son tan claras, dado que la soja comienza con un activo crecimiento y el maíz mantiene su área foliar máxima por un período de tiempo prolongado (Andrade y otros, 2002).



Soja	Ve - V3 - R3 - R6 - C
Maíz	Ve - V4 - V9 - R1 MF,C

Figura 3. Tasa de ETR (mm d^{-1}) en función a subperíodos durante el ciclo de los cultivos para los sistemas agrícolas: maíz puro (M), soja pura (S), intercultivo maíz-soja con arreglo espacial 2 líneas de soja cada una de maíz (2_1), y con arreglo espacial de 3 líneas de soja cada 2 de maíz (3_2). Letras distintas indican diferencias significativas entre sistemas en cada subperíodo, $p < 0,05$. En los recuadros debajo del eje de abscisa, se indican los estadios fenológicos para maíz y soja promedios al inicio y fin de cada subperíodo

Entre R3S y R6M (subperíodo 5, Figura 3) el cultivo de soja mantuvo tasa más altas de ETR y

significativamente diferentes que los restantes sistemas. Esto concuerda con los mayores valores de área foliar en activo funcionamiento en soja pura que en los intercultivos. Reicosky y Heatherly (1990) coinciden en que los valores máximos de ETR en soja ocurren entre R1 y R6. En cambio, los sistemas con mayor proporción de plantas de maíz (es decir, el intercultivo 2_3 y maíz puro) presentaron los valores más bajos de ETR, en coincidencia con el comienzo de la senescencia en este cultivo y su correspondiente menor consumo de agua (Della Maggiora y otros, 2002). Hacia el final del ciclo bajo estudio (subperíodo 6, R6M-R8S, Figura 3) nuevamente las tendencias en ETR entre sistemas no son tan claras, aunque los sistemas con mayor proporción de maíz (maíz puro e intercultivo con arreglo 3_2) tendieron a presentar los menores valores de ETR. Esto se asociaría con que la mayor proporción de plantas de maíz no sólo determina una mayor área de suelo con ausencia de transpiración, sino que además queda abundante biomasa remanente de maíz luego de cosecha, determinando una mayor superficie cubierta por residuos, que reduce la llegada de radiación solar al suelo y condicionaría una menor evaporación que los otros sistemas.

3.3. Eficiencia en el uso del agua (EUA)

La EUA en biomasa final (EUA_{BF}) calculada como la relación entre la biomasa total y la ETR acumulada entre la emergencia del maíz y la madurez fisiológica de la soja fue mayor en maíz puro ($44,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), intermedia en los intercultivos ($35,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) y menor en soja ($18,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; $P < 0,05$, Figura 4). Esto se asociaría con el metabolismo fotosintético más eficiente de maíz por ser una especie C4 y con su bajo contenido energético para producir biomasa reproductiva (Andrade y otros, 2002). Similares tendencias fueron informadas por Coll (2009) a partir de experiencias realizadas en el mismo ambiente que este trabajo. En concordancia con estos resultados, Ouda y otros (2007), al evaluar diferentes arreglos del intercultivo maíz-soja (1M:1S, 1M:2S, 2M:1S y 2M:2S, siendo M maíz y S soja) determinaron una mayor EUA en el diseño 2M:1S, cuyo valor fue similar al del cultivo puro de maíz. Es decir que a medida que aumentó la proporción de maíz, también se incrementó la

EUA. Por su parte, Tsubo y otros (2003) determinaron que el intercultivo de maíz-poroto tuvo una EUA equivalente o mayor que el cultivo puro de maíz y mucho mayor que el cultivo puro de poroto.

Considerando la EUA_B por subperíodos se encontró que entre la emergencia y la floración del maíz (es decir, R1 en maíz, Figura 4) la EUA_B del intercultivo con arreglo 3_2 fue significativamente mayor que la del arreglo 2_1. Este comportamiento se podría explicar por la mayor proporción del componente maíz en el intercultivo 3_2, como así también por la menor proporción de evaporación en la primer parte de este período (Valenzuela y otros 2008). Sin embargo, esta ventaja inicial en

EUA_B asociada con una menor proporción de agua que es perdida como evaporación en el arreglo 3_2 respecto del 2_1 y de soja pura se diluye a lo largo del ciclo (Valenzuela y otros 2008) y diferencias en EUA_B estacional de los intercultivos respecto de soja pura serían atribuidas mayormente a la mayor proporción de maíz en los primeros.

La EUA en materia seca de grano ($EUAg$), al igual que en biomasa, resultó significativamente mayor en maíz puro, similar entre arreglos de intercultivo y significativamente más bajo en soja pura (Tabla II). Los valores de $EUAg$ de maíz puro resultaron más elevados que los citados por Della Maggiora y otros (2002) para la zona de Balcarce ($18 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) y similares a los informados por Coll (2009). El uso de otro genotipo de maíz, como así también el uso de un sistema de riego por goteo en este trabajo, que es más eficiente que el de aspersión utilizado en los otros experimentos, pueden contribuir a explicar en parte las diferencias en EUA. Con respecto a la $EUAg$ del cultivo puro de soja resultó algo inferior que la informada por Della Maggiora y otros (2002) y a la reportada por Coll (2009). La diferencia entre trabajos se asociaría con el uso de un genotipo diferente y con una mayor pérdida de agua al considerar el período completo del intercultivo, que suma importantes pérdidas por evaporación, previo a la siembra de la soja (Valenzuela y otros, 2008). Por el contrario, si se considera la $EUAg$ de maíz y soja en sus respectivas estaciones de crecimiento, comparada con la del intercultivo, se encontraron valores similares para el caso del maíz ($22,8 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) debido a que la ETR estacional del cultivo fue similar a la de la estación de crecimiento del intercultivo. en cambio, para la soja el valor de $EUAg$ se incrementó considerablemente ($7,4 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) debido a la importante evaporación desde el comienzo de la estación de crecimiento del intercultivo hasta la emergencia de la soja (Valenzuela y otros, 2008). Dicho valor fue similar al informado por Coll (2009).

Las diferencias entre sistemas en EUA, expresada en Equivalente glucosa (EUA_{EG}) mantuvieron la misma tendencia que la $EUAg$, aunque la mayor concentración energética del grano de soja determinó que la EUA_{EG} de esta especie en cultivo puro, casi duplique la $EUAg$ (Tabla II).

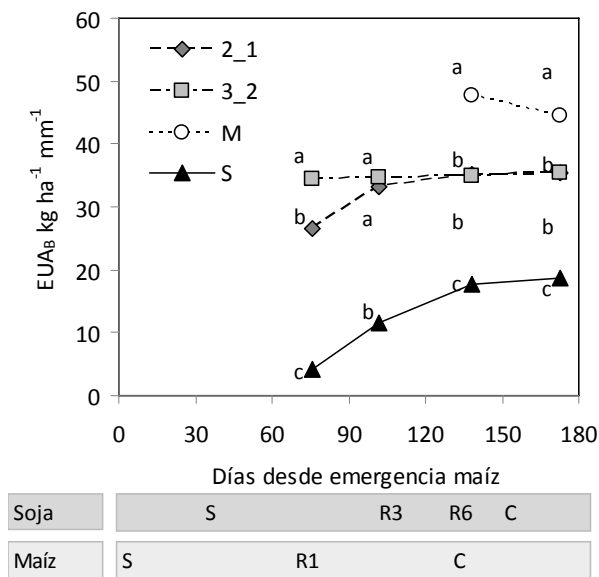


Figura 4. Eficiencia en el uso de agua ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) obtenida de la relación entre la biomasa y ETR acumuladas en 4 intervalos a partir de la emergencia de maíz para los tratamientos maíz puro (M), soja pura (S), intercultivo con arreglo espacial de 2 líneas de soja y 1 de maíz (2_1), y con arreglo espacial de 3 líneas de soja y 2 de maíz (3_2). Letras distintas indican diferencias significativas entre sistemas en cada fecha, $p < 0,05$. En los recuadros debajo del eje de abscisa, se indican los estadios fenológicos para maíz y soja según DDEM. *No se registraron datos de biomasa para las primeras dos fechas de muestreo.

Tabla II: Eficiencia en el uso de agua en materia seca de grano (EUA_G) y en equivalente glucosa (EUA_{EG}) en los diferentes sistemas de intercultivo y cultivos puros. Letras distintas en una misma columna representan diferencias significativas entre sistemas ($P < 0,05$).

Sistema	EUA_G (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	EUA_{EG} (Eq glucosa ha ⁻¹ mm ⁻¹)
M	21,2 a	29,5 a
S	5,5 c	10,6 c
1_2	16,9 b	24,0 b
2_3	17,0 b	24,8 b

En resumen, la EUA fue incrementada en los intercultivos respecto de soja pura, pero no respecto de maíz. Diferencias en el metabolismo fotosintético de las especies componentes principalmente, pero también una menor proporción de agua consumida como evaporación al inicio del ciclo (Valenzuela y otros, 2008), contribuirían a explicar las ventajas en EUA del maíz y de los intercultivos, respecto de soja.

4. CONCLUSIONES

La caracterización de la evapotranspiración acumulada y de su dinámica a través del ciclo demostró que los intercultivos y el cultivo de maíz puro tendieron a presentar los menores valores de ETR acumulada. Se comprobó que esta tendencia estaría asociada a las menores tasas de evapotranspiración de los intercultivos y de maíz puro con respecto a soja pura hacia el final del ciclo, cuando se produce un activo crecimiento de la soja y ya el maíz está senesciendo. En esta etapa este último no sólo presenta baja demanda transpirativa sino que deja abundantes residuos sobre la superficie que disminuye la pérdida por evaporación.

Las diferentes expresiones de la eficiencia en el uso de agua (es decir, EUA_{BF} , EUA_B , EUA_G y EUA_{EG}) muestran el mismo patrón de diferencias entre tratamientos. La EUA del cultivo puro de maíz supera a la de los demás tratamientos, mientras que la EUA del intercultivo maíz-soja excede considerablemente a la correspondiente al cultivo puro de soja, independientemente del arreglo espacial.

El ordenamiento en EUA a través de los sistemas se debería principalmente a la importante contribución del maíz a la EUA, siendo un cultivo con metabolismo C4, más eficiente fotosintéticamente que la soja (es decir C3). A su vez, la soja pura presenta el valor más alto de ETR estacional de los sistemas evaluados. Una parte importante de esta pérdida de agua se produce en el período inicial del ciclo de intercultivo como evaporación, asociado a una alta demanda ambiental, al alto contenido de humedad del suelo y a la escasa cobertura, lo que contribuye a reducir su EUA.

Los intercultivos no se diferenciaron entre sí en la eficiencia en el uso del agua en biomasa final, sin embargo, el intercultivo 3_2 presentó ventajas iniciales en EUA respecto del otro arreglo de intercultivo, pero se diluyeron a lo largo del ciclo. A la luz de estos resultados y considerando el avance del cultivo soja en nuestro país, el intercultivo sería una alternativa de interés ya que permitiría aumentar la EUA con respecto a soja pura, además de contribuir a la sustentabilidad del suelo.

REFERENCIAS

- Andrade, F.H.; Aguirrezabal, L.A.N.; Rizzalli, R. H., 2002. Crecimiento y rendimiento comparados. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Andrade, F. H. y Sadras, V. O. (Eds). Editorial Producciones Gráficas Sirio. págs. 155-171.
- Calviño, P., 2005. Conclusiones Taller ASAGIR sobre Fisiología. 3° Congreso Argentino de Girasol. ASAGIR, 31 de mayo a 1 de junio de 2005.
- Cambareri, M.A., 2009. Condiciones microambientales y su incidencia en el crecimiento y desarrollo de la soja en intercultivo con maíz. Tesis requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP), 53 p.
- Caviglia. O.P., Sadras, V.O. y Andrade, F.H., 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. *Field Crops Res.*, **87**,117-129.

Cerrudo, D., 2007. Captación de agua en intersembra girasol-soja y su respuesta a la densidad de plantas de girasol. Tesis requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP), 37 p.

Coll, L., 2009. Captación y utilización de recursos en los intercultivos girasol-soja y maíz-soja. Tesis Magíster Scientiae en Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP). 72 p.

Della Maggiora, A.I.; Gardiol, J.M. y Irigoyen, A.I., 2002. Requerimientos hídricos. Bases para el manejo del maíz, girasol y soja. F. Andrade y V. Sadras (eds). 2º edición. Editorial Producciones Gráficas Sirio. págs. 157-173.

Echarte L. y Della Maggiora, A., 2007. Respuesta de la intersembra maíz-soja a la densidad de plantas de maíz. Workshop Internacional: "Eco Fisiología Vegetal Aplicada al Estudio de la Determinación del Rendimiento y la Calidad de los Cultivos de Granos". Primer Encuentro Red Raíces de Ecofisiología SECyT. 6-7 septiembre 2007. Mar de Plata, Argentina.

Fehr, W.R. y Caviness, C.E., 1977. Stages of soybean development. Special Report 80 Cooperative Extension Service, Agriculture and Home Economics exp. Stn. Iowa State University, Ames, IOWA, **11**, 929-931.

González, H., Cerrudo, D., Echarte, L. Della Maggiora, A. y Irigoyen, A., 2007. Eficiencia de captación y uso de agua en intersembra girasol soja. Workshop Internacional: "EcoFisiología Vegetal Aplicada al Estudio de la Determinación del Rendimiento y la Calidad de los Cultivos de Granos". Primer Encuentro Red Raíces de Ecofisiología SECyT. 6-7 septiembre 2007. Mar de Plata, Argentina.

Mohsenabadi, Gh. R, Jahansooz, M. R., Chaichi, M. R., Rahimian Mashhadi, H., Liaghat A. M., Savaghebi Gh. R., 2008. Evaluation of Barley-Vetch Intercrop at Different Nitrogen Rates J. Agric. Sci. Technol., **10**, 23-31.

Morales-Rosales, E.J., Escalante-Estrada, J.A., Tijerina-Chávez, L., Volke-Haller, V y Sosa-Montes, E., 2006. Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de la radiación solar del agrosistema girasol-frijol. Terra Latinoamericana, **24**, 55-64.

Morris, R.A. y Garrity, D.P., 1993. Resource capture and utilization in intercropping water. Field Crops Research, **34**, 303-317.

Ofori, F. y Stern, W. R., 1987. Cereal-legume intercropping systems. Adv. Agron., **41**, 41-90.

Ouda, S.A., El Mesiry, T., Abdallah, E.F., Gaballah, M.S., 2007. Effect of Water Stress on the yield of Soybean and Maize Grown under Different Intercropping Patterns. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, **1**(4), 578-585.

Reicosky, D. C.; Heatherly, L. G. 1990. Soybean. En: Stewart, B. A. and Nielsen, D. R. (Eds.) Irrigation of Agricultural Crops. Agronomy N° **30**. ASA, CSSA, y SSSA. Wisconsin. USA.

Ritchie, S.W. y Hanway J.J., 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension service Ames, Iowa. Special Report **48**.

Tambascio, L.; Della Maggiora, A.; Irigoyen, A.; Valentinuz, O. Y J. Gardiol. 2002. Efecto de la densidad de plantas sobre la evapotranspiración y eficiencia en el uso del agua en cultivos de maíz y girasol en Balcarce (Argentina). Revista Argentina de Agrometeorología. Tomo **2** (1): 1-9.

Tsubo, M., Mukhala, E., Ogindo, H.O, Walker, S. 2003. Productivity of maize-bean intercropping in a semi-arid region of South Africa. Water SA **29** (4), 381-388.

Valenzuela, C., Della Maggiora, A. Echarte, L., Ruíz Polizzi, M y Cambareri, M., 2008. Partición de la evapotranspiración en sistemas de intercultivo maíz-soja vs. cultivos puros. XII Reunión Argentina de Agrometeorología. 8-10 de octubre de 2008. San Salvador de Jujuy, Argentina.