

EL AGUA EN LOS SISTEMAS EXTENSIVOS

III. Impacto de las prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso del agua

Federico Micucci y Carina Álvarez
fmicucci@inpofos.org

El agua es el factor más limitante en la producción de cultivos extensivos en secano en la región pampeana argentina y en muchas otras regiones del mundo. Por lo tanto, debemos saber producir haciendo un uso eficiente del recurso más escaso, el agua. El objetivo de este artículo es brindar algunos conceptos básicos relacionados con la eficiencia de uso del agua (EUA) y las prácticas de manejo que la mejoran. Para ello es necesario conocer cuales son los componentes de la EUA posibles de modificar y como las prácticas agronómicas pueden afectarla.

Eficiencia de uso del agua. Su definición

La EUA de un cultivo puede ser definida en distintas escalas. De manera general, en condiciones de secano, se la define como el rendimiento o producción de biomasa por unidad de agua consumida. El agua consumida puede expresarse como *transpiración*, *evapotranspiración* o *precipitación*. Para el desarrollo de este trabajo se tomará como base la siguiente fórmula o expresión:

$$EUA [kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}] = R / Pp$$

en donde R es el rendimiento del cultivo ($kg\ ha^{-1}$), en biomasa total o grano, según el objetivo de producción, Pp son las precipitaciones ocurridas durante el barbecho y el ciclo del cultivo (mm).

Prácticas de manejo que modifican la eficiencia de uso del agua

Las prácticas agronómicas deben derivar la mayor cantidad de agua hacia la transpiración del cultivo, ya que es la única pérdida de agua productiva. La evapotranspiración acumulada del cultivo es directamente proporcional a la producción de materia seca (Figura 1).

El productor o técnico, a través del manejo, puede intervenir en el sistema evitando pérdidas de agua no productivas como escurrimiento, evaporación desde el suelo y consumo por malezas. Adicionalmente, en regiones de climas áridos y semiáridos, la práctica de barbecho, resulta fundamental, para la acumulación de agua que permite cierta autonomía, si las lluvias durante el ciclo no llegan a cubrir la demanda del cultivo.

La Tabla 1 indica los componentes, y los principales procesos y prácticas de manejo que modifican la EUA. La Tabla 2 presenta valores de EUA para diferentes cultivos bajo diferentes prácticas de manejo en ensayos realizados en la región pampeana argentina.

1. Prácticas que favorecen la acumulación de agua en el suelo

Las prácticas de manejo que conservan residuos en superficie, como la siembra directa (SD) o las labranzas conservacionistas, incrementan en el largo plazo la EUA respecto de la labranza convencional (LC), mejorando

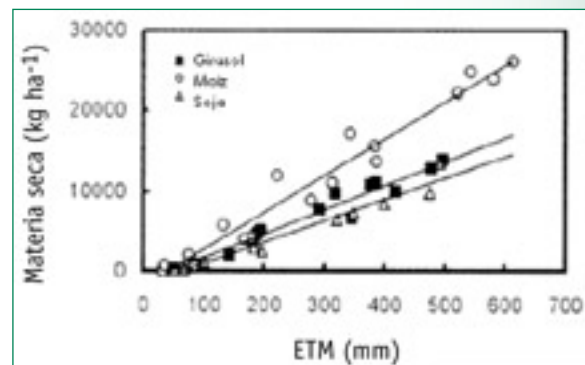


Figura 1. Producción de materia seca aérea ($kg\ ha^{-1}$) y evapotranspiración máxima (mm) de girasol, maíz y soja en Balcarce, Buenos Aires (Della Maggiora et al., 2000).

Tabla 1. Componentes, procesos y prácticas de manejo que modifican la eficiencia de uso del agua (EUA) #.

Componentes	Procesos a favorecer	Procesos a minimizar	Prácticas de manejo
Agua acumulada en el suelo	Precipitación efectiva Acumulación de Carbono orgánico	Escurrimiento Drenaje profundo Pérdida de horizonte A Impedancias subsuperficiales	Prácticas conservacionistas Longitud del barbecho
Agua transpirada por el cultivo	Partición hacia transpiración del cultivo	Evaporación Transpiración de las malezas	Control de malezas Siembra Directa Fertilización Tipo de cultivo Rotación Fecha de siembra
Conversión a biomasa y rendimiento	Eficiencia fotosintética Índice de cosecha	Déficit de presión de vapor	Tipo de cultivo Cultivar Fertilización Fecha de siembra

Se excluye la posibilidad de recarga por ascenso de napas freáticas y el riego.

el balance de agua del suelo. Por un lado, incrementa el ingreso de agua al perfil (precipitación efectiva), y por el otro, disminuye la evaporación desde la superficie del suelo quedando, de esta manera, mayor cantidad de agua disponible para el proceso de transpiración.

La mejora en el ingreso de agua al perfil se atribuye a la presencia de rastrojo en superficie que evita el impacto de la gota de lluvia, reduciendo así el potencial del suelo a encostrarse y erosionarse (Dardanelli, 1998) (Figura 2). También, dependiendo del tipo de suelo, la SD regenera en el largo plazo (>6 años) los macroporos de gran tamaño (> 0.5 mm), denominados “canales preferenciales”, creados por la acción de raíces y lombrices. Estos macroporos suelen estar presentes en las situaciones prístinas, se destruyen con LC y se regeneran luego de varios años de SD continua, logrando una mejor infiltración (Micucci et al., 2002a).

La SD impacta positivamente en la EUA al incrementar, luego de varios años, el contenido de carbono (C) en los primeros centímetros del suelo (Andriulo y Cordone, 1998), mejorando la capacidad de agua disponible del suelo (CAD) (Barbosa et al., 1997; Dardanelli, 1998).

El cultivo dispone del agua almacenada a la siembra en el suelo (Micucci et al., 2002b), y de las precipitaciones que ocurren durante el ciclo de crecimiento.

La CAD almacenada a la siembra genera mayor o menor autonomía, o dependencia de las lluvias. El agua acumulada durante el periodo de barbecho afecta el crecimiento en los primeros estadios de los cultivos, y puede asegurar la disponibilidad de agua en el período crítico del cultivo, donde el déficit hídrico afecta los procesos de generación y definición de rendimiento (Andrade y Sadras, 2000). El manejo de la reserva hídrica de agua en el perfil del suelo es esencial en los cultivos de verano en regiones áridas y semiáridas.

Las situaciones de escasa profundidad efectiva (profundidad de exploración radical), impactan negativamente en la autonomía hídrica para soportar sequías estacionales. Estos problemas se vuelven críticos en suelos someros, por ejemplo por presencia de tosca en el sudeste de Buenos Aires (Sadras y Calviño, 2001) (Figura 3) y en La Pampa (Bono, 1999) (Tabla 2) o en situaciones con un elevado contenido de arcilla (>30-35%) en horizontes subsuperficiales en la zona norte de Buenos Aires (Taboada y Micucci, 2002).

Otro aspecto de singular importancia es la duración del barbecho. En este sentido, se sabe que existe una correlación estrecha entre longitud del barbecho y rendimiento del cultivo de maíz, asociado a un incremento en el nivel de nitratos (NO_3^-) y contenido de agua a la siembra en el suelo. En cultivos de maíz, en el INTA-

Tabla 2. Eficiencia del uso del agua en distintos cultivos bajo diferentes prácticas de manejo en diferentes localidades de la región pampeana argentina.

Cultivo	Zona y/o provincia	Tipo de Suelo	Efecto observado	Práctica de manejo	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	Referencia
Trigo	EEA INTA Rafaela Santa Fe	Argiudol	Labranza @	SD LM	3768 4228	10.6 11.7	Villar, 2000
Trigo	Red AAPRESID-INPOFOS Región pampeana	Argiudoles y Hapludoles	Fertilización	Testigo NP	3347 4603	10.4 13.4	Ambrogio et al., 2000
Trigo	EEA INTA Rafaela Santa Fe	Argiudol	Fecha de siembra	1ª época 2ª época	3946 2550	10.9 8.3	Villar, 2001
Trigo	EEA INTA Paraná Entre Ríos	Argiudol vértico	Fertilización	Sin N Con N		7.6 12.4	Caviglia y Sadras, 2001
Maíz	EEA INTA Oliveros Santa Fe	Argiudol típico	Sistema de manejo #	No Mejorado Mejorado	3800 9700	9.7 20.7	Bacigaluppo et al., 2000
Maíz	Red CREA Sur de Santa Fe	Argiudoles y Hapludoles	Fertilización	Testigo NPS	6981 11153	11.5 18.1	Adaptado de Thomas et al., 2003
Maíz	EEA INTA Paraná Entre Ríos	Argiudol ácuico	Regulador de crecimiento	Sin Con	8611 9118	28.0* 29.9	Peltzer et al., 1997
Maíz	EEA INTA Paraná Entre Ríos	Argiudol ácuico	Densidad (plantas/m ²)	7.1 9.5	8742 8988	27.3* 28.7	Peltzer et al., 1997
Girasol	EEA INTA Anguil La Pampa	Haplustol Entico	Relieve/ Impedancias	Planicie medanosa Planicie con tosca	2950 1968	4.0 2.3	Bono et al., 1999
Soja	EEA INTA Manfredi Córdoba	Haplustoles	Rotación	Soja-Soja Soja-Maíz	2760 3478	5.6 7.4	Martellotto et al., 2001
Soja	EEA INTA Manfredi Córdoba	Haplustoles énticos y típicos	Labranza @	LC LV LM	2087 2519 2790	3.8 4.0 4.2	Nuñez Vázquez et al., 1996

@ LC: labranza convencional; LV: labranza vertical; LM: labranza mínima, SD: siembra directa

El sistema “No Mejorado” incluye varios años de labranza continua, sin cobertura y monocultivo de soja. El Sistema Mejorado se descompactó previamente, luego se inició la SD con rotación con gramíneas para pastoreo y soja de segunda.

* EUA teniendo en cuenta los mm de agua consumida entre el estado V6 y Madurez fisiológica.

Paraná, se observaron incrementos de 600 kg/ha, 100 ppm y 31,9 mm, en el rendimiento, el contenido de NO_3^- y el agua útil a la siembra, respectivamente, con 70 días más de barbecho (Peltzer, 1999). En la región semiárida, evaluaciones realizadas por Quiroga et al. (1998), demuestran la importancia de la longitud del barbecho, determinada por el antecesor, y la práctica de labranza en la acumulación de agua a la siembra del cultivo de girasol, siendo el efecto mayor en años con bajas precipitaciones. Duarte (1999) halló que además del cultivo antecesor, la cantidad de residuos remanente al momento de la siembra incide significativamente en el almacenaje de agua para el cultivo de girasol. El efecto antecesor debe ser tenido en cuenta al momento de planificar la secuencia de cultivos dentro de la rotación (Figura 4).

2. Prácticas que favorecen la transpiración por el cultivo

El efecto combinado de las rotaciones y el sistema de labranza mejora la EUA. En Córdoba, la rotación con maíz respecto al monocultivo de soja implicó mayores rindes en soja, por mayor disponibilidad de agua y menor influencia de plagas y, por ende, mayor EUA (Martellotto et al., 2001) (Tabla 2).

La variación de la fecha de siembra es una práctica de cultivo que modifica el aprovechamiento del agua, condicionando el rendimiento de los cultivos. Villar

(2001) observó mayor profundidad de extracción del agua en cultivos de trigo sembrados tempranamente respecto de los tardíos, aumentando el consumo de agua, los rendimientos y la EUA en un 15%, 35% y 24%, respectivamente.

Los cultivos de verano particularmente el maíz, son muy sensibles durante el periodo próximo a floración (Andrade y Sadras, 2000). Por ello, todas las prácticas tendientes a minimizar las pérdidas de agua o el consumo de agua previo a este periodo, impactan positivamente en la EUA. El consumo de agua esta relacionado con el índice de área foliar (IAF) (Andrade y Sadras, 2000). Es posible modificar el IAF a través de prácticas de manejo de cultivos como es la elección de cultivares, la densidad de plantas y los reguladores de crecimiento. Esta última práctica podría ser utilizada para reducir el consumo de agua, reduciendo el IAF durante el periodo vegetativo, resultando en mayor disponibilidad hídrica en el periodo crítico y aumentando la EUA (Peltzer et al., 1999, Tabla 2). Dentro de los cultivos extensivos, el maíz tiene un alta respuesta en EUA cuando aplicamos prácticas que tienden a mejorarla, ello se ve claramente en los ejemplos de la Tabla 2 (Bacigalupo et al., 2000).

3. Prácticas que favorecen la conversión del agua en biomasa y/o rendimiento

En general, la adecuada nutrición del cultivo presenta un impacto positivo en la EUA atribuido a una mejora en el crecimiento y en el rendimiento (ver ejemplos Tabla 2). Caviglia y Sadras (2001) atribuyeron el aumento de la EUA debido a la fertilización nitrogenada a un incremento en el uso de la radiación (EUR) por incremento de la concentración de N en las plantas que incrementa a su vez la capacidad fotosintética del cultivo de trigo (Tabla 2). Ensayos hechos en trigo, en Paraná (Entre Ríos) mostraron incrementos en EUA grano y EUR en el tratamiento fertilizado respecto del no fertilizado del orden de 63% y 26%, y una disminución en la evaporación desde el suelo del 45% (Caviglia y Papparotti, 2000).

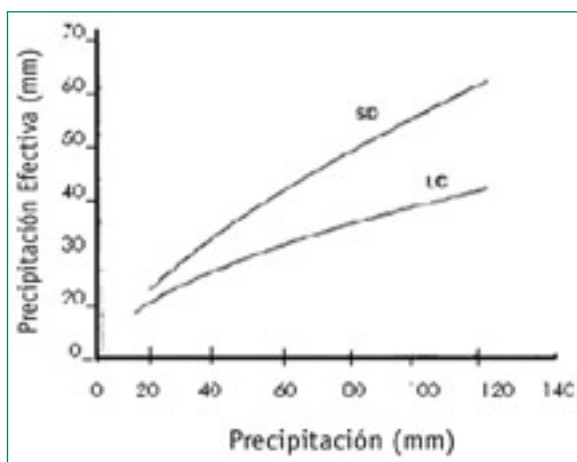


Figura 2. Relación entre la precipitación efectiva y precipitación diaria para siembra directa (SD) y labranza convencional (LC) sobre un suelo Haplustol éntico de Manfredi, Córdoba (Adaptado de Dardanelli, 1998).

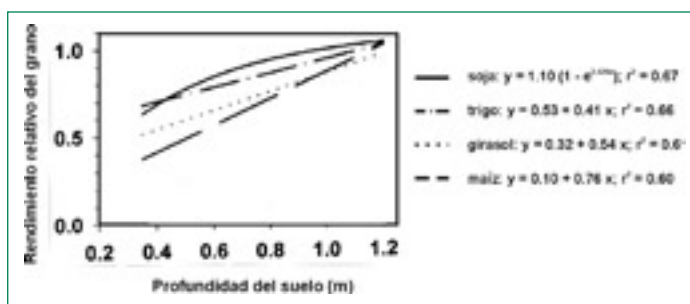


Figura 3. Rendimiento relativo de trigo, soja, girasol y maíz en función de la profundidad del suelo. (Adaptado de Sadras y Calviño, 2001).

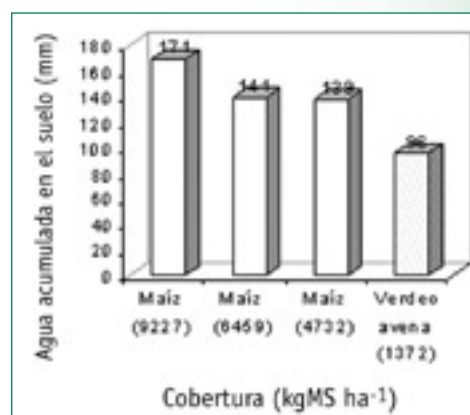


Figura 4. Efecto del cultivo antecesor y cobertura a siembra sobre la acumulación total de agua en un suelo de América, Pcia. de Bs.As. (Adaptado de Duarte, 1999).

El fósforo incrementa la EUA y la tolerancia de los cultivos a la sequía a través del desarrollo temprano del cultivo que reduce la evaporación del agua del suelo favoreciendo la transpiración del cultivo, y por la mayor proliferación y actividad de las raíces.

En climas áridos o semi-áridos, la fertilización potásica mejora la EUA a través de su influencia sobre la turgencia y regulación estomática. Una adecuada nutrición con potasio (K), mantiene constante la presión de turgencia, facilitando los procesos metabólicos. En el ápice de crecimiento, un exceso de turgencia asegura la elongación de las células. El K permite una óptima regulación de los estomas, particularmente en periodos de escasez de agua, haciendo más eficiente el uso del agua por la planta (Lindhauer, 1983).

Consideraciones finales

La siembra directa junto con otras prácticas de manejo de suelo como rotaciones, barbechos, y fertilización, y de cultivo como fecha de siembra, cultivares y control de malezas producen un impacto positivo en la EUA e incrementan los rendimientos. Este impacto positivo resulta muy beneficioso en zonas de producción en secano y con balance hídrico negativo (zonas áridas y semi-áridas). Dentro de los cultivos extensivos, el maíz en especial presenta una gran sensibilidad a la falta de agua y, por ende, las prácticas de manejo pueden tener un efecto significativo en la EUA.

Bibliografía consultada

Ambrogio M., S. Lorenzatti, H. Bizet, H. Don, W. Tanducci, F. García y H. Fontanetto. 2000. Trigo: Explorando deficiencias nutricionales en la región pampeana. Actas Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2000". INPOFOS Cono Sur, Argentina.

Andrade F.H., y Sadras V.O., 2000. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. (Eds) F.H. Andrade y V.O. Sadras. EEA-INTA Balcarce, Fac. de Ciencias Agrarias UNMP. pp 173-206.

Andriulo A. y Cordone G., 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la región pampeana húmeda. En: J.L. Panigatti; H. Marelli; D. Buschiazzo y R. Gil (eds), Siembra Directa. INTA-SAGyP, pp. 65-96.

Bono A., Montoya J.C., y Babinec F.J., 1999. Fertilización en girasol. Resultados obtenidos en tres años de estudio. EEA INTA Anguil y SAGP y A. Publicación Técnica N° 48. pp 22.

Bacigaluppo S., Andreani J. y Malaspina A., 2000. Disponibilidad y consumo de agua en un cultivo de maíz en dos sistemas agrícolas. EEA INTA Oliveros y SAGP y A. Para mejorar la Producción N° 13, pp. 45-50.

Barbosa O.A., Taboada M.A., Rodríguez M.B. y Cosentino D.J. 1997. Regeneración de la estructura en diferentes fases de degradación de un Argiudol franco limoso de la Pampa Ondulada, Argentina. Ciencia del Suelo 15 (2): 81-86.

Caviglia, O.P. y Sadras V.O. 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water and radiation use efficiency of wheat. Field Crops Res. 69:259-266.

Caviglia, O.P. y Paparotti, O.F. 2000. Trigo en el Centro-Oeste de Entre Ríos: Efecto de la cobertura del suelo por el cultivo, influenciada por variaciones en la fertilización nitrogenada, sobre el consumo del agua. EEA INTA Oliveros y SAGP y

A. Para mejorar la Producción N° 13, pp. 55-60.

Dardanelli J.L. 1998. Eficiencia en el uso del agua según sistemas de labranzas. En: J.L. Panigatti; H. Marelli; D. Buschiazzo y R. Gil (eds), Siembra Directa. INTA-SAGyP, pp. 107-115.

Della Maggiora A.I.; Gardiol J.M. y Irigoyen A.I. 2000. Requerimientos hídricos. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. (Eds) F.H. Andrade y V.O. Sadras. EEA-INTA Balcarce, FCA UNMP. pp 155-171.

Duarte G., 1999. Manejo del agua y fertilización del cultivo. En: AACREA (ed.). Girasol. Cuaderno de actualización técnica N°62, pp 22-33.

Lindhauer, M.G. 1983. Effect of potassium on water use efficiency. In I.P.I. (ed.). 17th IPI-Colloquium: Nutrient balances and the need for fertilizers in semi-arid and arid regions. Rabat/Marrakech, Morocco. International Potash Institute, Worblaufen-Bern, Switzerland. pp. 81-98.

Martellotto E, Salas H y Lovera E., 2001. El monocultivo de soja y la sustentabilidad de la agricultura. En AAPRESID (ed.). Rotación de cultivos en siembra directa, Publicaciones Técnicas por Cultivo, AAPRESID, Rosario, Santa Fe. 17-22.

Micucci F.G., Cosentino D. y Taboada M.A. 2002a. Impacto de las labranzas sobre los flujos de agua y los tamaños de poros en dos suelos de la pampa ondulada. En Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACCS, pp. 21.

Micucci F.G.; Taboada M.A. y Gil R. 2002b. El Agua en la Producción de Cultivos extensivos: I. El suelo como un gran reservorio. Archivo Agronómico N° 6, Informaciones Agronómicas del Cono Sur N° 15. INPOFOS Cono Sur, Argentina.

Nuñez Vázquez F., Salas H.P., Bachmeier O., Robledo W., Lovera E. y Rollán A. 1996. Labranzas en la región de la provincia de Córdoba. En: D.E. Buschiazzo, Panigatti J.L., Babinec F.J. (eds), Labranzas en la región semiárida argentina. INTA-SAGyP, pp. 49-66.

Peltzer H.F., Velazquez P.M. y Khan N. 1997. Efectos de ETEFON sobre el crecimiento, el consumo de agua y los rendimientos de maíz. En J.C. Rossi (ed.). VI Congreso Nacional de Maíz, Pergamino, Buenos Aires. AIANBA, Pergamino, Buenos Aires. p. 110-113.

Peltzer H. F., 1999. Efectos de la longitud de barbecho químico sobre la disponibilidad de agua y nitratos a la siembra y los rendimientos de maíz. En AAPRESID (ed.), Jornadas de Intercambio Técnico de Maíz, Pub. Téc. por Cultivo, AAPRESID, Rosario, Santa Fe. 27-30.

Quiroga A.; Ormeño O. y Otamendi H., 1998. La Siembra Directa y el rendimiento de los Cultivos en la Región Semiárida Pampeana Central. En Panigatti, J.L., H. Marelli, D.E. Buschiazzo y R. Gil (eds.). Siembra Directa. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina.

Sadras V.O. y Calviño P.A., 2001. Quantification of grain yield response to soil depth in soybean, maize, sunflower, and wheat. Agron. J. 93: 577-583.

Taboada M.A. y Micucci F.G. 2002. Respuesta de las raíces de soja a impedancias en Molisoles y Vertisoles, bajo labranza convencional y siembra directa. En Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACCS, pp. 24.

Thomas A., Boxler M., Minteguiaga J., Houssay R., Martín L., Berardo A., y García F., 2003. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Resultados de la campaña 2002/03: Maíz. Informaciones Agronómicas del Cono Sur N° 19. INPOFOS Cono Sur, Argentina.

Villar J.L., 2000. Dinámica del consumo de agua por el cultivo de trigo según el sistema de labranza. En INTA EEA-Rafaela (ed). Información Técnica de Trigo Campaña 2000. Publicación Miscelánea N°92,

Villar J. 2001. Dinámica del consumo de agua de trigo en siembra directa. En INTA EEA INTA Rafaela (ed). Anuario 2001. pp 136-138. ■