

# IMPACTO DE LAS PRACTICAS DE MANEJO SOBRE LA EFICIENCIA DE USO DEL AGUA EN LOS CULTIVOS EXTENSIVOS DE LA REGION PAMPEANA ARGENTINA

Ing. Agr. MSc. Federico Guillermo Micucci

Cátedra de Fertilidad de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

[fmicucci@agro.uba.ar](mailto:fmicucci@agro.uba.ar)

## Introducción

El agua fue considerada desde siempre, como el factor que más incide en la producción de alimentos en el mundo. El desafío constante es conocer cómo el clima, el suelo, la genética vegetal y el manejo cultural pueden ser combinados para aumentar la eficiencia del uso del agua por los cultivos.

Los cultivos difieren en su capacidad para extraer agua, de acuerdo con su metabolismo (C4 o C3), la arquitectura de sus hojas (erectófilas o planófilas), el momento del ciclo de crecimiento considerado, etc.; resultando en eficiencias de uso de agua muy distintas (Andrade y Gardiol, 1994). Como resultado, existe una fuerte vinculación entre la transpiración y el crecimiento con una gran cantidad de mecanismos distintos para mantener un nivel interno de agua dentro de los límites tolerables.

Dentro de la Región Pampeana Argentina (RPA) y en muchas otras regiones del mundo, el agua es el factor más limitante en la producción de cultivos extensivos en secano. Por lo tanto, debemos saber producir haciendo un uso eficiente del recurso más escaso, *el agua*. La RPA es la principal área de producción de cultivos extensivos en Argentina. Originalmente era un pastizal de clima templado subhúmedo, que comprende aproximadamente 34 millones de hectáreas de tierras agrícolas, de la cual más de un tercio se dedica a cultivos extensivos (Hall *et al.*, 1992). El área abarca parte de las provincias de Buenos Aires, La Pampa, Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos. La temperatura media anual es de 17-18°C en el norte y de 14°C en el sur. La precipitación anual varía desde 500-600 mm en el sudoeste a más de 1000 mm en el noreste. Los suelos cultivados se clasifican como Molisoles de regímenes údico y térmico. Los suelos más representativos en una transecta Noreste-Suroeste son los Argiudoles Vérticos, Argiudoles Típicos, Hapludoles Típicos y Hapludoles Enticos de acuerdo al gradiente de precipitaciones y la textura del material originario (loess). En la RPA los cultivos se realizan en condiciones de secano, lo que implica que durante su ciclo vital dependen exclusivamente de las condiciones ambientales.

El objetivo de este trabajo es discutir los factores que afectan i) la disponibilidad de agua en el suelo, ii) el consumo de agua de los principales cultivos extensivos de región pampeana, iii) la eficiencia de uso del agua (EUA) y se darán a conocer las prácticas de manejo que la mejoran.

## 1. Evaluación cuantitativa del agua del suelo

### *Capacidad de agua disponible*

La capacidad de agua disponible (CAD) se refiere a la cantidad total de agua que un suelo puede almacenar para el crecimiento del cultivo a lo largo de su ciclo y es la diferencia entre la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). La CAD esta afectada tanto por la estructura como la textura del suelo, y por la profundidad efectiva que alcancen las raíces de los

cultivos. El efecto de la estructura es más pronunciado al determinar el contenido de agua en capacidad de campo, pues la presencia de grietas, fisuras y canales determina, en parte, la cantidad de agua retenida contra las fuerzas gravitacionales. Ello contribuye a que existan mayores variaciones en el contenido hídrico en CC dentro de una clase textural, que en PMP. Por otra parte, tanto la CC como su inversa, la capacidad de aireación (CA), son fuertemente influenciados por el manejo. De esta manera, al deteriorar los poros de mayor tamaño, los procesos de compactación afectan negativamente la CAD (Micucci et al., 2002a, Gregory 1988, Gardner 1983).

En relación a la textura, Damiano y Taboada (2000) realizaron un estudio a escala 1:500 000 en diferentes subregiones pampeanas de Argentina. Hoy en día, es posible disponer de un patrón de distribución geográfico gradual de la CAD para los cultivos. Dicho patrón es de gran importancia para estudiar la respuesta de los cultivos, la vegetación y los sistemas hidrológicos a escala regional. En la Tabla 1 se muestra la capacidad de agua disponible (CAD en mm) para el perfil y la capa arable; y la profundidad del perfil en diferentes suelos abarcados en el área de estudio. Al mapear los suelos abarcados, es posible encontrar un gradiente hídrico de dirección SO-NE, que se corresponde con el material originario (grueso-fino) y las condiciones climáticas (semiárido a subhúmedo). Queda claro la importancia de la capa arable como reservorio de agua en algunos suelos, representando más de 50% del total del agua disponible en el perfil.

Tabla 1. Estimación de la capacidad de agua disponible (CAD en mm) en el perfil y en la capa arable y la relación en % (CAD-CA/CAD-Perfil) para los subgrupos de suelos dominantes que conforman las distintas unidades geomorfológicas de la región pampeana y áreas adyacentes (adaptado de Damiano y Taboada, 2000).

Región	SubGrupos de suelo dominante	CAD-Perfil (mm)	CAD-CA (mm)	CAD-CA (% perfil)	Profundidad del perfil (cm)
P.O	Argiudol típico	169	32	19	95
	Argiudol vértico	58	37	63	33
PIP	Hapludol éntico	69	32	46	66
	Hapludol tapto árgico	82	33	40	85
PIO	Haplustol éntico	43	23	53	43
PSB	Haplustol éntico	36	14	39	68
PM	Peludert argiudólico	55	29	53	39
PD	Hapludol tapto nátrico	67	32	47	61
PA	Argiudol típico somero	111	27	24	88

Nota: PO=Pampa Ondulada, PIP=Pampa Interior Plana,PIO=Pampa Interior Occidental, PSB=Pampa Semiárida Bonaerense, PM= Pampa Mesopotámica, PD= Pampa Deprimida, PA= Pampa Austral.

Una forma práctica de expresar y visualizar la cantidad de agua existente o almacenada en el suelo es en términos de altura o Lámina de agua (L). La unidad de medida más frecuente para expresar la lámina es el mm, que equivale al volumen de 1 litro de agua distribuido en una superficie de 1 m<sup>2</sup>. Así, la expresión volumétrica del contenido de agua de un suelo se convierte fácilmente a lámina de agua, mediante la siguiente expresión [1]:

$$\begin{aligned} \text{Lámina de agua} &= \text{Humedad volumétrica} * \text{Espesor de la capa de suelo} \quad [1] \\ L \text{ (mm)} &= \theta \text{ (cm}^3\text{/cm}^3) * E \text{ (cm)} \end{aligned}$$

Esta forma de expresión es de gran utilidad ya que permite relacionar los fenómenos de la parte aérea (precipitación, irrigación, evapotranspiración), con el funcionamiento del sistema suelo-planta (Gil y Garay 1999). Numerosas investigaciones (Gil 1997, Marelli 1989) indican que la pérdida de profundidad efectiva del horizonte superficial en concordancia con pérdidas de materia orgánica provocan una disminución de la lámina de agua disponible para la absorción por los cultivos y en consecuencia una menor autonomía del suelo para soportar sequías estacionales. Estos problemas se vuelven críticos en el caso del cultivo de maíz, o en suelos someros con problemas de tosca (Sudeste y Sudoeste de región pampeana) o con horizontes subsuperficiales fuertemente arcillosos (sector este de Pampa Ondulada).

## 2. Consumo de agua por los cultivos

### *Factores determinantes del rendimiento de los cultivos en condiciones limitantes de agua*

Las respuestas de las plantas a condiciones de moderada sequía tienen evidentes efectos sobre el rendimiento. Los componentes del rendimiento en condiciones limitantes de agua se definen por la ecuación [2]:

$$\text{Rendimiento} = \text{Agua transpirada} \times \text{Eficiencia en el uso del agua} \times \text{Índice de cosecha} \quad [2]$$

**(ETM)**
**(EUA)**
**(IC)**

donde ETM es la cantidad máxima de agua evapotranspirada, EUA es la eficiencia en el uso del agua es la cantidad de materia seca producida por unidad de agua transpirada, y IC el índice de cosecha es la relación entre el rendimiento en grano y la materia seca total. La Figura 1, adaptada de Ludlow y Muchow (1990), muestra la separación del rendimiento en estos tres componentes. Ellos son ampliamente independientes uno del otro, al menos en una primera aproximación, por lo que un incremento en cualquiera de ellos es probable que resulte en un incremento directo del rendimiento.

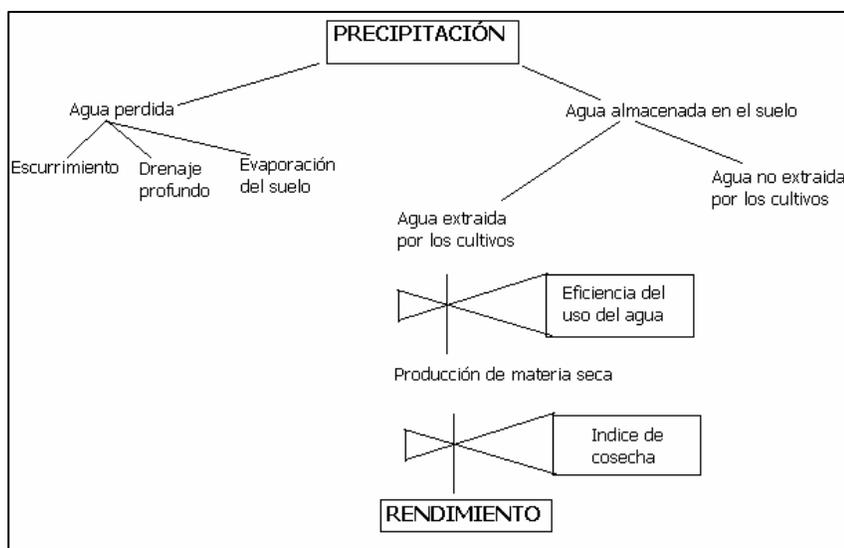


Figura 1. Relación esquemática entre la precipitación y el rendimiento en grano (adaptado de Ludlow y Muchow 1990).

En general los cultivos estivales están expuestos a sequías erráticas, de intensidad y duración variables que se originan por una combinación de factores atmosféricos (Ej.: lluvias, altas temperaturas) o edáficos (Ej.: tosca o pan de arcilla cercanos a la superficie). Dependiendo de la intensidad, duración y el momento de ocurrencia las sequías pueden tener efectos variables desde positivos hasta devastadores (Andrade y Sadras, 2000). Las mayores disminuciones en rendimiento se producen cuando el déficit hídrico ocurre alrededor de floración del maíz o girasol. De éstos dos, el maíz es altamente susceptible a las deficiencias de agua en floración, reduciendo el cuaje de granos severamente. En contraposición, el rendimiento del cultivo de soja es más afectado por sequías tardías, o etapas reproductivas avanzadas, debido a su hábito de crecimiento indeterminado que provoca alargar el periodo de producción de flores comparado con el maíz (Tabla 2).

Tabla 2. Resumen comparativo del comportamiento del maíz, girasol y la soja frente a la sequía (Andrade y Sadras, 2000).

	MAÍZ	GIRASOL	SOJA
Susceptibilidad a la sequía	máxima	mínima	intermedia
Absorción de agua	media	alta	media/baja
Escape por plasticidad de la floración	baja	baja	alta
Sensibilidad estomática	alta	baja	media
Etapas de susceptibilidad	floración	Floración y llenado	Fin de floración y llenado

### *El consumo de agua por los cultivos en región pampeana*

El consumo de agua de los cultivos resulta del valor de evapotranspiración potencial o máxima acumulada (ETM) a lo largo de su ciclo de crecimiento y desarrollo. Para el estudio de la ETM, es

necesario definir un consumo de referencia o evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>). Estos valores se refieren al consumo máximo o potencial de un cultivo denso, bajo y en óptimas condiciones hídricas y van a depender principalmente de la demanda atmosférica. Esta demanda depende de la radiación incidente, de la temperatura, de la humedad relativa del aire y del viento. Al aumentarla, las plantas evapotranspiran mayor cantidad de agua, hasta cierto límite fijado por el potencial agua de sus hojas.

En la EEA-Pergamino, Totis de Zeljkovich et al. (1991), midieron el consumo real de agua (ETR) en el doble cultivo trigo-soja durante las campañas 1980-81, 1981-82, 1982-83 y 1983-84. En promedio de todo el periodo la ETR en trigo fue superior a las precipitaciones durante el ciclo, siendo de 339 mm y 292 mm respectivamente. Contrariamente, para soja la ETR fue menor que las lluvias ocurridas en ese periodo, siendo de 483 mm y 583 mm. Finalmente, el total de la rotación consumió en promedio de las 4 campañas 822 mm de agua. Para la EE-Oliveros, en la localidad de Santa Isabel, Santa Fe, Andriani (2000) midió el consumo de agua en diferentes cultivos a lo largo de su ciclo de crecimiento y desarrollo (Figura 2). Se puede apreciar que el consumo de agua de maíz y soja de primera son parecidos, llegando ambos a un consumo total de 530 mm. En cambio la soja de segunda, con ciclos más cortos, alcanza un consumo máximo de 425 mm. Por último, la curva de consumo en trigo se aparta bastante de las de maíz y soja, debido principalmente a la demanda atmosférica baja durante el invierno y la longitud del ciclo es mucho mayor. El consumo final de agua para este cultivo fue de 440 mm.

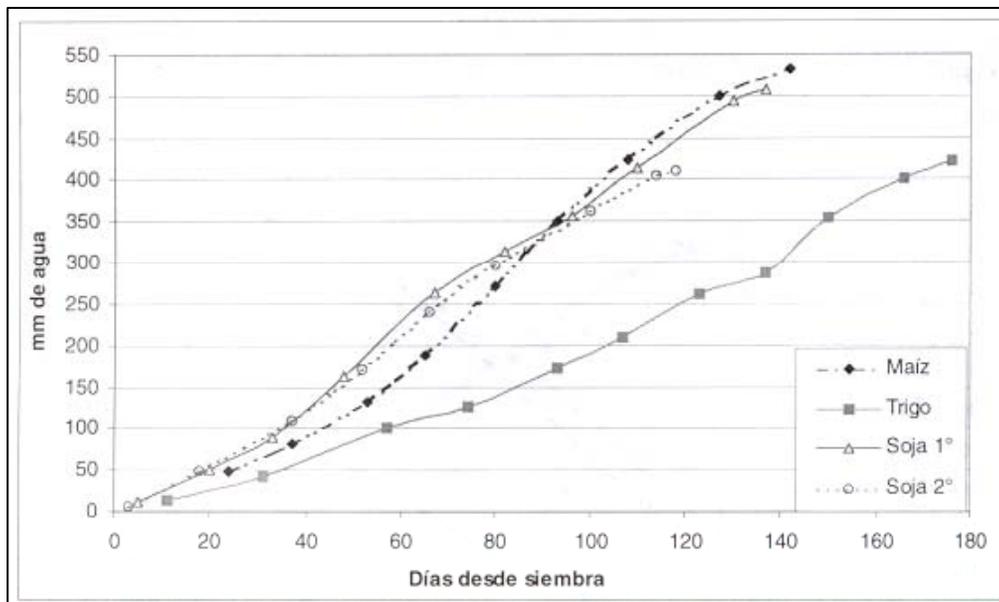


Figura 2. Consumo acumulado de agua (ETM) en cuatro cultivos extensivos. Santa Isabel, Provincia de Santa Fe, Argentina. Campaña 1998/99 (Andriani, 2000).

### 3. Eficiencia de uso del agua

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 [3]:

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

[3]

donde R es el rendimiento del cultivo (kg ha<sup>-1</sup>), en biomasa total o grano, según el objetivo de producción, Pp son las precipitaciones ocurridas durante el barbecho y el ciclo del cultivo (mm).

La eficiencia del uso del agua (EUA) relaciona la producción de materia seca o rendimiento con la evapotranspiración (ET). La misma varía entre especies, debido a su tipo de metabolismo C3 o C4, composición de la biomasa, y a las características del uso del agua, variando también entre climas que condicionan la demanda atmosférica. En general se observan claramente mayores eficiencias del cultivo de maíz respecto al de trigo debido principalmente a su metabolismo C4, y a que capta mucho más cantidad de CO<sub>2</sub> por unidad de agua transpirada; y también respecto al de girasol y soja, debido al bajo contenido energético de la biomasa reproductiva, en cambio en girasol al tener un producto con alta concentración de aceite en el grano, tiene menor tasa de crecimiento en ese período por unidad de agua (Andrade y Gardiol, 1994). Por último, la soja presenta una baja eficiencia fotosintética y además un alto contenido energético del grano (Andrade, 1995). Debido a la dependencia de la EUA de la condición climática y del manejo del cultivo, existe un amplio rango que detalla la bibliografía de EUA para cultivos con adecuada disponibilidad de agua. Así, los valores máximos y mínimos según Hattendorf et al. (1988) son para maíz de 10 – 24 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>; en girasol 5 - 9 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>; en soja 5 - 11 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>.

#### **4. Prácticas de manejo que modifican la eficiencia de uso del agua**

Las buenas 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.

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 3 indica los componentes, y los principales procesos y prácticas de manejo que modifican la EUA. La Tabla 4 presenta valores de EUA para diferentes cultivos bajo diferentes prácticas de manejo en ensayos realizados en la región pampeana argentina.

Tabla 3. 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
<b>Agua acumulada en el suelo</b>	Precipitación efectiva Acumulación de Carbono	Escurrimiento Drenaje profundo Pérdida de horizonte A Impedancias subsuperficiales	Prácticas conservacionistas Longitud del barbecho
<b>Agua transpirada por el cultivo</b>	Partición hacia transpiración del cultivo	Evaporación Transpiración de las malezas	Control de malezas Siembra Directa Fertilización Tipo de cultivo Rotación Fecha de siembra
<b>Conversión a biomasa y rendimiento</b>	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.

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 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 3). 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; Marelli, 1998; Dardanelli, 1998).

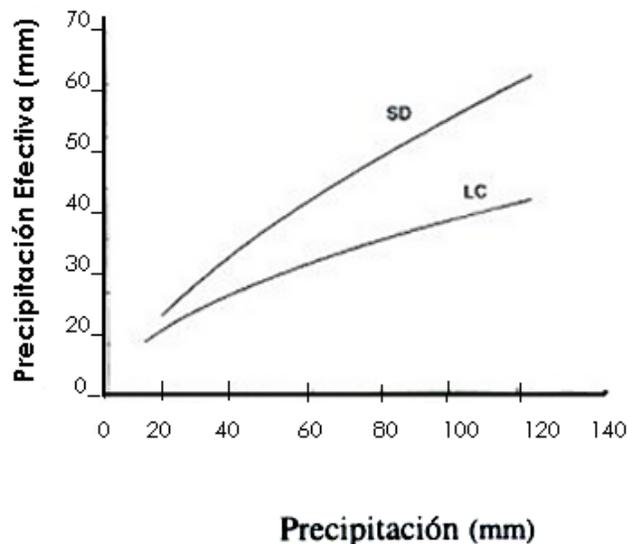


Figura 3. Relación entre la precipitación efectiva y precipitación diaria para siembra directa (SD) y labranza convencional (LC) sobre un suelo Haplustol éntico de Manfredi, Córdoba (Adaptado de Dardanelli, 1998).

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 4) y en La Pampa (Bono, 1999) (Tabla 4) 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).

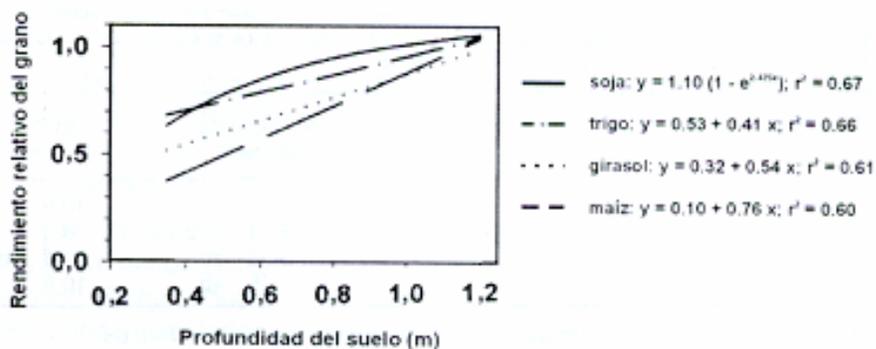


Figura 4. Rendimiento relativo de trigo, soja, girasol y maíz en función de la profundidad del suelo. (Adaptado de Sadras y Calviño, 2001).

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 ( $\text{NO}_3^-$ ) y contenido de agua a la siembra en el suelo. En cultivos de maíz, en el INTA-Paraná, se observaron incrementos de 600 kg/ha, 100 ppm y 31,9 mm, en el rendimiento, el contenido de  $\text{NO}_3^-$  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 5).

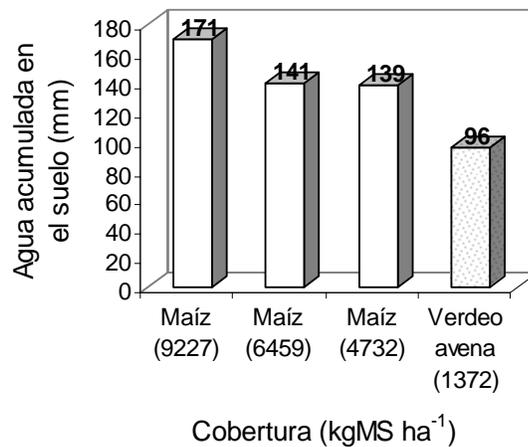


Figura 5. Efecto del cultivo antecesor y cobertura a siembra sobre la acumulación total de agua en un suelo de América, Pcia. de Bs.As. (Adaptado de Duarte, 1999).

#### *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 4).

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 está 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 4). 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 4 (Bacigaluppo et al., 2000).

#### *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 4). 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).

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).

## **5. 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.

Tabla 4. Eficiencia del uso del agua en distintos cultivos bajo diferentes prácticas de manejo en diferentes localidades de la región pampeana argentina.

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

@ 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.

## 6. Referencias

- 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.
- 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. Editores: F.H. Andrade y V.O. Sadras. EEA INTA Balcarce-Fac. de Ciencias Agrarias UNMP. Pp 173-206.
- Andrade, F.H. y Gardiol, J.M., 1994. Sequía y producción de los cultivos de maíz, girasol y soja. Boletín técnico 132. EEA INTA Balcarce.
- Andrade, F.H., 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. Field Crops Res. 41: 1-12.
- Andriani, J. M., 1997. Uso del agua y riego. En "El cultivo de soja en la argentina", editado por Laura Giorda y Hector Baigorri, EEA Marcos Juárez-INTA. Editorial Editar, San Juan, Argentina, p. 141-150.
- Andriani, J. M., 2000. El agua en los sistemas productivos. Para mejorar la producción, editado por SAGPyA y el INTA-EEA Oliveros, Santa Fe N°13, 72 pp.
- Bacigaluppo, S., Andreani, J. y Malaespina, A., 2000. Disponibilidad y consumo de agua en un cultivo de maíz en dos sistemas agrícolas. EEA INTA Oliveros y SAGPyA. 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.
- Bono, A., Montoya, J.C., y Babinec, F.J., 1999. Fertilización en girasol. Resultados obtenidos en tres años de estudio. EEA INTA Anguil y SAGPyA. Publicación Técnica N°48. pp 22.
- Caviglia, O.P. y Sadras V.O. 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water and radiation use efficiency of wheat. En Satorre E.H., R.L. Benech Arnold, G.A. Slafer, E.B. de la Fuente, D.J. Miralles, M.E. Otegui y R. Savin (eds.). Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. Producción de granos. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina. Sección IV, Cap 16, pp.373-440.
- 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.
- Damiano F. Y Taboada M.A . 2000. Predicción del agua disponible usando funciones de pedotransferencia en suelos agrícolas de la región pampeana. Ciencia del Suelo 18 (2) 77-88.
- 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.
- Duarte G. 1999. Manejo del agua y fertilización del cultivo. En: AACREA (ed.). Girasol. Cuaderno de actualización técnica N°62, pp 22-23.
- Gardner, W.R. 1983. Soil properties and efficient water use: an overview. Pp: 45-64. En Taylor, H.M, Jordan W.R., y Sinclair T.R (ed). Limitations to efficient water use in crop production. ASA, CSSA, SSSA, Publ., Madison, Wisconsin.

- Gardner, W.R., y Gardner, H.R., 1983. Principles of water management under drought conditions. *Agric. Water Manag.* 7: 143-155.
- Gil, R. y Garay, A. 1999. La Siembra Directa y el funcionamiento sustentable del suelo: Impacto sobre la condición física del suelo y la producción de los cultivos. *Actas del XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. Pucón. Chile.
- Gil, R., 1997. Effect of no-tillage on chemical and physical characteristics on soil in Argentina. The 1st. JIRCAS Seminar on Soybean Research. No-tillage Cultivation and Future Research Needs. Iguassu Falls.
- Gregory P.J. 1988. Water and crop. p: 338-377. En: A. Wild (ed.) *Russell's Soil Conditions and Plant Growth*, 11<sup>th</sup> ed. Longman, Essex, UK, 991p.
- Hall A., Rebella C., Ghersa C., y Culot J.P. 1992. Field-crop systems of the pampas. In: *Field crop ecosystems*. Pearson J.P. (eds). Elsevier, Amsterdam. p. 413-450.
- Hattendorf, M.J., Redelf, M.S., Amos, B., Stone, L.R., y Gwin, R.E., 1988. Comparative water use characteristics of six row crops. *Agron. J.* 80: 80-85.
- 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. I P I, Worblaufen-Bern, Switzerland. pp. 81-98.
- Ludlow, M.M. y Muchow, R.C., 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Adv. Agron.* 43:107-153.
- Marelli, H.J. 1989. La erosión hídrica. *Publicación técnica N°1*. EEA INTA Marco Juárez. 20pp.
- Marelli H.J., 1998. La siembra directa como práctica consevacionista. En: J.L. Panigatti; H. Marelli; D. Buschiazzo y R. Gil (eds), *Siembra Directa*. INTA-SAGyP, pp. 127-140.
- Martelotto 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*, Puerto Madryn, Argentina. AACS, 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. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- 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*, *Publicaciones Técnicas 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*. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina.
- Sadras V. O. y Calviño P.A. 2001. Quantification of grain yield response to oil 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*, AACS, pp. 24.
- Totis de Zeljkovich L., Zeljkovich V, Coca M, Blotta L A, Funston L y Rivoltella A. 1991. Balance del agua del doble cultivo trigo-soja y su relación con la productividad en la región de Pergamino, Argentina. INTA-EEA Pergamino. *Informe Técnico N° 257*, pp. 14.
- Villar J.L., 2001. Dinámica del consumo de agua en siembra directa. En INTA EEA-Rafaela (ed). *Anuario 2001*. pp 136-138.